Wydanie nr 350

ELEKTRONIKA dla wszystkich

nr 3/2025 (350) • marzec • www.elportal.pl

DIY PLUS tylko dla prenumeratorów

SOUNDBAR Z BASEM

PROJEKTY dla elektroników

- Szerokozakresowy omomierz, część 1
- Tłumik RF 0...110 dB do generatorów sygnału

DIY dla wszystkich

- Przełącznik sterowany temperaturą
- Stwórz najmniejszy na świecie laptop do etycznego hakowania i innych zastosowań

TUTORIALE

- Audio OUT: Wokoder analogowy, część 6. Uniwersalny zasilacz audio
- Chirurgia obwodowa: Czujnik temperatury LM35
- Ekscytacje Maxa: Migające diody LED i śliniący się inżynierowie, część 18
- Edukacja w EdW dla szkół i uczelni. Wykład 28: Diody LED w praktyce
- KickStart: Część 5. Poznajemy zagadnienie kompatybilności elektromagnetycznej (EMC)

Tester i kalibrator multimetrów

ISSN 1425-1698 Indeks 33362X
9 771425 169252 03 >
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 bfa7a1d357

Najbardziej popularne kity AVT

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

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

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

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

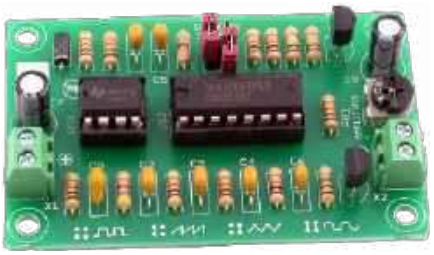
AVT1569 Generator akustyczny 20 Hz...20 kHz
https://sklep.avt.pl/avt1569.html

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

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

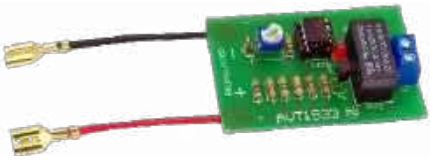
AVT1594 Wzmacniacz mocy 2×45 W z STK4182
https://sklep.avt.pl/avt1594.html

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



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

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



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

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

Pełna oferta na: sklep.avt.pl

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

eprasa.pl bfa7a1d357

–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

Marzec 2025 • 3 (350)

20

28

34

77

Projekty dla elektroników:

isoundBar z wbudowanym głośnikiem niskotonowym 8
Szerokozakresowy omomierz, część 1 20
Tłumik RF 0...110 dB do generatorów sygnału 28
Tester i kalibrator multimetrów 34

Tutoriale:

Audio OUT: Wokoder analogowy, część 6. Uniwersalny zasilacz audio 42
Chirurgia obwodowa: Czujnik temperatury LM35 48
Ekscytacje Maxa:
Migające diody LED i śliniący się inżynierowie, część 18 52
Edukacja w EdW dla szkół i uczelni. Wykład 28: Diody LED w praktyce 58
KickStart: Część 5. Poznajemy zagadnienie kompatybilności elektromagnetycznej (EMC) 69

DIY dla wszystkich:

Przełącznik sterowany temperaturą 74
Stwórz najmniejszy na świecie laptop do etycznego hakowania i innych zastosowań 77

Elektronika dla Wszystkich – Junior:

Dziewiąte spotkanie z najmłodszymi pasjonatami elektroniki 83
Galeria Juniorów EdW 90

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

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

Bezprzewodowy nadajnik ściemniacza LED 434 MHz 91
Analogowy miernik VU z wyświetlaczem OLED 91

Rubryki stałe:

Prenumerata 3
Od redakcji 5
Poczta 6

eprasa.pl bfa7a1d357

A za miesiąc w kwietniowym EdW

- **Moduł synchronizacji zegara ściennego za pomocą sygnału GPS**
  Przystawka przekształca klasyczny zegar ścienny w wyjątkowo precyzyjne urządzenie, które automatycznie kalibruje się za pomocą sygnału GPS. Dzięki temu Twój zegar będzie odmierzał czas z dokładnością do kilku sekund przez nawet osiem lat, zasilany jedną parą baterii R14. Dodatkowo moduł samoczynnie koryguje godzinę przy każdej zmianie czasu – z zimowego na letni i odwrotnie – eliminując potrzebę ręcznej regulacji.
- **Programowalne obciążenie DC sterowane po Wi-Fi, część 1**
  Projekt sztucznego obciążenia o mocy rozpraszania wystarczającej do testowania m.in. dużych akumulatorów i paneli słonecznych. Może pracować przy napięciu do 150 V i pobierać prąd do 30 A, mieszcząc się w zakresie 300 W mocy. Posiada zabezpieczenia przeciwprzepięciowe, nadprądowe, termiczne oraz przed odwrotną polaryzacją. Co ważne, jest programowalne – zarówno z poziomu panelu przedniego, jak i przez Wi-Fi – oraz oferuje funkcje automatycznego testowania i rejestrowania danych.
- **Szerokozakresowy omomierz, część 2**
  Omówione zostaną szczegóły dotyczące budowy, testowania i konfiguracji zaprezentowanego w bieżącym numerze urządzenia do precyzyjnego pomiaru rezystancji, które pozwala na pomiary w bardzo szerokim zakresie – od kilku miliomów do wielu megaomów.
- **Wartościowe Tutoriale**
- **Projekty DIY**
- **Juniorzy EdW złożą kolejny zestaw z serii AVTEDU**

W kioskach od 27 marca

29 lat „Elektroniki dla Wszystkich”!

Czy wiesz, że trzymasz w ręku 350. wydanie EdW? Ta liczba napawa nas dumą, ale też zobowiązuje do dalszej pracy. Istnieć na rynku taki szmat czasu to nie lada wyczyn, a utrzymać się w czołówce specjalistycznej prasy to nieskromnie powiedziawszy, prawdziwe mistrzostwo. Podczas gdy świat papierowych gazet odchodzi nieubłaganie do lamusa, a z końcem 2024 roku szerokim echem obiegła nas wszystkich medialna informacja o tym, że zamknięto ostatni kiosk Ruchu, tytuł EdW wciąż posiada kaprys i pazur, by istnieć i trwać, co więcej, w najlepszym możliwym w tych czasach formacie!

Część z Was jest z nami nieprzerwanie od 29 lat, za co chcemy Wam bardzo gorąco podziękować. Dzięki Wam i dla Was jesteśmy, dostarczając niezmiennie najlepszych treści na światowym poziomie. Chcemy Was jednocześnie zachęcić do dorzucenia własnej cegiełki, by każdy, kto tylko zechce, mógł mieć na łamach naszego wspólnego pisma swoje autorskie „pięć minut chwały”. Bez wątpienia sprzyja temu fakt, że projektowanie, a nawet zdalne rozwijanie elektroniki potrafi być dziś przyjemne i wygodne, o czym przekonuje nas w rubryce *poczta* jeden z naszych Czytelników, który podpowiada jednocześnie ciekawą, a wciąż niekoniecznie najbardziej popularną wśród hobbystów koncepcję tworzenia elektroniki.

W ramach 350. wydania EdW oddajemy w ręce Czytelników opis okładkowego Soundbara, dzięki któremu sympatycy audio będą mieli okazję zbudować we własnym zakresie głośnik niskotonowy do telewizora, stanowiący doskonałą alternatywę dla urządzeń dostępnych na rynku.

Niezwykle pożytecznym urządzeniem, którego dla odmiany próżno szukać w sklepach, jest natomiast tester i kalibrator multimetrów, który jak sama nazwa wskazuje, pozwoli zweryfikować dokładność pomiarową przyrządów znajdujących się na wyposażeniu warsztatu każdego elektronika, a w przypadku droższych modeli tych sprzętów umożliwi nawet ich kalibrację!

Kolejnym opisanym projektem jest tłumik RF 0…110 dB do generatorów sygnałów, który stanowi nie tylko doskonałe uzupełnienie opublikowanego w EdW 1/2025 precyzyjnego generatora sygnału AM-FM DDS, ale może być również używany w pracy z dowolnym generatorem sygnałów, umożliwiając wygodną regulację poziomu wyjściowego w szerokim zakresie tłumienia.

Szerokozakresowy omomierz to z kolei projekt przyrządu do pomiaru bardzo małych rezystancji, od kilku miliomów do wielu megaomów. Warto go zmontować, gdyż z pewnością przyda się on podczas pracy, choćby z cewkami w projektach audio, ale nie tylko.

W tym numerze publikujemy także piątą część materiału KickStart, która tym razem dotyczy zagadnień kompatybilności elektromagnetycznej (EMC) i stanowi kontynuację treści z wydania EdW 11/2023.

Amatorom audio w ramach cyklu Audio Out polecamy dodatkowo materiał dotyczący uniwersalnego zasilacza dla układów audio, a entuzjaści adresowalnych diod LED RGB oddadzą się najpewniej wraz z Maxem, kolejnej przygodzie dotyczącej zaawansowanego ich sterowania.

Sympatyków świecidełek zapraszamy dziś dodatkowo na obszerny wykład dotyczący diod LED, w całości poświęcony tym ważnym, niezmiennie użytecznym oraz atrakcyjnym komponentom. Z pewnością ciekawy jest także kolejny odcinek z cyklu chirurgii obwodowej. Tym razem jego bohaterem będzie popularny czujnik temperatury LM35.

Świetnie zapowiada się również materiał dla najmłodszych Czytelników, którzy w ramach dziewiątego spotkania Juniorów EdW będą mieli okazję nie tylko przyjrzeć się wzmacniaczowi operacyjnemu w konfiguracji komparatora, ale też poznać nowy, a zarazem interesujący komponent elektroniczny: termistor NTC.

Mariusz Ciszewski

eprasa.pl bfa7a1d357

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.

Elektronika, moja droga... projektowa

Szanowna Redakcjo,

Chciałbym podzielić się moimi refleksjami na temat rozwoju elektroniki oraz mojej drogi projektowej, która, na przestrzeni kilkunastu lat, w znacznym stopniu się zmieniła. W przeszłości poświęcałem sporo czasu na budowę urządzeń elektronicznych opartych na mikrokontrolerach i wciąż pamiętam, jak trudno było z reguły napisać zwięzły kod, który zmieściłby się w niewielkiej pamięci mikrokontrolera. Nie było to proste zadanie, szczególnie jeśli urządzenie było nieco bardziej zaawansowane, co sprawiało, że późniejsza rozbudowa takich układów była dużym wyzwaniem. Zdecydowanie sporo czasu poświęcałem na balansowanie kodu, pamięci i optymalizację, a sam proces tworzenia oprogramowania dla urządzenia bywał żmudny. Nierzadko po pewnym czasie rozbudowa układu wymagała zastosowania potężniejszego mikrokontrolera. Gdy udało się znaleźć pinowo zgodny zamiennik z większą ilością pamięci może i problemu dużego nie było. Gorzej, gdy okazywało się, że trzeba dodatkowo przeprojektować płytkę.

Dziś patrzę na taki sposób projektowania elektroniki jak na zamierzchłą przeszłość, a przynajmniej moje podejście do projektowania całkowicie się zmieniło. Zamiast tradycyjnych mikrokontrolerów, wykorzystuję gotowe moduły Raspberry Pi Zero, które kiedyś były dla mnie prawdziwą rewolucją, a bez których dzisiaj już w zasadzie nie wyobrażam sobie projektowania urządzeń elektronicznych. Wydatek rzędu kilkudziesięciu złotych pozwala mi na tworzenie znacznie bardziej elastycznych i rozbudowanych systemów, które są łatwiejsze w obsłudze i tak naprawdę nieograniczone w rozbudowie. Zamiast marnować życie na tworzenie skomplikowanego i mało czytelnego kodu w średnio wygodnych językach, wymagających dedykowanego środowiska programistycznego i kompilatorów, mam dostęp do pełnego systemu operacyjnego Linux, co pozwala mi pisać oprogramowanie w Pythonie lub nawet bezpośrednio w shellu Linuksa (skrypty shellowe). Coś wspaniałego!

Do większości projektów, takich jak centralki alarmowe, sterowniki automatyki czy układy automatyzujące podlewanie ogrodu, wykorzystuję RPi Zero.

Tworzone przeze mnie płytki zawierają głównie peryferia do obsługi urządzeń wejściowych i wykonawczych, charakterystycznych dla danego zastosowania, natomiast centrum każdej z płytek stanowi złącze GPIO służące do podłączenia modułu RPi Zero.

Dzięki wbudowanemu w RPi Zero Wi-Fi urządzenie jest podłączone do sieci, co umożliwia nie tylko bezproblemową komunikację urządzenia ze światem ale i zdalną aktualizację oprogramowania. Wystarczy, że z dowolnego miejsca na świecie zaloguję się do systemu za pomocą SSH i zaktualizuję kod w plikach tekstowych – bez konieczności rekompilacji czy innych dodatkowych procedur. Następnie wystarczy wykonać restart usługi i… Wszystko działa po nowemu. To zdecydowanie oszczędza czas i energię a ponadto uwalnia od wszystkich wcześniejszych ograniczeń.

Zastanawiam się, dlaczego w prasie oraz internecie wciąż tak mało mówi się o tworzeniu urządzeń elektronicznych opartych na modułach Raspberry Pi Zero. Do tej pory nie natrafiłem na żaden wyczerpujący artykuł, który opisałby proces budowy takich urządzeń od podstaw, i zastanawiam się, z czego to wynika. Wydaje mi się, że taka koncepcja jest najprostszą a zarazem najlepszą opcją dla osób szukających bardziej elastycznego podejścia do projektowania elektroniki.

Z poważaniem,

Jan Nowak, Gdańsk

Red. Panie Janie, dziękujemy za nadesłany list.

Z dużą uwagą i zaciekawieniem przeczytaliśmy Pańskie refleksje na temat rozwoju elektroniki, a szczególnie zmiany podejścia do projektowania urządzeń. Zgadzamy się, że rozwój technologii, a zwłaszcza dostępność modułów takich jak Raspberry Pi Zero, znacząco wpłynął na sposób tworzenia systemów elektronicznych. W tym miejscu warto przypomnieć, że Raspberry Pi to coś więcej niż moduł, gdyż jest to w zasadzie miniaturowy komputer osobisty z w pełni funkcjonalnym systemem operacyjnym, a wbudowane weń złącze GPIO stanowi wygodny w obsłudze interfejs „komputera ze światem elektroniki", który pozwala na bezpośrednią pracę z sygnałami cyfrowymi, a także analogowymi za pośrednictwem szeregu dostępnych na rynku przetworników i ekspanderów.

Cieszymy się, że zechciał się Pan z nami podzielić swoimi przemyśleniami w zakresie benefitów z użycia Raspberry Pi Zero w roli jednostki centralnej Pańskich projektów i doceniamy Pana podejście do optymalizacji procesu tworzenia urządzeń. Zdalna aktualizacja oprogramowania, dostęp przez SSH, brak konieczności każdorazowej rekompilacji źródeł to z pewnością istotne korzyści, które pozwalają skupić się na rozwoju budowanego systemu, a nie na utrzymaniu skomplikowanej infrastruktury.

O ile w przypadku wielkoseryjnej elektroniki konsumenckiej przeznaczonej na rynek masowy jej projektowanie „od zera" bywa ekonomicznie uzasadnione (eliminacja nawet pojedynczego rezystora wartego ułamek centa może przynieść wymierne oszczędności przy dużej skali produkcji), o tyle w projektach hobbystycznych lub realizowanych w niewielkich ilościach kluczowe stają się efektywność i wygoda pracy. W takim przypadku najcenniejszym benefitem jest zaoszczędzony czas, którego w dzisiejszym świecie chyba każdemu z nas nieustannie brakuje. Tu zastosowanie w projekcie wartego kilkadziesiąt złotych modułu przestaje być kosztem, a staje się nie lada oszczędnością.

Trudno też polemizować z faktem, że temat wykorzystania Raspberry Pi Zero w projektowaniu urządzeń elektronicznych jest raczej niszowy, na przykład w porównaniu z bijącą od wielu lat rekordy popularności platformą Arduino, mimo że praca z nią niewiele odbiega od pracy z pojedynczym mikrokontrolerem. Choć platforma ta wiele rzeczy porządkuje i ułatwia, dostarczając chociażby gotowe środowisko programistyczne, zintegrowany programator i olbrzymią liczbę gotowych do wykorzystania bibliotek, to jednak wciąż ma ona swoje ograniczenia: musimy używać narzuconego języka programowania, łączyć się z płytką za pomocą kabla USB oraz każdorazowo rekompilować kod źródłowy. Mimo to ludzie przyzwyczaili się do tego ekosystemu i chętniej projektują i dzielą się projektami w oparciu o Arduino niż o Raspberry Pi.

Zgadzamy się, że temat wykorzystania miniaturowych komputerów osobistych w roli jednostek centralnych dla projektowanej elektroniki to bardzo interesujący temat, który z pewnością cieszyłby się dużym zainteresowaniem wśród naszych Czytelników. Dlatego gdy tylko nadarzy się taka sposobność postaramy się zaprezentować projekty wykorzystujące moduły Raspberry Pi.

Czytelników, którzy preferują podobne podejście do projektowania elektroniki zachęcamy do dzielenia się swoimi projektami na Forum Czytelników. Z miłą chęcią przedstawimy je krótko na łamach naszego wspólnego pisma. Nawiązując do ważnych słów wydawcy, które padły w rubryce Poczta w numerze EdW 9/2024 („Repolonizacja" EdW), pozostaje zasugerować: promujmy się wzajemnie, dzielmy wiedzą i sukcesami. Niech EdW będzie pismem, w którym każdy będzie mógł mieć swoje „pięć minut".

eprasa.pl bfa7a1d357

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 bfa7a1d357

isoundBar z wbudowanym głośnikiem niskotonowym

Wielu z nas spędza mnóstwo godzin na oglądaniu telewizji, filmów i grając w gry wideo. Nawet jeśli korzystasz z telewizora tylko okazjonalnie, życie jest zbyt krótkie, aby znosić kiepską jakość dźwięku typowych głośników telewizyjnych. Komercyjne soundbary kosztują krocie, a często wcale nie są od nich wiele lepsze. Dlaczego więc nie zbudować niesamowitego soundbara i nie cieszyć się ulubionymi programami z dźwiękiem wysokiej jakości?

Soundbar to zestaw głośników w szerokiej, smukłej obudowie, która idealnie nadaje się do umieszczenia tuż pod telewizorem lub przed nim. Z urządzeniem tym są dwa duże problemy: soundbary dobrej jakości mają zwykle niewytłumaczalnie wysokie ceny (czasami są więcej warte niż telewizor, do którego są dołączane), z kolei wymóg zachowania smukłej obudowy ogranicza zwykle dobre odtwarzanie basów.

Tanich soundbarów jest mnóstwo i najlepiej ich unikać. Wiele z nich ma tanie zewnętrzne subwoofery (nie jest to reguła), które mogą wydawać dudniący i irytujący dźwięk. Niektórzy użytkownicy wyłączają je całkowicie z powodu „zmęczenia subwooferem".

Na drugim końcu skali są przyzwoite soundbary hi-fi szanowanych producentów audio, które kosztują obecnie około 1000...2000 USD. Takie ceny trudno uzasadnić, jeśli porównamy je z cenami 65-calowych (165 cm) telewizorów 4K zaczynających się od około 700 USD! Taka sytuacja spowodowała opracowanie niniejszego projektu. To soundbar DIY z doskonałym pasmem przenoszenia, przyzwoitym basem i niskimi zniekształceniami, który nie zrujnuje Twojego budżetu.

Soundbar ma dobre parametry i zadowoli wielu amatorów dobrego brzmienia, ale jeśli chcesz pójść na całość, zaprojektowaliśmy subwoofer, który dopełnia dźwięk mocnymi basami. Jest to konstrukcja atrakcyjna cenowo, więc nawet z dołączonym subwooferem całość będzie kosztować znacznie mniej niż tani 65-calowy telewizor.

Całkowity koszt wszystkich przetworników użytych w isoundBarze wynosi około 260 USD, więc nawet po dodaniu modułu wzmacniacza, drewna itp. prawdopodobnie będziesz w stanie zbudować go za mniej niż 400 USD. Za taką kwotę można kupić gotowy soundbar, ale wątpimy, by brzmiał równie dobrze.

Projekt

Poświęciłem sporo czasu na zaprojektowanie niezależnego systemu z wewnętrznym głośnikiem niskotonowym w małej obudowie o szerokości zaledwie 1240 mm, wysokości 70 mm i głębokości 200 mm.

Pojawiły się znaczące (i nieoczekiwane) wyzwania, z których niemałym jest to, że smukła konstrukcja ogranicza nas do użycia przednich głośników o średnicy nie większej niż 55 mm. Ponadto, wewnętrzna objętość musi być współdzielona przez oddzielne kanały lewy i prawy oraz wewnętrzny głośnik niskotonowy.

Materiały dodatkowe dostępne są na stronie Silicon Chip: https://tiny.pl/427nh1r5
Materiały dodatkowe są również dostępne na stronie elportal.pl/do-pobrania

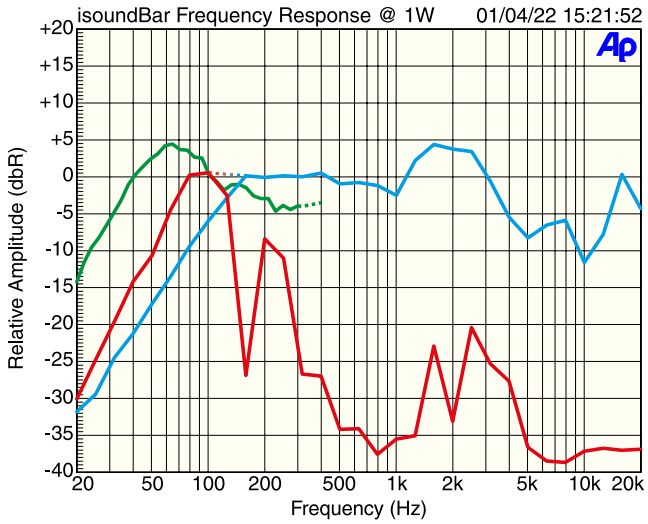
Rozwiązaniem było stworzenie trzech komór izobarycznych (patrz ramka obok) z wykorzystaniem czterech przetworników 5 cm (2 cale) dla lewego i prawego kanału (po dwa dla każdego) oraz dwóch przetworników 9 cm (3,5 cala) dla głośnika niskotonowego, zamontowanych poziomo.

Zastosowanie komór izobarycznych ma kluczowe znaczenie, ponieważ zmniejsza o połowę wymaganą objętość wewnętrzną dla dobrego przenoszenia niskich częstotliwości. Podwójna konstrukcja izobaryczna zapewnia dobry górny bas z małych obudów wewnętrznych L i R, pozostawiając wystarczająco dużo miejsca na wewnętrzny głośnik niskotonowy, również w konfiguracji izobarycznej.

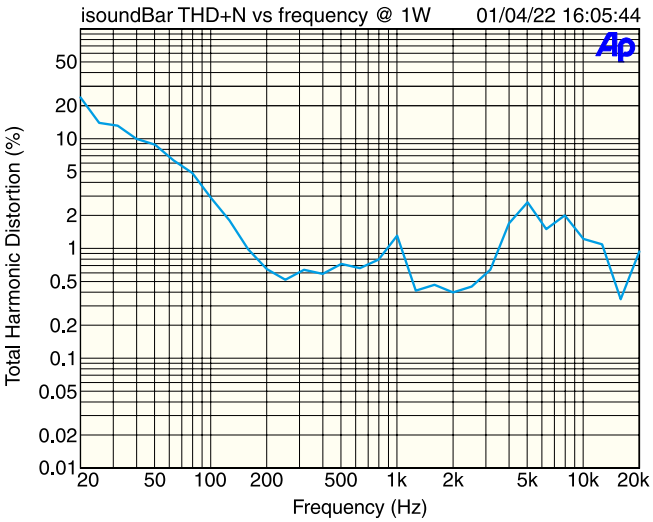
Ostatecznie do projektu zostały dodane 2,5 cm (1 cal) głośniki wysokotonowe Vifa do 5 cm i 9 cm głośników Vifa, zapewniając

isoundBar ma cztery głośniki TC6FD00-04 (po lewej), dwa TG9FD10-04 (w środku) i dwa głośniki wysokotonowe BC25SC55-04 (po prawej)

eprasa.pl bfa7a1d357



Rysunek 1. Pasmo przenoszenia isoundBara jest w miarę gładkie do 20 kHz (niebieska krzywa). Charakteryzuje się akceptowalnym pasmem przenoszenia basów, które jest znacznie wzmocnione przez głośnik niskotonowy (czerwona krzywa), a nawet jeszcze bardziej przez opcjonalny subwoofer (zielona krzywa). Chociaż może się wydawać, że subwoofer tworzy podbicie basu, w praktyce brzmi on tak jak powinien. Bas jest mocny, ale nie jest dudniący ani irytujący



Rysunek 2. Całkowite zniekształcenia harmoniczne dla isoundBar są generalnie mniejsze niż 2% powyżej 120 Hz i znacznie poniżej 1% w dużej części krytycznego zakresu średniotonowego. Jest to doskonały wynik, jeśli weźmiemy pod uwagę, że zniekształcenia wzmacniacza są znacznie wyższe niż w przypadku większości wzmacniaczy Silicon Chip. Wynoszą one mniej niż 10% do 40 Hz, co jest wyjątkowym wynikiem dla małych 9-centymetrowych (3,5 cala) głośników!

wyjątkową jakość dźwięku! isoundBar ma zatem również fantastyczne wysokie tony z małych głośników wysokotonowych i zapewnia łączność Bluetooth.

Krytycznym aspektem podczas doboru przetworników była ich dostępność w rozsądnych ilościach i mamy nadzieję, że pozostaną dostępne przez jakiś czas po opublikowaniu tego artykułu.

Cały projekt jest trójdrożny, z oddzielnymi wzmacniaczami dla kanałów lewego i prawego oraz wewnętrznego głośnika niskotonowego. W rzeczywistości jest to w sumie pięć oddzielnych wzmacniaczy: dwa dla lewego i prawego głównego głośnika, dwa dla lewego i prawego głośnika wysokotonowego i jeden dla głośnika niskotonowego, każdy o maksymalnej mocy wyjściowej 50 W RMS i każdy z własnym regulatorem głośności do balansowania.

W tym celu zastosowałem moduł wzmacniacza Yuanjing klasy D 4.1, który wcześniej recenzowałem w wydaniu z maja 2019 roku (siliconchip.au/Article/11614). Moduł posiada trzy wysokowydajne układy scalone wzmacniacza audio klasy D Texas Instruments TPA3116D2 z dwoma kanałami 50 W na układ scalony.

Jeśli zapoznasz się z tym artykułem, zobaczysz, że w projekcie przeznaczono cały układ TPA3116D2 dla kanału subwoofera, aby teoretycznie dostarczyć 100 W RMS. Testy wykazały jednak, że rzeczywista maksymalna moc wyjściowa jest bliższa 60 W.

Niemniej jednak, wybraliśmy ten moduł ze względu na jego niski koszt i łatwość obsługi. Zapewnia on dużą moc do obsługi szerokiego zakresu dynamiki z nowoczesnych źródeł sygnału, takich jak strumieniowane filmy, płyty CD, DVD, Blu-ray itp. z wystarczającym zapasem mocy przed przesterowaniem. Jakość dźwięku jest również całkiem przyzwoita jak na niedrogi moduł wzmacniacza klasy D.

Wiele filmowych ścieżek dźwiękowych zawiera realistyczne szepty, a następnie natychmiast narzuca bardzo głośne dźwięki bomb, odrzutowców i pojazdów, więc potrzebny jest znaczny zakres dynamiki. Jakiekolwiek przesterowanie wzmacniaczy może szybko uszkodzić małe głośniki, zwłaszcza małe głośniki wysokotonowe. Potrzeba więc więcej mocy w rezerwie niż mogłoby się wydawać.

Opcjonalny subwoofer dodaje mnóstwo basu i ma wymiary zaledwie 45×30×15 cm

Układy te posiadają również zabezpieczenie przed zwarciem/przeciążeniem, przepięciem i zbyt niskim napięciem, a ich sprawność wynosi około 90%. Każdy z nich wymaga jedynie niewielkiego radiatora i jest zasilany z wysokoprądowego zasilacza wtyczkowego 12...24 V, co oznacza, że nie jest wymagane okablowanie sieciowe. Niewielka ilość generowanego ciepła oznacza, że specjalna wentylacja obudowy nie jest konieczna.

Moduł ten ma również wbudowany odbiornik Bluetooth, który aktywuje przekaźnik po sparowaniu. Sygnał może być również podawany przez wbudowane gniazdo 3,5 mm. Priorytet ma to wejście audio, na którym sygnał audio pojawi się w pierwszej kolejności.

Jeśli potrzebujesz mocniejszego dźwięku, opiszemy również zewnętrzne wyjście subwoofera do połączenia z subwooferem. Jak powiedzieliśmy wcześniej, dźwięk ma sporą moc bez niego, ale subwoofer dodaje zupełnie nowy wymiar i jest wymagany, jeśli chcesz autentycznego doświadczenia hi-fi lub po prostu jesteś fanem basu!

Osiągi

Pasmo przenoszenia systemu bez wewnętrznego głośnika niskotonowego oraz głośnika niskotonowego pokazano na **rysunku 1**. Bez głośnika niskotonowego pasmo przenoszenia jest dość płaskie od około 120 Hz do 20 kHz. Dodanie głośnika niskotonowego rozszerza pasmo przenoszenia

eprasa.pl bfa7a1d357

Co to jest głośnik izobaryczny?

W konstrukcji głośnika izobarycznego zastosowano dwa identyczne przetworniki, ale tylko jeden z nich emituje dźwięk. Drugi jest połączony z pierwszym za pomocą małej, szczelnej obudowy, w której ciśnienie pozostaje stałe, gdy głośniki poruszają się w tym samym kierunku, o tę samą wartość, w tym samym czasie – rysunek 3.

Konfigurację tę wynalazł Harry Olson w latach 50. ubiegłego wieku. Wykorzystuje ona głośniki (zazwyczaj basowe) zamontowane w szczelnej obudowie i sterowane równolegle lub szeregowo, aby zapewnić ich „lock step".

Taka konfiguracja obniża efektywną wartość Vas o połowę. Innymi słowy, skutecznie podwaja objętość obudowy głośnika i rozszerza pasmo przenoszenia basów poza to, co byłoby możliwe w przypadku identycznych głośników w obudowie o tym samym rozmiarze.

Mimo podwojenia mocy, sprawność i poziom ciśnienia akustycznego nie ulegają zwiększeniu. Główną wadą jest podwojenie kosztu głośnika bez odpowiedniego wzrostu mocy wyjściowej dźwięku.

Rysunek 3. Układ izobaryczny ma dwa głośniki połączone szeregowo, sterowane tym samym sygnałem

Wszystkie głośniki muszą być uszczelnione za pomocą samoprzylepnej uszczelki piankowej

basów do 60...80 Hz, a dodanie zewnętrznego subwoofera rozszerza je do około 35 Hz.

Może nie wygląda na to, aby zewnętrzny głośnik niskotonowy robił dużą różnicę, ale zaufaj nam, tak jest! Po dodaniu subwoofera ogólna jakość dźwięku wzrasta z dobrej do świetnej. Mimo to, wewnętrzny głośnik niskotonowy jest całkiem dobry do oglądania zwykłych programów telewizyjnych. Gdy chcesz posłuchać muzyki lub obejrzeć film w kinowym stylu, dodatkowy bas jest naprawdę wart zachodu.

Na **rysunku 2** przedstawiono zmierzone zniekształcenia przy mocy jednego wata. Co ważne, są one dość niskie (poniżej 1%) w większości przedziału między 150 Hz a 3,5 kHz zawierającego większość najbardziej krytycznych dźwięków, takich jak ludzki głos i wiele instrumentów. Skutkuje to czystym dźwiękiem z doskonałą zrozumiałością dialogów.

Układ i obliczenia

Podobnie do tego, co pokazano na **rysunku 3**, głośniki niskotonowe są ustawione w izobarycznej skrzynce w przeciwnych pozycjach. Membrany są jednak podłączone tak, aby poruszały się w tym samym kierunku. Dźwięk wydobywający się spod przetworników trafia do portu głośnika niskotonowego z przodu, który został zaprojektowany w taki sposób, że wymagany jest jedynie otwór o średnicy 32 mm. Nie ma przedłużenia tuby portu, co upraszcza konstrukcję.

W isoundBarze zostały zastosowane głośniki Vifa/Peerless (Vifa i Peerless połączyły się w 2000 roku). Główny lewy i prawy głośnik to 5,5 cm przetworniki TC6FD00-04, a dwa 9 cm przetworniki TG9FD10-04 pełnią rolę głośników niskotonowych.

Dźwięk z soundbara pochodzi głównie z czterech przetworników TC6FD00-04, po dwa z każdej strony. Są one połączone szeregowo, ponieważ wzmacniacz nie jest w stanie obsłużyć obciążenia 2 Ω, jakie stanowiłyby, gdyby były połączone równolegle.

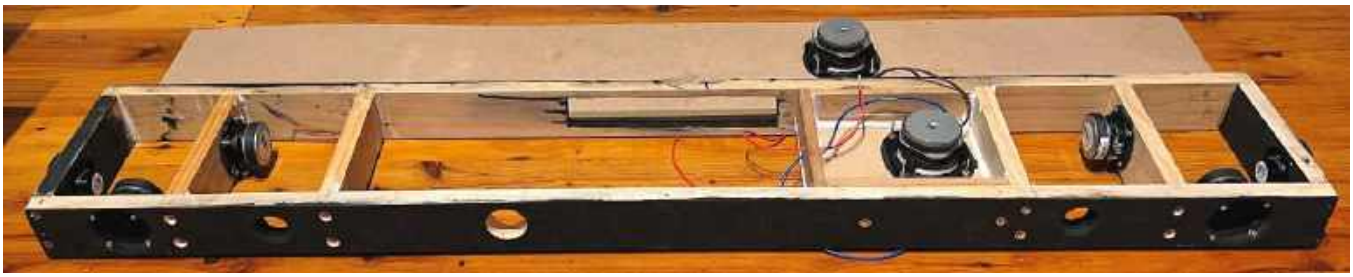
Te małe głośniki mają bardzo płaską charakterystykę częstotliwościową w zakresie średnich częstotliwości, ale tracą nieco na górnej częstotliwości końcowej ze względu na ich izobaryczne ustawienie, które nieco je tłumi. Dlatego też po obu stronach umieszczono po jednym 25-milimetrowym głośniku wysokotonowym Vifa BC25SC55-04.

Głośniki wysokotonowe mają oporność 6 Ω i są sterowane przez oddzielny wzmacniacz z własną regulacją głośności. Zostały zamontowane na końcach soundbara i są sterowane za pośrednictwem kondensatorów 6,8 μF. Dodają one przyjemne wysokie tony, które mają tendencję do odbijania się od ścian sąsiadujących z pokojem telewizyjnym, tworząc efekt rozproszenia. Ich częstotliwość odcięcia (punkt –3 dB) jest bliska 4 kHz ze względu na wartość kondensatora.

Regulacja głośności tych głośników wysokotonowych zapewnia bardzo łatwe ustawianie wysokich tonów, co jest szczególnie przydatne dla osób z pewnym ubytkiem słuchu HF. Ich niezależny wzmacniacz oznacza również, że nie ma interferencji z głośnikami średniotonowymi lub niskotonowymi, co znacznie zmniejsza ogólne zniekształcenia.

Ze względu na ich naturalny spadek charakterystyki przy wysokich częstotliwościach, główne 5,5 cm przetworniki nie wymagają żadnego dławika, który byłby konieczny w typowym układzie głośników. Zmniejsza to całkowity koszt systemu.

Głośniki niskotonowe są połączone szeregowo, aby uzyskać całkowitą impedancję 8 Ω i są sterowane z kanału subwoofera wzmacniacza klasy D. Program LEAP przewiduje punkt –3 dB przy 39 Hz, chociaż nasze pomiary za pomocą urządzeń



Głośniki zamontowaliśmy za pomocą śrub i nakrętek 3 mm, chociaż wkręty do drewna również by się sprawdziły. Wszystkie szczeliny muszą być uszczelnione za pomocą uszczelki piankowej lub wypełnione silikonem. Głośnik niskotonowy zamontowany na górnej półce jest skierowany w dół, podczas gdy ten zamontowany na górnym panelu jest umieszczony obok niego. Należy zadbać o to, by okablowanie subwooferów nie kolidowało z membranami

eprasa.pl bfa7a1d357

Audio Precision wskazują na nieco wyższy spadek przy około 55 Hz. Wciąż jest to imponujący wynik, biorąc pod uwagę niewielką przestrzeń i niską czułość tych przetworników na poziomie 84 dB/W @ 1 m.

Głośniki niskotonowe mają moc znamionową 10 W, ale dzięki dwóm połączonym szeregowo głośnikom możemy je sterować mocą do 20 W. Kanał subwoofera wzmacniacza klasy D może dostarczyć ponad 50 W, więc głośniki będą słyszalnie zniekształcać na długo przed tym, jak wzmacniacz się wyłączy. Wynika z tego, że cewki drgające nie powinny się przegrzewać, nawet jeśli są nadmiernie sterowane (w granicach rozsądku).

Konstrukcja zawiera opcjonalne wyjście do sterowania zewnętrznego pasywnego subwoofera i może sterować prawie każdy głośnik o impedancji 4 Ω lub wyższej. Opcjonalny subwoofer po podłączeniu do tego wyjścia sprawdza się świetnie.

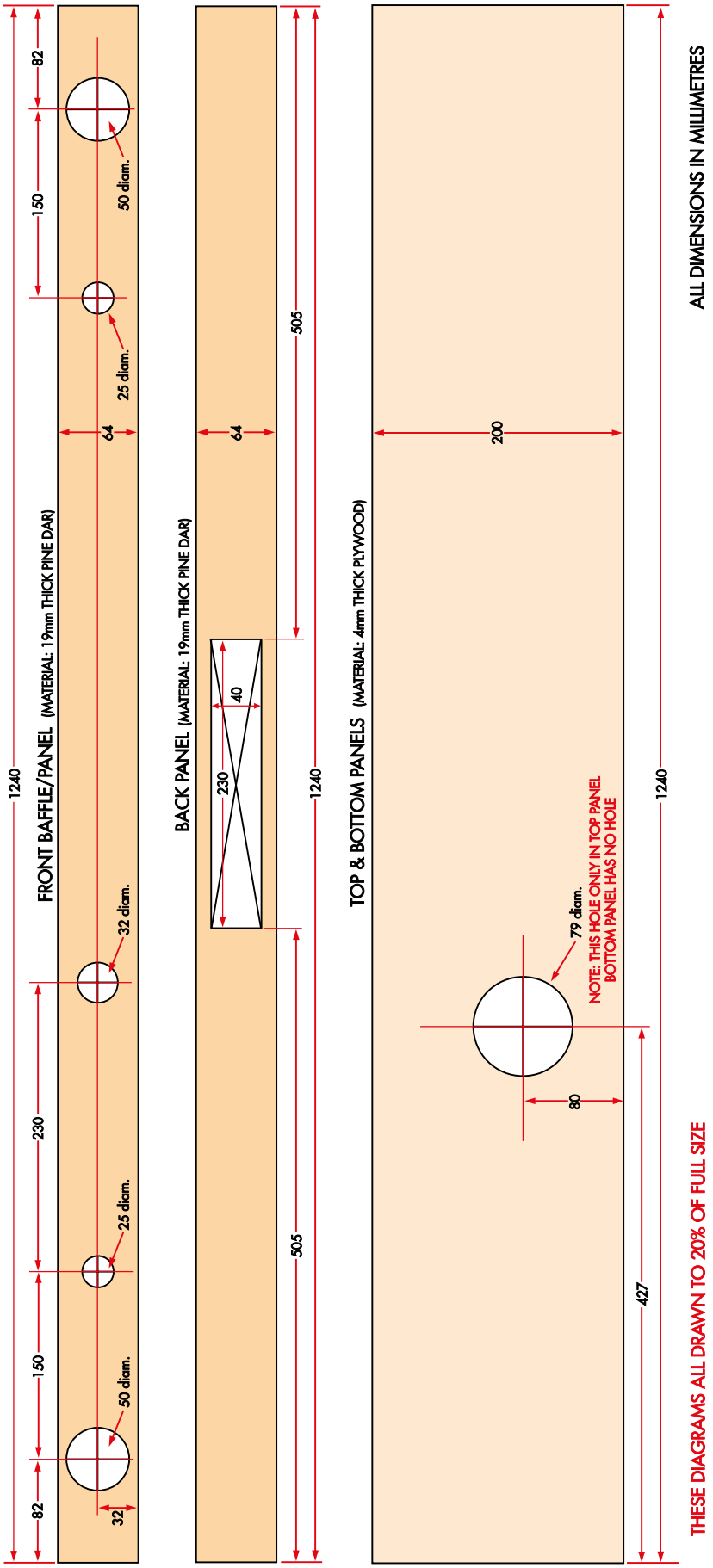
Konstrukcja soundbara

isoundBar jest nieco trudniejszy do zbudowania niż nasz Concreto Loudpeaker System (czerwiec 2020; siliconchip.au/Article/14463).

Należy pamiętać, że musimy zmieścić wszystko w stosunkowo niewielkiej obudowie, a dodatkowo należy zapewnić wysoką jakość dźwięku z niewielkich głośników. Droższe komercyjne soundbary hi-fi również wykorzystują dość złożone konstrukcje, co jest jednym z powodów ich wysokiej ceny. Ale jeśli jesteś majsterkowiczem, możesz wyeliminować wiele z tych kosztów.

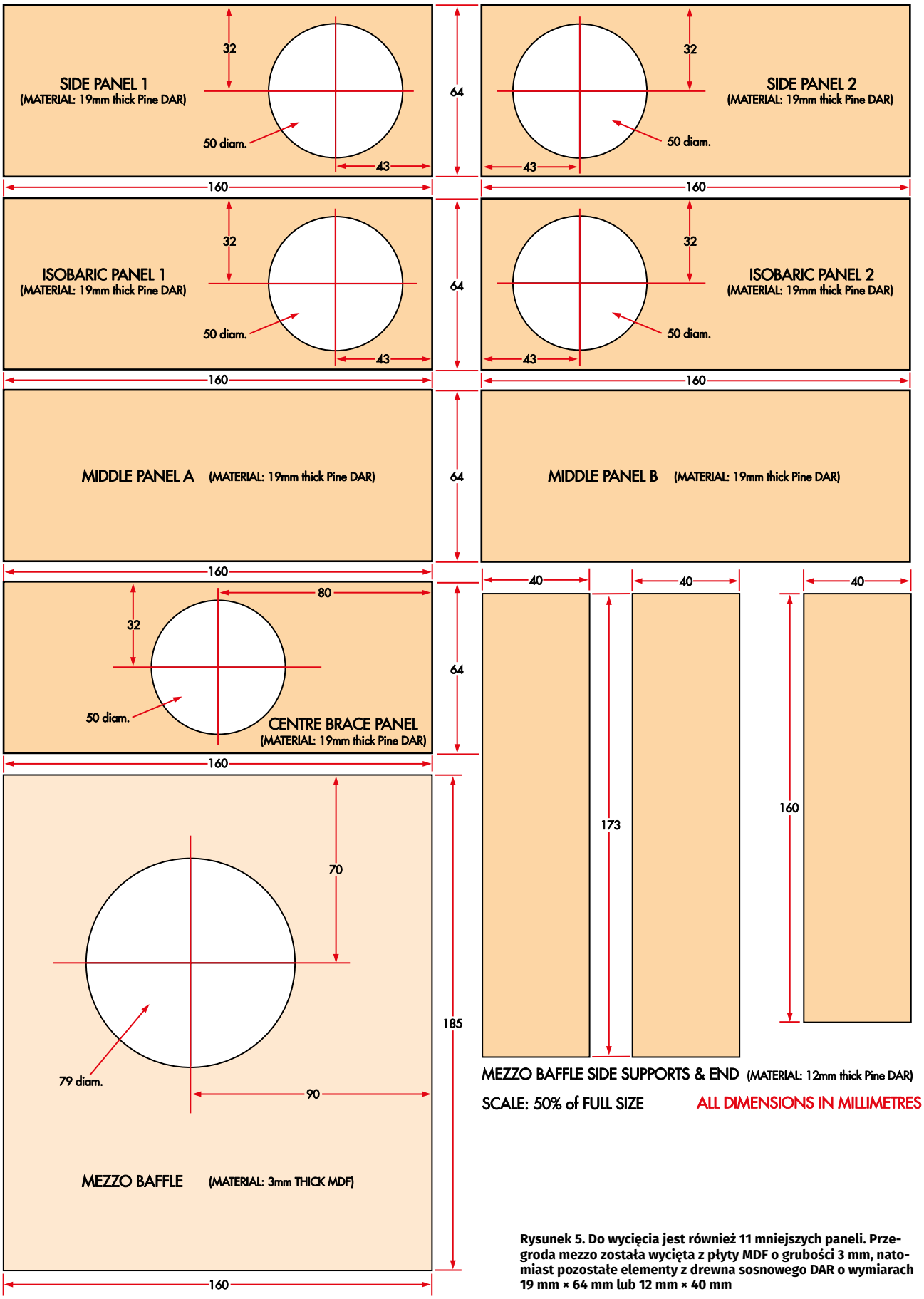
Pracując krok po kroku, przekonasz się, że konstrukcja jest łatwiejsza niż mogłoby to wynikać z rysunków. W rzeczywistości przeciętny majsterkowicz powinien być w stanie ją zbudować przy użyciu podstawowych elektronarzędzi. Kawałki drewna, które należy wyciąć oraz otwory, które należy wywiercić, pokazano na **rysunkach 4** i **5**, a sposób ich łączenia pokazano na **rysunku 6**.

Zacznij od przycięcia sosnowych desek na odpowiednią długość, a następnie wytnij otwory na głośniki i porty za pomocą otwornic lub wyrzynarki. Następnie zmontuj ramę zewnętrzną, przykręcając i sklejając ze sobą cztery elementy zewnętrzne, a następnie elementy wewnętrzne. Wywierć małe otwory pilotażowe pod śruby, aby nie rozłupać drewna.



Rysunek 4. Większe panele, które po wycięciu będą tworzyć górę, dół, tył i przód isoundBara. Góra i dół zostały wycięte ze sklejki o grubości 4 mm, natomiast przód i tył z drewna sosnowego DAR o wymiarach 19 mm × 64 mm

eprasa.pl bfa7a1d357



Rysunek 5. Do wycięcia jest również 11 mniejszych paneli. Przegroda mezzo została wycięta z płyty MDF o grubości 3 mm, natomiast pozostałe elementy z drewna sosnowego DAR o wymiarach 19 mm × 64 mm lub 12 mm × 40 mm

eprasa.pl bfa7a1d357

Ci, którzy są bardziej zaawansowani w obróbce drewna, mogą preferować lepsze techniki łączenia, takie jak łączenie na jaskółczy ogon, ale niezależnie od wybranej metody, upewnij się, że rama jest prostopadła. Można to zrobić za pomocą zacisków lub po prostu przybić kawałek drewna po przekątnej, aby zachować prostopadłość do czasu wyschnięcia kleju.

Następnie zbuduj skrzynkę głośnika niskotonowego i zamontuj drewniane listwy równo z dnem za pomocą śrub i kleju. Przyklej przegrodę antresoli do listew bocznych, a następnie zamontuj jeden z głośników 9 cm, jak pokazano na rysunku. Wszystkie głośniki muszą być uszczelnione samoprzylepną izolacją piankową, jak pokazano wcześniej.

Następnym krokiem jest zamontowanie pozostałych głośników za pomocą wkrętów do drewna w otwory pilotażowe lub nakrętek i śrub przez otwory o średnicy 3 mm wywiercone na wylot. Pamiętaj, że układ powinien być szczelny. Zamontuj głośniki wysokotonowe w otworach po obu stronach ramy, a następnie zamontuj drugi 9-centymetrowy głośnik w otworze w górnym panelu.

Wypełnij wszelkie szczeliny, przez które może przedostawać się powietrze, używając uszczelniacza silikonowego.

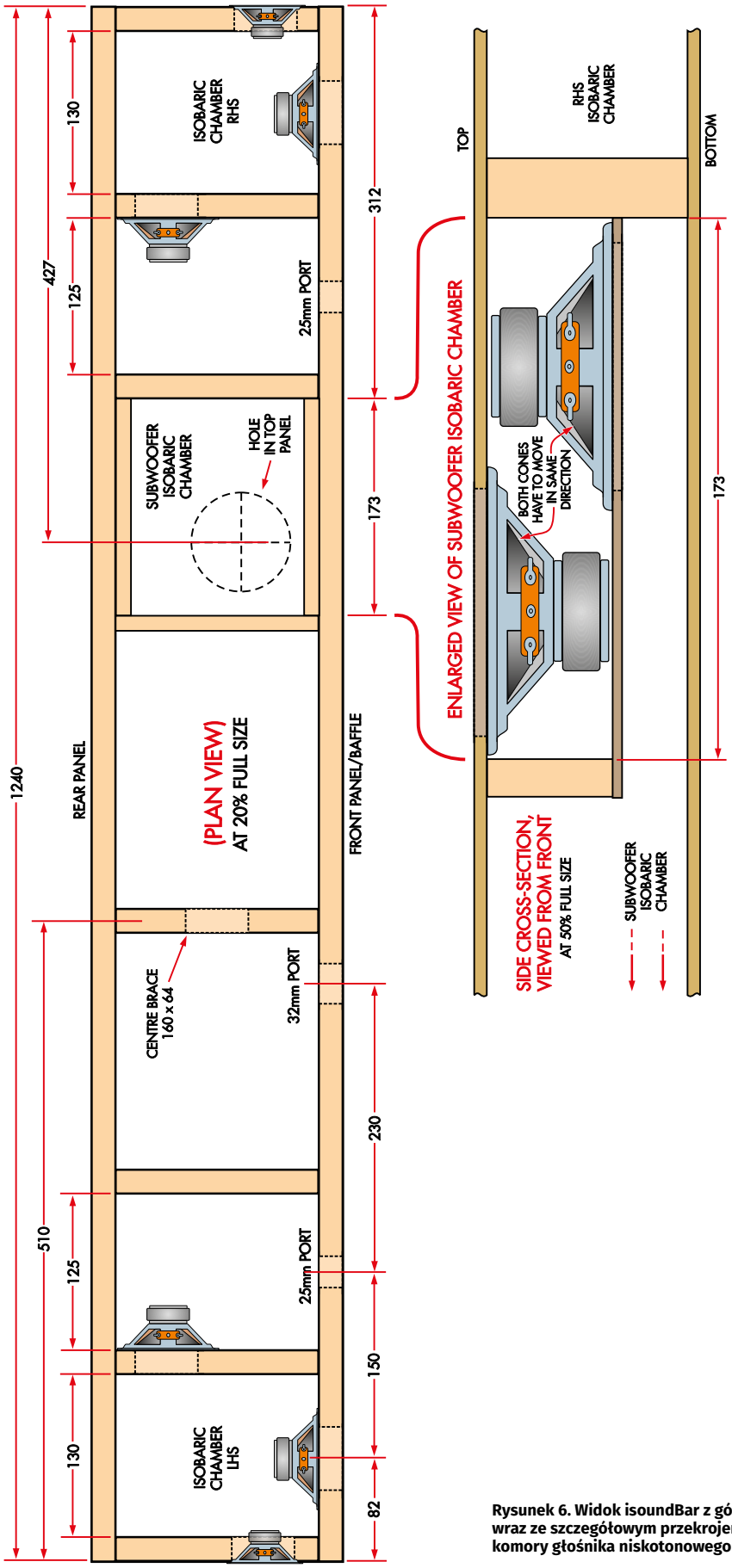
Na panel wzmacniacza należy wyciąć kawałek czystego laminatu FR4 z miedzią lub bez i wywiercić otwory na potencjometry, gniazdo zasilania, gniazdo jack 3,5 mm, zaciski zewnętrznego subwoofera i przełącznik wyboru. Pomaluj go na czarno, a następnie przykręć i przyklej ten panel do prostokątnego wycięcia z tyłu soundbara. W naszym prototypie wykorzystaliśmy śruby i nakrętki o średnicy 3 mm, choć można też użyć wkrętów do drewna.

Zamontuj wzmacniacz klasy D do panelu, a następnie zamontuj wszystkie pozostałe gniazda pomocnicze.

Przylutuj/podłącz przewody głośnikowe zgodnie ze schematem połączeń (**rysunek 7**) i zamontuj wzmacniacz w soundbarze.

Gdy wszystko jest już na swoim miejscu, nadszedł czas, aby przeprowadzić test. Możesz podłączyć wejście 3,5 mm do źródła dźwięku lub po prostu sparować smartfon, tablet lub inne urządzenie przez Bluetooth. Wzmacniacz po prostu wybierze aktywne źródło.

Urządzenie należy początkowo uruchamiać przy niskim poziomie głośności, aby uniknąć przeciążenia głośników przed ich całkowitym zamknięciem za pomocą górnego i dolnego panelu.



Rysunek 6. Widok isoundBar z góry wraz ze szczegółowym przekrojem komory głośnika niskotonowego

eprasa.pl bfa7a1d357

Upewnij się, że wszystkie głośniki działają. W tym celu powoli ustaw głośniki wysokotonowe, aż uzyskasz wystarczającą głośność. Głośniki niskotonowe należy ustawić w drugiej kolejności, aby zapobiec niepożądanym wibracjom ich mocowań.

Gdy upewnisz się, że wszystko jest w porządku, potnij watę akustyczną na prostokątne kawałki, które pasują do każdej sekcji i umieść je luźno w środku. W małej komorze głośnika niskotonowego nie ma wystarczająco dużo miejsca, ale wypełnij resztę.

Następnie można zamontować dolny panel za pomocą śrub lub kleju. Górny i dolny panel do naszego prototypu przymocowaliśmy za pomocą śrub z cienką uszczelką, abyśmy mogli łatwo otworzyć go ponownie w celu wprowadzenia zmian w fazie rozwoju.

Po zamontowaniu dolnego panelu można uszczelnić połączenia za pomocą silikonowej masy uszczelniającej. Uszczelnij również otwory, przez które przechodzą przewody.

Montaż górnego panelu może być nieco trudny, ponieważ górny głośnik niskotonowy wymaga przewodu na tyle długiego, aby miał pewien zapas (luz). Przewód należy ostrożnie umieścić wewnątrz soundbara, aby nic nie dotykało do membran.

Dobrym pomysłem jest umieszczenie górnego panelu w docelowym miejscu i jego dociśnięcie, a następnie przetestowanie go poprzez załączenie sygnału audio. Należy mieć pewność, że nic nie zakłóca pracy membran przed trwałym zamocowaniem panelu.

Teraz przykręć i przyklej górny panel, aby soundbar mógł zapewnić czysty dźwięk; następnie możesz przeprowadzić prace wykończeniowe z użyciem tkaniny maskującej.

My pomalowaliśmy soundbar na czarno, a następnie głośniki przykryliśmy tkaniną maskującą, by nie rzucały się w oczy z pozycji fotela.

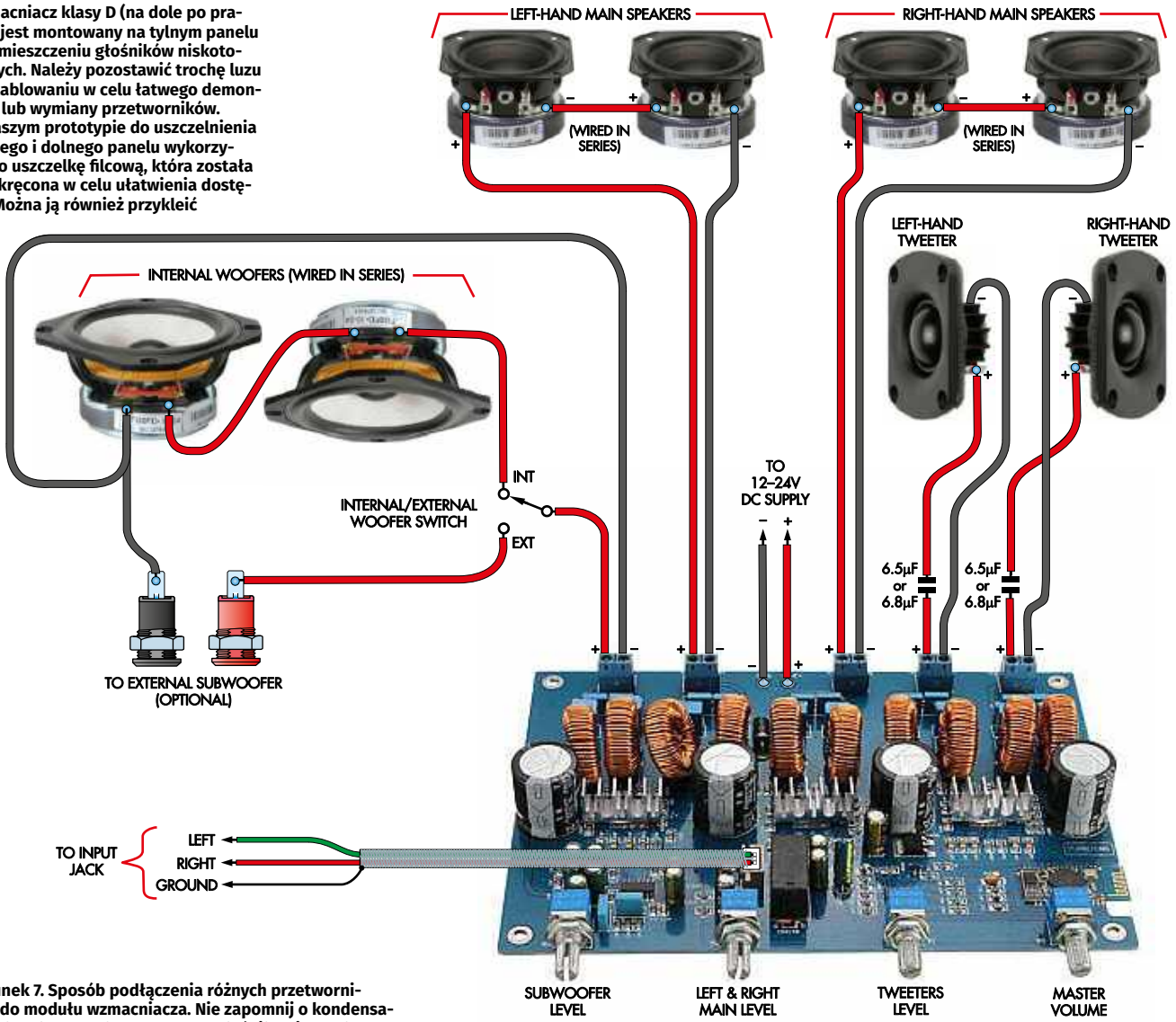
Aby to zrobić, wystarczy przyciąć materiał maskownicy do odpowiedniego rozmiaru, owinąć soundbar, a następnie przykleić go za pomocą kleju na gorąco.

Teraz możesz już cieszyć się pięknym dźwiękiem spod telewizora!

Zewnętrzny subwoofer

Jak wspomniano wcześniej, isoundBar sam w sobie ma mocny bas, ale brakuje mu charakterystycznej głębi, która sprawia, że dźwięk jest bardziej realistyczny zarówno podczas oglądania filmów, jak i słuchania muzyki.

Wzmacniacz klasy D (na dole po prawej) jest montowany na tylnym panelu po umieszczeniu głośników niskotonowych. Należy pozostawić trochę luzu w okablowaniu w celu łatwego demontażu lub wymiany przetworników. W naszym prototypie do uszczelnienia górnego i dolnego panelu wykorzystano uszczelkę filcową, która została przykręcona w celu ułatwienia dostępu. Można ją również przykleić



Rysunek 7. Sposób podłączenia różnych przetworników do modułu wzmacniacza. Nie zapomnij o kondensatorach połączonych szeregowo z głośnikami wysokotonowymi, w przeciwnym razie mogą łatwo ulec uszkodzeniu

eprasa.pl bfa7a1d357

Ponieważ subwoofer nie kosztuje majątku, gorąco polecamy go jako dodatek.

Koncepcja projektowa

Mały subwoofer jest naprawdę łatwy do zbudowania jako konstrukcja w obudowie zamkniętej i może być skręcony lub sklejony z płyty laminowanej o grubości 18 mm. Jego smukła konstrukcja sprawia, że można go łatwo ukryć. Wzmacniacz klasy D w isoundBarze może dostarczyć ponad 50 W RMS, więc bez problemu będzie w stanie wysterować taki mini-subwoofer, generując całkiem spore ilości basu.

Wybór głośnika dla tego subwoofera został zainspirowany przez JBL Club WS1000, 25 cm (10 cali) głośnik, który ma naprawdę niski rezonans (26,62 Hz) w połączeniu z niskim VAS 40,37 l. Oznacza to, że można uzyskać świetny bas w małej, zamkniętej obudowie o pojemności około 15 litrów. To niewiele jak na subwoofer, który może oferować tak niski bas!

Głośnik kosztował 148 USD (w tym wysyłka) w momencie budowy i jest dostarczany z pełną dokumentacją, a także naklejką JBL!

18-milimetrowa melamina HMR, której użyliśmy do budowy obudowy, pochodziła z wycinka, który już mieliśmy, akustyczne wypełnienie wewnętrzne również pozostało z innych projektów głośnikowych, podobnie jak przewód, więc był to projekt budżetowy.

Aby wyglądał ładnie, pokryliśmy go czarną wykładziną filcową o grubości 2 mm, która jest sprzedawana specjalnie do użytku z subwooferami i kosztuje 19,99 USD za 1 m². Tak więc całkowity koszt budowy subwoofera wyniósł w naszym przypadku zaledwie 168 USD. Nawet jeśli będziesz musiał kupić wszystkie materiały jako nowe, prawdopodobnie będziesz musiał wydać około 200 dolarów.

Głośnik, mimo że jest dość potężny, ma bardzo małą 80-milimetrową głębokość. Całość ma więc smukłą budowę. 25-centymetrowy głośnik niskotonowy JBL W10GTi MkII, który testowaliśmy poprzednim razem, miał 232 mm głębokości. JBL z czasem opracował konstrukcje znacznie bardziej kompaktowe.

Chcieliśmy użyć W10GTi MkII jako komponent naszych głośników Senator (maj i czerwiec 2018, siliconchip.au/Series/300), ale okazało się, że jest zbyt drogi i ciężki, w związku z czym ostatecznie nie nadaje się do smukłej obudowy. Nowa konstrukcja WS1000 jest znacznie lżejsza i smukła, z łatwiejszym systemem okablowania, a mimo to działa prawie tak samo dobrze!

Głośnik JBL, który wybraliśmy został zaprojektowany głównie do użytku w samochodach, więc posiada przełącznik „selectable smart impedance" (SSI) pozwalający na ustawienie impedancji 2 Ω lub 4 Ω. W przypadku isoundBar wzmacniacz klasy D nie nadaje się do sterowania obciążenia 2 Ω, więc należy użyć opcji 4 Ω.

JBL zaleca obudowę zamkniętą o pojemności 14,15 l, a także większe obudowy z portami, ale mniejsza, szczelna obudowa jest znacznie łatwiejsza do wykonania i można ją szybko złożyć.

Wykaz elementów:

2 głośniki Vifa/Peerless TG9FD10-04 9 cm/3,5 cala [Wagner Electronics]
4 głośniki Vifa/Peerless TC6FD00-04 5,5 cm/2 cale [Wagner Electronics]
2 głośniki wysokotonowe Vifa/Peerless BC25SC55-04 2,5 cm/1 cal [Wagner Electronics]
1 kawałek waty akustycznej o wymiarach 100 mm × 450 mm [np. www.ebay.com.au/itm/185046067357]
1 Moduł wzmacniacza klasy D 4.1 oparty na TPA3116D2 [np. www.aliexpress.com/item/32911419084.html]
1-metrowy przewód głośnikowy (rysunek 8) o średniej wytrzymałości
2 kondensatory metalizowane polipropylenowe zwrotnicy 6,5...6,8 µF 250 V [Jaycar RY6956]
1 zasilacz 24 V 5 A z wtyczką cylindryczną DC
1 gniazdo baryłkowe do montażu panelowego, pasujące do zasilacza
1 złącze głośnikowe do montażu panelowego [Jaycar PS1082].
4 pokrętła (pasujące do modułu wzmacniacza; najprawdopodobniej karbowane)
1 butelka kleju do drewna
1 tubka uszczelniacza silikonowego o neutralnym utwardzaniu
3 1,24 m długości DAR sosna 64 mm × 19 mm
1 1,24 m długości DAR sosna 40 mm × 12 mm
1 arkusz sklejki 19...20 mm o wymiarach 2400 mm × 1200 mm
1 arkusz sklejki 4 mm o wymiarach 1240 mm × 900 mm
1 płyta MDF o wymiarach 600 mm × 900 mm i grubości 3 mm
1 5 m rolka szarej piankowej taśmy uszczelniającej o grubości 9 mm i szerokości 9,5 mm [np. Bunnings 0077668]
50 wkrętów do drewna z łbem kulistym 8G × 15 mm (do montażu sterowników) lub
50 śrub z łbem walcowym M3 × 25 mm z podkładkami płaskimi i nakrętkami sześciokątnymi
50 wkrętów do drewna 7G × 30 mm lub 8G × 30 mm z łbem stożkowym (do łączenia elementów)
20 małych nylonowych opasek kablowych (zaciski typu P; opcjonalnie)
4 nylonowe kołki rozporowe z gwintem M3 i śruby maszynowe M3 6 mm (do montażu modułu wzmacniacza)
1 arkusz 300 mm × 100 mm FR4 z miedzią lub bez
1 kawałek ciemnej tkaniny 1 m × 1,5 m maskownicy głośnika [Jaycar CF2752]

Części do opcjonalnego (ale zalecanego) subwoofera

1 głośnik niskotonowy JBL Club WS1000 24 cm/10 cali [eBay]
1 kawałek waty akustycznej o wymiarach 100 cm × 45 cm [np. www.ebay.com.au/itm/185046067357]
1 arkusz sklejki o grubości 18 mm, płyty MDF lub podobnej o wymiarach 1200 mm × 596 mm (lub większych)
1 para zacisków głośnikowych do montażu panelowego (opcjonalnie)
1 podwójny przewód głośnikowy o długości ponad 1 m (w zależności od instalacji)
8 wkrętów do drewna z łbem kulistym 8G × 15 mm (do montażu głośnika) lub
8 śrub z łbem walcowym M3 × 25 mm z podkładkami płaskimi i nakrętkami sześciokątnymi
20 wkrętów do drewna 7G × 30 mm lub 8G × 30 mm z łbem stożkowym (do łączenia elementów)
1 tubka uszczelniacza silikonowego o neutralnym utwardzaniu

Osiągi subwoofera

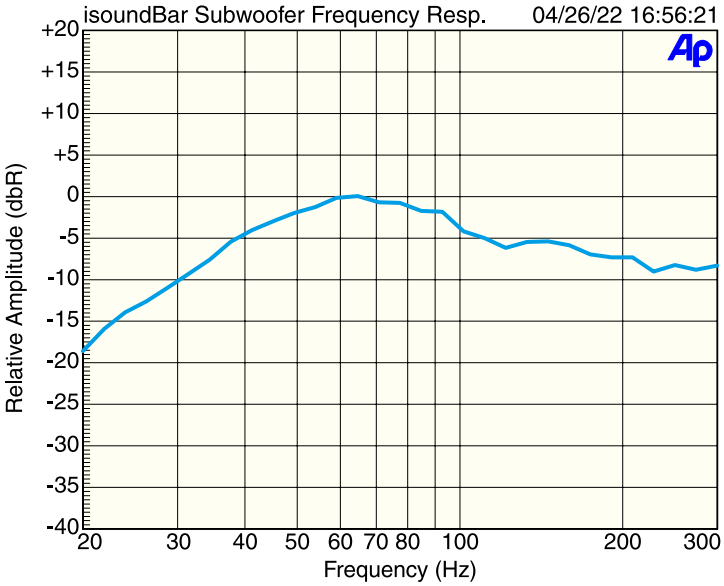
Pasmo przenoszenia naszego subwoofera jest bardzo gładkie do bardzo przyzwoitych 30 Hz, podbiciem przy około 60 Hz, jak pokazano na **rysunku 8**. Górna częstotliwość odcięcia może wynosić nawet 300 Hz, ale ustawienie naszego wzmacniacza klasy D jest ustalone na 150 Hz (–6 dB). Okazuje się, że jest to dobre rozwiązanie dla tego subwoofera.

Jak pokazano na **rysunku 9**, zniekształcenia z subwoofera są poniżej 5% od około 35 Hz do 120 Hz. Wyższe zniekształcenia poniżej 35 Hz wynikają ze spadku poziomu wyjściowego, podczas gdy powyżej 200 Hz wynikają z dużej ruchomej masy głośnika. Chociaż wydawać może się, że 5% to dużo, jednak w przypadku subwoofera jest to wartość do przyjęcia.

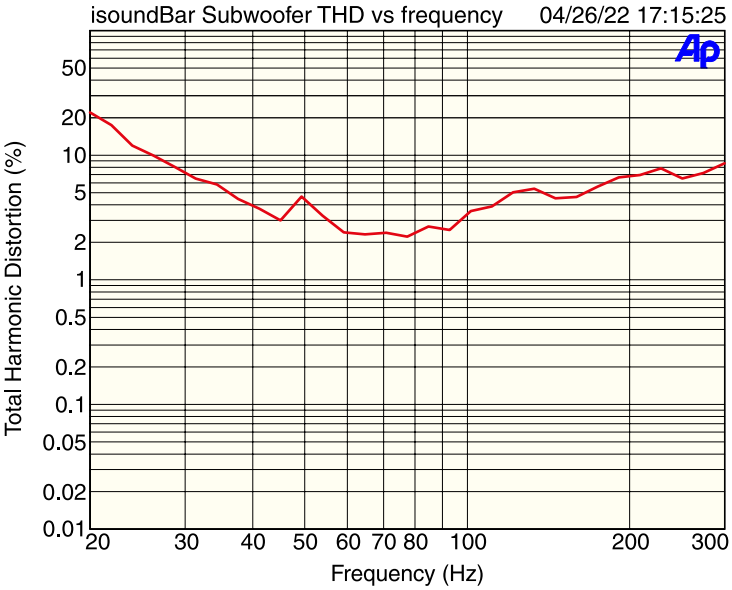
Końcowa impedancja głośnika JBL zamontowanego w małej obudowie wykazuje imponujący szczyt rezonansu przy 46,62 Hz – patrz **rysunek 10**. Głośnik został ustawiony na 4 Ω, ale rzeczywiste pomiary

Panel sterowania dla isoundBara. Przydatne może być utworzenie własnej etykiety wyjaśniającej znaczenie poszczególnych elementów panelu

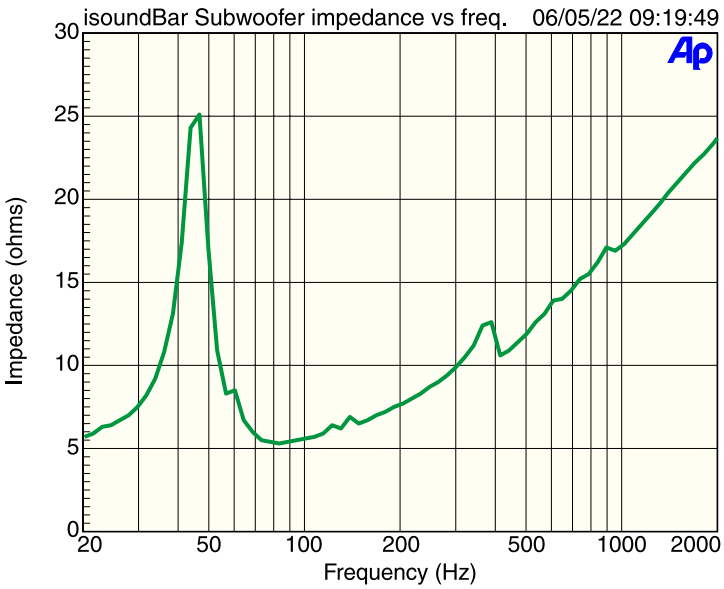
eprasa.pl bfa7a1d357



Rysunek 8. Pasmo przenoszenia subwoofera ma niewielkie podbicie przy około 65 Hz, ale pasmo jest użyteczne do około 30 Hz. Ładnie łączy się z wyjściem dźwiękowym isoundBara i dodaje mu mocy!



Rysunek 9. Wykres zniekształceń subwoofera. Zniekształcenia mogą wydawać się dość duże, ale dla subwooferów wysokie poziomy zniekształceń są dość charakterystyczne. Około 2% w środku zakresu jest w rzeczywistości parametrem dość przyzwoitym



Rysunek 10. Pomimo nominalnej impedancji 4 Ω, parametr ten dla subwoofera nie spada poniżej 5 Ω, a dla szczytowej częstotliwości rezonansowej około 46,5 Hz wynosi 25 Ω

wykazują wyższe wartości, z minimum 5,3 Ω przy 83,1 Hz, ze względu na dodatkową rezystancję przewodu głośnikowego i złączy.

Budowa

Ponieważ obudowa jest typu zamkniętego, jest ona znacznie łatwiejsza do zbudowania niż konstrukcja z portem, która miałaby trzykrotnie większą objętość niż zalecana przez JBL.

Użyliśmy laminowanej płyty wiórowej HMR o grubości 18 mm, ale każdy materiał o grubości co najmniej 18 mm jest odpowiedni. Może to być również sklejka, drewno lub MDF. Pamiętaj, że gotowa obudowa musi być hermetyczna, więc upewnij się, że przycinasz elementy tak, aby były ciasno dopasowane i dobrze uszczelnij wszystkie połączenia silikonowym uszczelniaczem.

Rozpocznij od wycięcia elementów, jak pokazano na **rysunku 11**, a następnie sklej i skręć obudowę, jak pokazano na **rysunku 12.**

Zamontowaliśmy panel przedni za pomocą osłony piankowej przed warunkami atmosferycznymi. Użyliśmy też śrub, aby w razie potrzeby można go było później otworzyć. Biorąc pod uwagę prostotę subwoofera, można go łatwo przykleić i przykręcić, podobnie jak resztę obudowy.

Finalizacja subwoofera

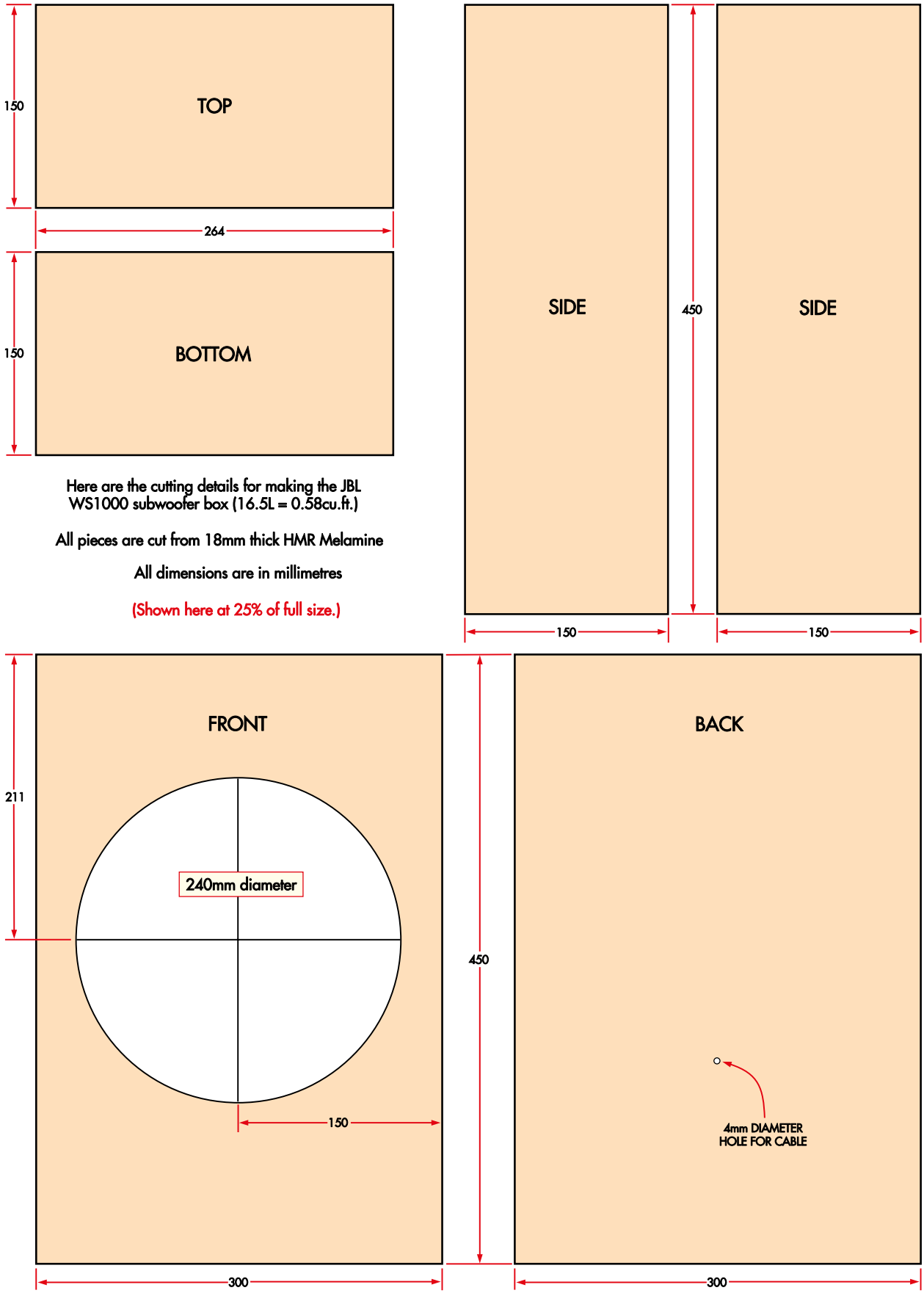
W zależności od rodzaju materiału użytego do wykonania obudowy, można ją polakierować, pomalować lub pokryć okładziną. My wybraliśmy ostatnią opcję i użyliśmy kawałka czarnego filcu do subwooferów o wymiarach 1 m² o grubości 2 mm, przymocowanego za pomocą kleju na gorąco. Jeśli wolisz, możesz użyć kleju kontaktowego.

Jeśli luźno owiniesz obudowę głośnika kawałkiem o długości 1 m, powinien on zachodzić na około 4 cm z tyłu i wystawać co najmniej 16 cm poza górną i dolną część skrzynki.

Przed rozpoczęciem prac przeczytaj poniższe instrukcje i upewnij się, że je rozumiesz. Cały proces należy wykonać szybko, zanim klej na gorąco stwardnieje. Upewnij się, że używasz odpowiedniej wielkości pistoletu do klejenia na gorąco i poczekaj, aż wystarczająco się on rozgrzeje. Dopiero wtedy rozpocznij klejenie.

Sprawdź, czy fragmenty zachodzą na siebie w wystarczającym stopniu, a następnie użyj pistoletu do klejenia na gorąco, aby najpierw przykleić tylko jedną krawędź z tyłu obudowy (od góry do dołu). Poczekaj, aż klej zastygnie, co zajmie kilka sekund, a następnie odwiń go, aby pokryć resztę obudowy.

eprasa.pl bfa7a1d357



Rysunek 11. Subwoofer jest prostą skrzynką wykonaną z sześciu elementów, w której należy wykonać tylko dwa otwory. Otwornice 240 mm nie są tak powszechne, ale można odrysować okrąg za pomocą gwoździa, ołówka i sznurka, a następnie ostrożnie wyciąć go wyrzynarką

eprasa.pl bfa7a1d357

Gotowy isoundBar jest dość dużym urządzeniem o długości ponad 1 m, więc upewnij się, że masz wystarczająco dużo miejsca, aby go zmieścić!

Nałóż klej wokół obwodu otworu na głośnik, a następnie szybko nanieś kilka pociągnięć kleju na przednią i boczne powierzchnie. Następnie zawiń wykładzinę na świeży klej, lekko ją napinając, i dociśnij materiał do przodu oraz boków, a także wokół otworu na głośnik. Napnij wykładzinę tak, aby jej krawędzie zachodziły na tył obudowy. Nałóż klej na tył i złóż okładzinę, a następnie dociśnij ją do wyschnięcia. Jeśli wszystko poszło tak jak powinno, pozostaje okryć jeszcze górę i dół.

Przytnij materiał u góry zgodnie z narożnikami, a następnie boczne i tylne krawędzie, pozostawiając około 3 cm zapasu, ale nie przycinaj jeszcze tej przedniej. Przyklej boczne i tylne zakładki, następnie złóż tę przednią, przytnij ją do odpowiedniego rozmiaru i przyklej.

Powtórz ten proces na dole, aby cała skrzynka była pokryta, łącznie z otworem na głośnik. Za pomocą ostrego noża wytnij otwór na głośnik. Wywierć lub wytnij otwór z tyłu na przewód głośnikowy lub zaciski.

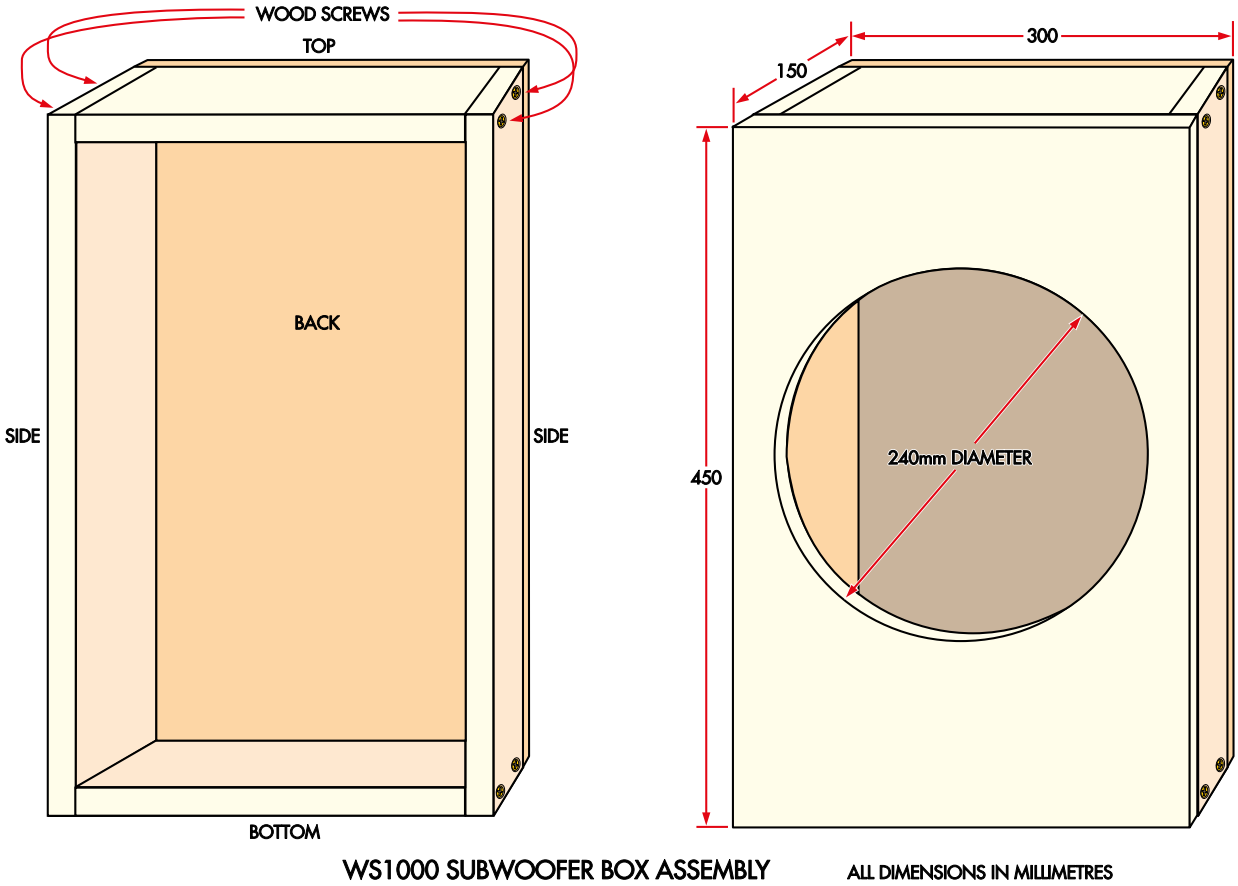
Montaż głośnika

Zacznij od sprawdzenia, czy głośnik jest ustawiony na pracę z obciążeniem 4 Ω.

Przylutowaliśmy gruby przewód głośnikowy do zacisków głośnika JBL, przeprowadziliśmy go przez 4-milimetrowy otwór z tyłu obudowy i wypełniliśmy wnętrze obudowy watą akustyczną „innerbond" o wymiarach 40×30 cm. Następnie opuściliśmy głośnik na miejsce, uszczelniając krawędzie samoprzylepną uszczelką i przymocowaliśmy go za pomocą wkrętów do drewna.

Moduł wzmacniacza włącznie z gniazdem wejściowym 3,5 mm jest montowany w otworze tylnego panelu za pomocą pustego laminatu PCB. W zestawie znajduje się przełącznik wyboru dla opcjonalnego zewnętrznego subwoofera i gniazdo zasilania 12...24 V. Gniazda bananowe są przeznaczone dla zewnętrznego subwoofera. Całe okablowanie należy unieruchomić za pomocą opasek zaciskowych i uszczelniacza silikonowego, aby zapobiec niepożądanym wibracjom

eprasa.pl bfa7a1d357



Rysunek 12. Montaż obudowy subwoofera nie jest trudny, ale należy zadbać o to, by była ona odpowiednio uszczelniona i pamiętać, że będziesz potrzebować więcej niż garść śrub tutaj pokazanych

Można użyć zacisków głośnikowych, ale łatwiej jest podłączyć przewód. Zaciski są w soundbarze.

Jedyną wadą tego podejścia jest konieczność wcześniejszego ustalenia długości potrzebnego przewodu. Tak czy inaczej, należy zadbać o to, by otwór/odgiętka były szczelnie zamknięte. My wypełniliśmy otwór uszczelniaczem silikonowym.

Pamiętaj, aby pozostawić trochę luzu w okablowaniu wewnątrz skrzynki na wypadek konieczności późniejszego wyjęcia głośnika w celu jego sprawdzenia, naprawy lub wymiany. Po luźnym założeniu waty akustycznej, należy przykręcić głośnik na miejsce. Czas na uruchomienie i testy.

Po zbudowaniu i przetestowaniu isoundBaru wystarczy przełączyć go w tryb zewnętrznego subwoofera, podłączyć jego przewody do odpowiednich zacisków z tyłu obudowy i dostosować poziom głośności subwoofera do reszty systemu. Teraz możesz dać czadu! ■

Allan Linton-Smith

Nasz subwoofer wykonaliśmy z wycięć w szafkach kuchennych z laminowanej płyty MDF. Nie musi on być ładny, a jedynie kwadratowy, ponieważ docelowo zostanie on pokryty wykładziną. Zwróć uwagę na watę akustyczną i zapas przewodu

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

eprasa.pl bfa7a1d357

Materiały dodatkowe dostępne są na stronie Silicon Chip: https://tiny.pl/04y9n0g4
Materiały dodatkowe są również dostępne na stronie elportal.pl/do-pobrania

Szerokozakresowy omomierz, część 1

Opisany w artykule automatyczny omomierz zmierzy niemal każdą rezystancję – od kilku miliomów do wielu megaomów!

W ostatnim czasie miałem kilka okazji, w których musiałem dokładnie zmierzyć niskie rezystancje. Dotyczy to niektórych projektów głośników, w których musiałem dokładnie zmierzyć rezystancję DC cewki drgającej, aby oszacować parametry przetwornika Thiele-Small lub określić rezystancję cewki z rdzeniem powietrznym.

Inny projekt to Capacitor Discharge Welder (marzec i kwiecień 2022; siliconchip.com.au/Series/379 oraz EdW 12/2024 i 01/2025), w którym chciałem sprawdzić rezystancję przewodów. Teoria mówi, że powinny mieć 8 mΩ (uwaga spoiler – z kablami i zaciskami, nasze przewody spawalnicze miały 10 mΩ).

Zwykły multimetr nie zmierzy tak niskich wartości. Nawet mój fantastyczny, drogi miernik był daleki od ideału. Co więc robisz, gdy chcesz dokładnie zmierzyć naprawdę niską rezystancję? Sięgasz po swój stary, niezawodny miliomomierz.

Jak wiele życiowych podróży, ten projekt rozpoczął się w jednym punkcie, a skończył zupełnie gdzieś indziej. Początkowym planem było zaktualizowanie poprzedniego projektu miliomomierza, dodanie cyfrowego interfejsu i uproszczenie obsługi. Ale w połowie drogi ktoś powiedział: dlaczego nie zmierzyć do 20 MΩ? Zmieniło to nieco projekt, ale uważamy, że w rezultacie powstało bardzo poręczne i wszechstronne urządzenie.

Mamy więc tutaj projekt miernika, który będzie mierzył rezystancje od kilku miliomów do 20 megaomów, z dokładnością znacznie lepszą niż 1% w całym zakresie. Używając rezystorów 0,1% do kalibracji (co zalecamy), uzyskaliśmy precyzję rzędu 0,1% w większej części zakresu.

Kłopoty z multimetrami

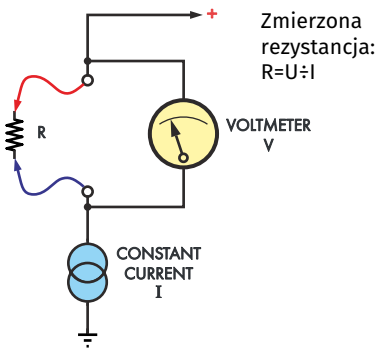
Problem ze standardowym multimetrem polega na tym, że rezystancja przewodu i gniazda bananowego zwykle mieści się w zakresie 0,2 Ω...0,5 Ω. Zmienność tych rezystancji jest zbyt duża, aby je wyzerować.

Prawo Ohma jest jednym z pierwszych poznawanych w elektronice. Nic więc dziwnego, że na nim opiera się zasada działania większości omomierzy, w których rezystancja jest mierzona za pomocą źródła prądu stałego i woltomierza. Typowy multimetr łączy je wewnątrz miernika i są nim zastosowane tylko dwa przewody, jak pokazano na **rysunku 1**.

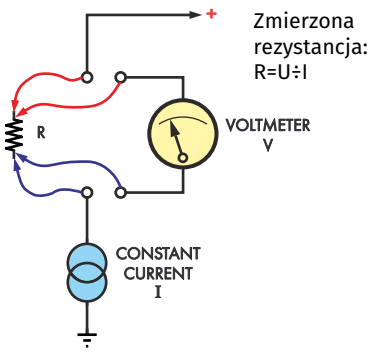
Cechy i specyfikacja

- Zakres pomiaru rezystancji: 1 mΩ...20 MΩ
- Zakresy: 1 mΩ...30 Ω, 30 Ω...3 kΩ, 3 kΩ...100 kΩ, 100 kΩ...1 MΩ, 1 MΩ...20 MΩ
- Rozdzielczość: 0,1 mΩ w zakresie miliomów (rozdzielczość użytkowa bliższa 1 mΩ)
- Dokładność: lepsza niż ±1%; zazwyczaj zbliżona do ±0,1%.
- Prąd testowy: 50 mA do 30 Ω, 0,5 mA od 30 Ω do 3 kΩ, <50 μA do 20 MΩ
- Inne funkcje: automatyczny zakres, wyświetlanie napięcia akumulatora
- Zasilanie: 6 ogniw AA, pobór prądu do 100 mA podczas testów
- Żywotność baterii: około 24 godzin aktywnego użytkowania

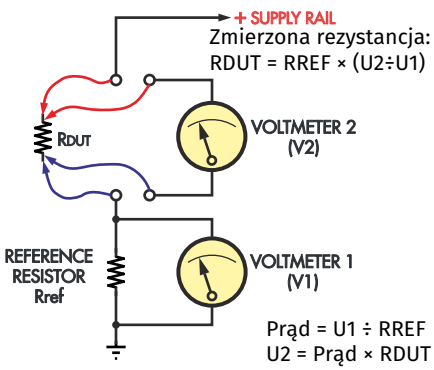
eprasa.pl bfa7a1d357



Rysunek 1. Standardowy omomierz działa na zasadzie przepuszczenia znanego, stałego prądu przez testowane urządzenie (DUT), pomiar napięcia na nim, a następnie wykorzystanie prawa Ohma do określenia jego rezystancji. Problem polega na tym, że rezystancje przewodów pomiarowych są połączone szeregowo z DUT i uwzględnione w wyniku



Rysunek 2. Dwie pary przewodów są używane w połączeniu Kelvina, jedna służy do doprowadzania prądu testowego do DUT, druga do pomiaru napięcia na nim. Spadek napięcia na przewodach dostarczających prąd nie wpływa już na odczyt, a spadek napięcia na drugiej parze przewodów jest tak mały, że nie ma znaczenia



Rysunek 3. Problem z wykorzystaniem metody pokazanej na rysunku 2 do pomiaru wysokich rezystancji polega na tym, że prąd testowy musi być naprawdę mały. Zamiast tego używamy tej metody, w której DUT i stały rezystor tworzą dzielnik, a my mierzymy rezystancję DUT proporcjonalnie do wartości stałego rezystora

Podczas pomiaru niskiej rezystancji w ten sposób, stały prąd musi przepływać przez wtyki bananowe, przewody i z końcówek przewodów do mierzonego urządzenia, a następnie z powrotem. Spadki napięcia spowodowane ich rezystancjami wewnętrznymi są traktowane przez multimetr jako część mierzonej rezystancji. Powoduje to znaczne błędy w pomiarach niskiej rezystancji.

Istnieją inne sposoby dokładnego pomiaru rezystancji, które nie stosują tej zasady. Na przykład mostek Wheatstone'a to bardzo eleganckie podejście, pozwalające na wykonywanie bardzo dokładnych pomiarów. Jednak zautomatyzowany miernik oparty na jednym z nich byłby bardzo skomplikowany. Jeśli jesteś zainteresowany tym zastosowaniem mostka Wheatstone'a, Wikipedia jest dobrym miejscem, aby dowiedzieć się więcej.

Połączenia Kelvina

Aby zminimalizować błędy spowodowane rezystancjami przewodów pomiarowych i styków, można zastosować technikę czteroprzewodową. Dwa przewody dostarczają znany prąd przez testowane urządzenie, natomiast druga para mierzy napięcie na testowanym urządzeniu (DUT, Device Under Test), jak pokazano na **rysunku 2**. Pozwala to uniknąć większości powyższych błędów.

Zastosowanie źródła o stałym natężeniu prądu sprawia, że jest ono zawsze zgodne z oczekiwaniami, nawet jeśli występują rezystancje przewodów i połączeń. O wyborze woltomierza decydowała jego wysoka rezystancja wejściowa, więc nawet wtedy, gdy połączenie przewodów napięciowych do DUT wygląda nieco podejrzanie, prawidłowy pomiar napięcia nadal jest możliwy. Obliczenia R=U/I pozwalają uniknąć większości błędów.

Zabieg polegający na dodaniu dwóch przewodów nie wystarczy do wykonywania dokładnych pomiarów rezystancji, ale jest niezbędny do pomiarów rezystancji znacznie poniżej 1 Ω.

Można się zastanawiać, dlaczego taka konfiguracja 4-przewodowa nie jest stosowana w zwykłych omomierzach, skoro jest tak skuteczna. Cóż, używanie czteroprzewodowego omomierza jest kłopotliwe. Nieco żartobliwie można powiedzieć, że mamy cztery przewody, a większość z nas ma tylko dwie ręce. Ponadto błędy spowodowane kablami i złączami stają się nieistotne dla rezystancji powyżej kilkuset omów. Dlatego prawie wszystkie mierniki opierają się na konwencjonalnym podejściu dwuprzewodowym.

Połączenie czteroprzewodowe nazywane jest „połączeniem Kelvina" od nazwiska Lorda Kelvina, który wynalazł je do pomiaru niskich rezystancji w 1861 roku.

Podczas pracy nad tym miernikiem znaleźliśmy kilka ładnych „klipsów Kelvina" dostępnych w rozsądnych cenach. Są to zasadniczo klipsy krokodylkowe z dwoma połączeniami, jednym dla źródła prądu, a drugim dla przewodu pomiarowego. Okazało się, że działają one poprawnie w całym zakresie naszego miernika, choć w przypadku naprawdę niskich rezystancji, cztery oddzielne przewody zapewnią lepszą dokładność.

Inne wyzwania

Musimy znać dokładny prąd przepływający przez DUT, a także występujące na nim napięcie. W przypadku DUT o niskiej rezystancji, oba parametry są łatwe do osiągnięcia. Używamy programowalnego źródła prądu LT3092, a jako woltomierz został zastosowany przetwornik analogowo-cyfrowy (ADC) ze starannie zaprojektowanym napięciem odniesienia. Zapewniają one dobrą długoterminową stabilność miernika i możliwość stosowania prądów polaryzacji równych 0,5 mA i 50 mA. Prądy te gwarantują wykonywanie dokładnych pomiarów w zakresie niskich miliomów.

Pomiar do około 1 mΩ jest praktyczny przy użyciu dość prostego miernika. Jest to dolna granica, zanim inne czynniki staną się problematyczne. Nawet stosując wyższe prądy, przy pomiarach niskich rezystancji nie unikniemy mierzenia bardzo małych napięć. W naszym projekcie zostały zastosowane specjalne wzmacniacze operacyjne o bardzo niskim offsecie i bardzo niskim dryfcie.

Gdybyśmy wybrali, powiedzmy, zwykły TL074, to w najgorszym przypadku offset wejściowy wynoszący 4 mV wprowadziłby błędy do 80 mΩ na zakresie niskich rezystancji! Wybrany układ ma najgorszy offset 8 μV w całym zakresie temperatur pracy, co nadal może skutkować błędem offsetu do 1,6 mΩ (chociaż w naszych testach takich błędów nie widzieliśmy).

Pozwala to naszemu miernikowi na dokładny pomiar rezystancji bocznika 5 mΩ, co uważamy za całkiem dobry wynik. Aby mierzyć mniejsze rezystancje, wymagane są podejścia projektowe, które zerują ten offset – zwykle osiąga się to poprzez włączanie i wyłączanie źródła prądu, umożliwiając odjęcie zerowego przesunięcia prądu. Używając układu o niskim offsecie, możemy uniknąć konieczności wykonywania tej czynności w naszym projekcie.

Pomiary megaomów

Dodanie zakresu megaomowego wydaje się być prostą kwestią ustawienia źródła prądu stałego na bardzo niski prąd i wykonania dokładnie tego samego pomiaru. Jest to prawda, pod warunkiem, że można wygenerować

eprasa.pl bfa7a1d357

stabilne źródło prądu dostarczające około 0,1 µA z rezystancją wyjściową znacznie większą niż 20 MΩ. Nie jest to jednak łatwe do osiągnięcia.

Aby tego uniknąć, stosujemy nieco inną technikę pomiaru wyższych rezystancji, którą wyjaśniono na **rysunku 3**.

Do ustalenia prądu testowego używamy precyzyjnego rezystora o wysokiej rezystancji. Ponieważ jest on połączony szeregowo z DUT, przepływający prąd będzie zależał od rezystancji DUT.

Nie próbujemy kontrolować prądu. Zamiast tego mierzymy napięcie na rezystorze odniesienia, aby zmierzyć prąd płynący przez wszystkie elementy układu pomiarowego. Mierząc również napięcie na DUT, mamy wszystkie informacje potrzebne do określenia jego rezystancji proporcjonalnie do rezystora pomiarowego.

Dla zakresu 1 MΩ używamy rezystora pomiarowego 1 MΩ. Prąd płynący przez ten rezystor będzie różny. Jeśli zmierzymy rezystor 1 MΩ, prąd wyniesie $I_{TEST}=U_{SUPPLY}\div(R_{REF}+R_{DUT})$, około 1,5 µA. Należy pamiętać, że $I_{TEST}=U1\div R_{REF}$. Zależność ta jest przydatna, o czym przekonamy się za chwilę.

Prawo Ohma mówi, że rezystancja DUT jest zdefiniowana przez $R_{DUT}=U2\div I_{TEST}$, gdzie U2 jest napięciem na DUT. Łącząc to i poprzednie równanie: $R_{DUT}=U2\div(U1\div R_{REF})=R_{REF}\times(U2\div U1)$.

Nasz przetwornik ADC nie ma dwóch kanałów, ale ma niezależne wejście odniesienia (U1) i pomiarowe (U2), tak więc podłączając nasze źródło odniesienia dla ADC do rezystora odniesienia, możemy zmierzyć stosunek U1 i U2 za pomocą ADC, a to jest równoważne zmierzonej rezystancji!

Dodatkową zaletą tego podejścia jest to, że nie musimy dbać o dokładne napięcie szyny zasilającej lub dokładny prąd przepływający przez DUT.

Problem polega na tym, że nasz pomiar napięć na rezystorach odniesienia i DUT został założony jako idealny, tj. nasz ADC nie ma wpływu na prąd płynący przez DUT. Wiemy już, że prąd będzie wynosił około 0,1 µA, więc przetwornik ADC mierzący napięcia odniesienia i DUT musi mieć bardzo wysoką rezystancję wejściową i bardzo niskie prądy polaryzacji (prąd wpływający lub wypływający z wejścia), w przeciwnym razie powyższe założenie nie sprawdzi się.

Wybrany przez nas przetwornik ADC MAX11207 ma prąd polaryzacji wynoszący tylko 30 nA. Napięcie 30 nV na rezystorze 10 MΩ wynosi $30\times10^{-9}\times10\times10^{6}=300\times10^{-3}$ V, czyli 0,3 V. Jest to ogromny błąd, biorąc pod uwagę, że będziemy mierzyć około 1,5 V.

Musieliśmy więc dodać wzmacniacz buforowy o bardzo niskim prądzie polaryzacji. Nasz wybór to MCP6V64. Ma on typowy wejściowy prąd polaryzacji równy 20 pA i maksymalny prąd offsetu 200 pA (różnica między prądami polaryzacji dla wejść + i –). Biorąc pod uwagę ewentualne kłopoty zaopatrzeniowe, w wykazie elementów wymieniliśmy kilka alternatyw, które przetestowaliśmy, ale MCP6V64 jest naszym pierwszym wyborem.

Zmniejsza to błąd przy rezystorze 10 MΩ do $200\times10^{-12}\times10\times10^{6}=2\times10^{-3}$ V lub 3 mV, co jest błędem znacznie łatwiejszym do opanowania.

Opis schematu

Przyjrzyjmy się, jak te decyzje wpływają na nasz ostateczny projekt. Kompletny schemat pokazano na **rysunku 4**.

Sercem tego miernika jest 20-bitowy przetwornik ADC MAX11207. Przetestowaliśmy go również z podobnym układem MAX11210, również MAX11206 i MAX11200 powinny działać poprawnie. Wybraliśmy ten układ, ponieważ odznacza się bardzo dobrą liniowością, zapewnia doskonałą rozdzielczość i jest dostępny w kilku odmianach kompatybilnych z pinami i oprogramowaniem. Posiada również w pełni różnicowe wejścia, zarówno dla przetwornika ADC, jak i napięcia referencyjnego, które mogą działać w całym zakresie wejściowym. Oznacza to, że możemy zastosować kilka sztuczek i wykorzystać wejście referencyjne w nieco nietypowy sposób do pomiarów wysokiej rezystancji.

Układ ma szereg ustawień, z których najważniejsze to wewnętrzna kalibracja i wewnętrzne buforowanie. Oprogramowanie dba o to i powinieneś zauważyć tylko niewielkie opóźnienie przy włączaniu zasilania, gdy są one inicjowane.

Wszystkie wejścia przetwornika ADC są buforowane przez poczwórny wzmacniacz operacyjny MCP6V64. Układ ten zapewnia bardzo wysoką impedancję wejściową, niski prąd polaryzacji i niski dryft bufora dla przetwornika ADC. Napięcia wszystkich jego wejść i wyjść mogą osiągać wartości bliskie napięciom zasilającym. Jego kluczową cechą jest prąd polaryzacji rzędu pA i możliwość działania z odstępem 200-miliwoltowym od napięć zasilających.

Gdy dojdziesz do etapu budowy, pamiętaj, że płytka drukowana musi być bardzo czysta w okolicach tego układu scalonego przeznaczonego do montażu powierzchniowego. Topnik i pozostałości po lutowaniu mogą zwiększyć prądy upływu na tych wejściach o bardzo wysokiej impedancji, pogarszając precyzję miernika. Dokładne oczyszczenie i pokrycie tego obszaru przezroczystym lakierem ochronnym jest niezbędnym krokiem w konstrukcji.

Dołączyliśmy szeregowe rezystory zabezpieczające 10 kΩ od wejść pomiarowych do buforów oraz kondensator 10 nF na wejściach pomiarowych, zapewniając podstawową ochronę obwodu. Mimo to zdecydowanie zalecamy, aby nie podłączać miernika do obwodów pod napięciem, ponieważ zastosowanie więcej niż kilku woltów między zaciskami może łatwo spowodować uszkodzenie.

Na zakresie miliomów napięcie referencyjne podawane na wejście REFP (pin 5) układu IC1 pochodzi przez bufor IC2

Podgląd części drugiej, pokazujący sposób montażu baterii i płytki drukowanej

eprasa.pl bfa7a1d357

a ze źródła napięciowego LM336 2,5 V, IC5 (na dole po lewej). Określamy typ LM336B, ponieważ ma on węższe tolerancje. LM336 jest wyposażony w szeregowe diody i wejście regulacyjne, co pozwala nam ustawić go dokładnie na 2,50 V, a diody minimalizują jego dryft temperaturowy.

Wejście referencyjne jest podłączone do rezystora 100 kΩ, 1 MΩ lub 20 MΩ na wyższych zakresach. Można je znaleźć w pobliżu IC5. Stabilność tych rezystorów jest ważna dla dokładności tych zakresów. Ponownie, będziemy kalibrować urządzenie, więc początkowa precyzja jest mniej krytyczna niż stabilność tych elementów.

Bufory MCP6V64 dla przetwornika ADC (IC2b i IC2c) mogą sterować napięciem różniącym się o kilku miliwoltów od napięcia zasilającego, ale nie do końca. Aby to uwzględnić, napięcie odniesienia 2,50 V i rezystory odniesienia łączą się z masą poprzez D8, diodę Schottky'ego BAT85. Podobnie, DUT łączy się z dodatnią szyną poprzez D4, diodę Schottky'ego 1N5819. Diody te obniżają napięcie o około 0,3 V przy prądach, którymi je obsługujemy.

Do przepuszczania prądów 0,5 mA lub 50 mA przez DUT na zakresach miliomów i omów używamy układu stałoprądowego (IC3). Stabilność napięcia i prądu odniesienia ma zasadnicze znaczenie dla dokładności tych zakresów. Ponieważ jednak kalibrujemy ten miernik względem znanych rezystorów, absolutna precyzja jest mniej istotna.

Przy szynie zasilającej 3,6 V maksymalne napięcie, które możemy obsłużyć na DUT, wynosi 1,7 V. Wynika to z odjęcia spadków napięcia z szyny zasilającej spowodowanych przez diodę D4 (0,3 V) i IC3 (1,6 V). Załóżmy, że aby być bezpiecznym, możemy dopuścić do 1,5 V na DUT. Oznacza to maksymalny odczyt 1,5 V÷50 mA=30 Ω na zakresie miliomów i 1,5 V÷0,5 mA=3 kΩ na zakresie omów.

Maksymalne odczyty na innych zakresach są ograniczone przez wartości rezystorów referencyjnych 100 kΩ, 1 MΩ i 20 MΩ.

Stabilizator prądu

Dla wyższych zakresów prądu (niższych rezystancji) (miliomów i omów) używamy układu IC3. Jest to źródło prądu stałego LT3092. Wybraliśmy je ze względu na jego długoterminową stabilność i łatwość użycia. Układ ten pobiera stały prąd 10 μA ze swojego pinu SET, a pin OUT jest utrzymywany na tym samym napięciu, co pin SET.

Przy rezystorze 10 kΩ od pinu SET do GND, będzie na nim występowało napięcie 0,1 V (10 kΩ×10 μA).

Wykaz elementów

1 dwustronne PCB, kod 04109221, 90,5 mm×117,5 mm
1 189 mm×134 mm×55 mm pochylona obudowa ABS [Altronics H0401]
2 uchwyty na 3 baterie AA z przewodami [Altronics S5033+P0455]
1 podświetlany alfanumeryczny wyświetlacz LCD 16×2 znaki z kontrolerem zgodnym z HD44780 (LCD1) [SC5759]
2 4-stykowe przełączniki dotykowe (S1, S2)
1 subminiaturowy przełącznik suwakowy DPDT ze śrubami montażowymi (S3) [Altronics S2010 + S2014]
3 przekaźniki telekomunikacyjne Omron G6H-5V lub G6S-5V lub równoważne (RLY1...RLY3) [np. Altronics S4128B]
1 wieloobrotowy potencjometr regulacji górnej 10 kΩ (VR1)
1 miniaturowy potencjometr regulacji górnej 10 kΩ (VR2)
1 2-stykowe złącze z bocznikiem (JP1) (opcjonalne, potrzebne tylko do programowania w obwodzie)
2 2-pinowe pionowe spolaryzowane gniazda z pasującymi wtyczkami (CON1, CON2) [Altronics P5492+P5472+2× P5470A]
1 16-pinowe złącze (CON3, do montażu wyświetlacza LCD)
1 6-pinowe złącze (CON4) (opcjonalne, potrzebne tylko do programowania w obwodzie)
1 2-pinowe spolaryzowane złącze kątowe z pasującą wtyczką (CON5) [Altronics P5512 + P5472 + 2 x P5470A]
1 5-pinowe złącze (CON6) (opcjonalne, do monitorowania SPI)
2 czerwone gniazda wiążące/bananowe (CON7, CON8) [Altronics P9252]
2 czarne gniazda wiążące/bananowe (CON9, CON10) [Altronics P9254] różne długości lekkiego przewodu połączeniowego
1 gotowy zestaw zacisków Kelvina [www.ebay.com.au/itm/263861879033] lub 1 zestaw zacisków Kelvina do samodzielnego montażu (patrz sekcja poniżej)
4 metalowe tuleje dystansowe M3×10 mm z gwintem
4 śruby z łbem walcowym M3×6 mm
4 śruby z łbem stożkowym M3×6 mm
8 podkładek sprężystych M3
1 mała tubka przezroczystego uszczelniacza silikonowego o neutralnym utwardzaniu
1 puszka powłoki ochronnej PCB/lakieru ochronnego
Przewody zaciskowe Kelvina (jeśli nie są używane gotowe przewody)
2 zaciski krokodylkowe Kelvina [Mouser 485-3313 lub 510-CTM-75K; Digi-Key 1528-2279-ND]
1 2-metrowy czarny kabel 17 AWG (1,0 mm²) o przekroju ósemkowym [Altronics W4146] lub 1 dwużyłowy kabel mikrofonowy o długości 2 m [Altronics W3028].
1 1 m czerwonego, silikonowego, wysokotemperaturowego przewodu połączeniowego 18 AWG (0,75 mm²) [Altronics W2400].
1 1 m długości czarnego silikonowego wysokotemperaturowego przewodu połączeniowego 18 AWG (0,75 mm²) [Altronics W2401]

Półprzewodniki
1 MAX11207EEE+ 20-bitowy przetwornik ADC, QSOP-16 (IC1) ◆ (istnieją alternatywy – patrz tekst)
1 MCP6V64-E/ST quad low-drift rail-to-rail op amp, TSSOP-14 (IC2) ◆ ✱
1 LT3092EST lub LT3092IST programowalne źródło prądu, SOT-223 (IC3) ◆
1 16-bitowy mikrokontroler PIC24FJ256GA702-I/SS zaprogramowany kodem 0410922A.HEX, SSOP-28 (IC4) ◆
1 Źródło napięcia odniesienia LM336BZ-2.5/NOPB, TO-92 (IC5) ◆
1 timer 555, DIP-8 (IC6) ◆
2 AZ1117H-ADJTRG1, AMS1117 lub równoważne regulowane stabilizatory 1 A LDO, SOT-223 (REG1, REG2) ◆
4 tranzystory BC547 100 mA NPN, TO-92 (Q1, Q3, Q5, Q6)
2 IRLML0030TRPBF N-kanałowe MOSFET-y, SOT-23 (Q2, Q4) ◆
7 diod przełączających 1N4148 75 V 250 mA (D1, D2, D5...D7, D10, D11)
2 1N5819 diody Schottky'ego 40 V 1 A (D3, D4)
1 BAT85 dioda Schottky'ego 30 V 200 mA (D8)
1 dioda 1N4004 400 V 1 A (D9)

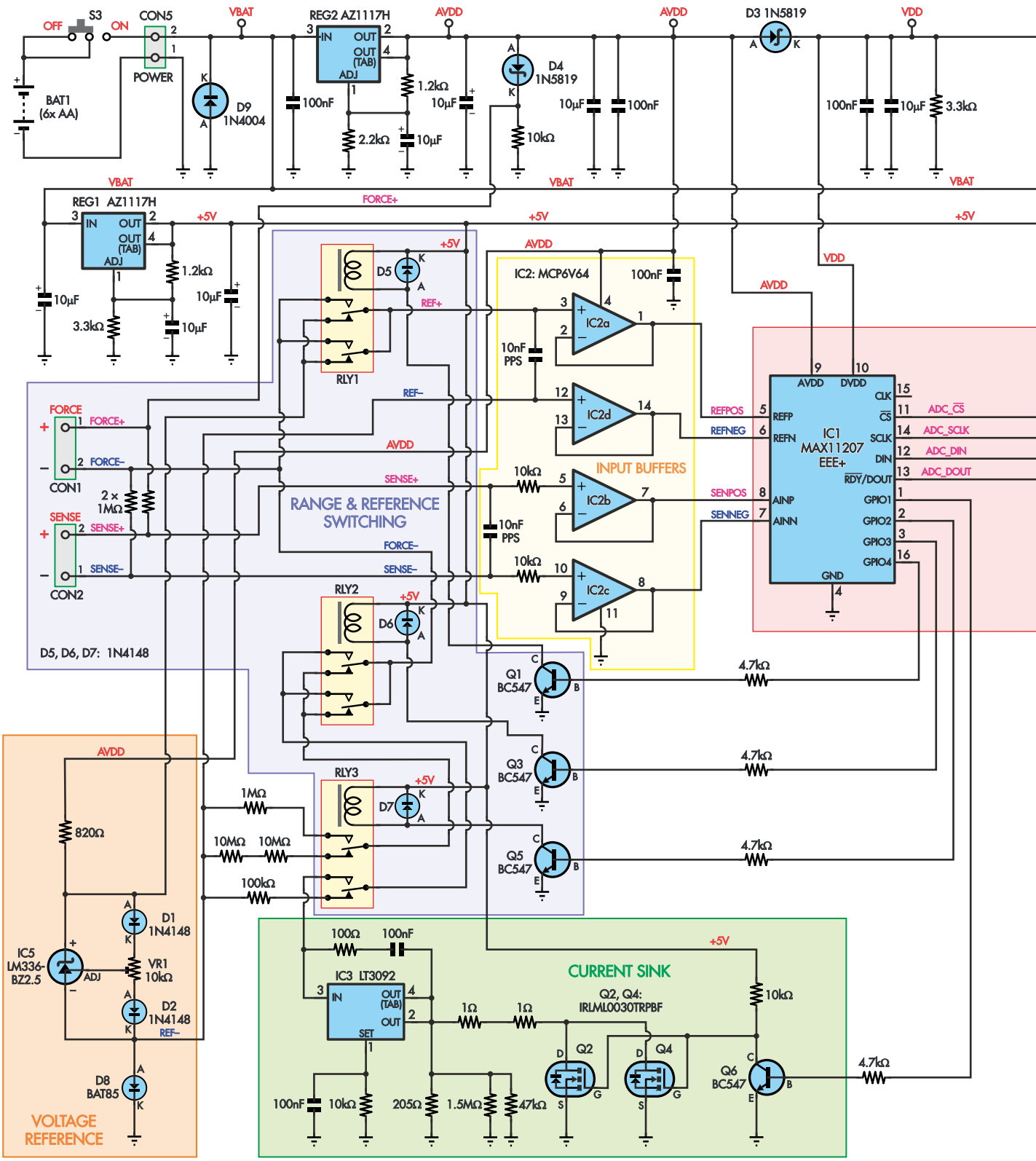
Kondensatory
7 Elektrolityczny radialny 10 μF 50 V
5 10 μF 16 V X7R ceramiczny SMD M3216/1206 rozmiar ◆
5 100 nF 50 V X7R przewlekany, ceramiczny
5 100 nF 50 V X7R SMD M2012/0805 ceramiczny ◆
2 10 nF 100 V PPS [Kemet SMR5103J100J01L16.5C] ◆
4 10 nF 50 V X7R ceramiczny, przewlekany

Rezystory (wszystkie osiowe 1/4 W 1% metalizowane, o ile nie zaznaczono inaczej)
2 10 MΩ 0,1% 25 ppm SMD M3216/1206 ◆
1 1,5 MΩ
1 1 MΩ 0,1% 25 ppm SMD M3216/1206 ◆
2 1 MΩ 1% SMD M2012/0805 ◆
1 100kΩ 0,1% 25 ppm SMD M3216/1206 ◆
1 47 kΩ
1 33 kΩ
1 22 kΩ
1 10 kΩ 0,1% 15 ppm ◆
7 10 kΩ
4 4,7 kΩ
3 3,3 kΩ
1 2,2 kΩ
2 1,2 kΩ
1 820 Ω
1 205 Ω 0,1% 15 ppm ◆
2 100 Ω
1 47 Ω
2 1 Ω 1% 50 ppm ◆

Rezystory kalibracyjne (nie są wymagane, jeśli dostępny jest inny precyzyjny omomierz)
1 27,4 Ω 1/4 W 0,1% 15 ppm osiowy [YR1B27R4CC] ◆
1 2,94 kΩ 1/4 W 0,1% 15 ppm osiowy [YR1B2K94CC] ◆
1 97,6 kΩ 1/4 W 0,1% 15 ppm osiowy [YR1B97K6CC] ◆
1 976 kΩ 1/4 W 0,1% 15 ppm osiowy [YR1B976KCC] ◆
1 10 MΩ 1/4 W 1% 50 ppm osiowy [MF0204FTE52-10M] ◆

◆ Wszystkie części (z zaprogramowanym układem IC4) są dostępne w zestawie (Cat SC4663) za 75,00 USD.
✱ Kompatybilne wzmacniacze operacyjne muszą być stabilne w trybie „rail to rail", ze wzmocnieniem jednostkowym, z bardzo niskimi napięciami offsetu wejściowego i prądami polaryzacji wejściowej w obudowie TSSOP-14. Dobrymi alternatywami są MCP6V79, MCP6V34 i OPA4317.

eprasa.pl bfa7a1d357

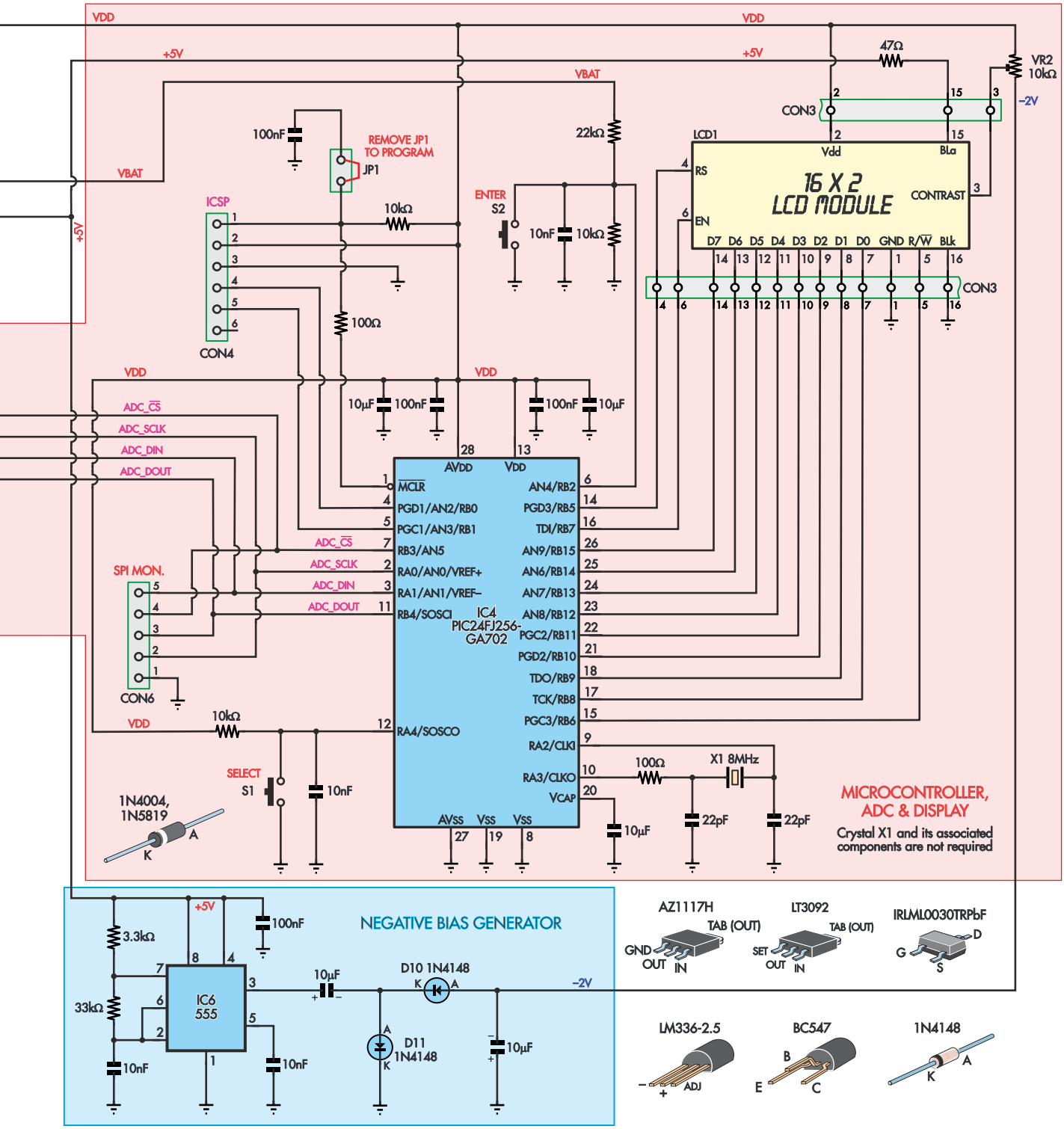


Rysunek 4. Wszystkie pomiary są wykonywane przez IC1, przetwornik ADC sterowany przez mikrokontroler IC4. IC4 przełącza przekaźniki RLY1...RLY3 wybierające odpowiedni zakres i wyświetla odczyty na wyświetlaczu LCD 16×2. Napięcie odniesienia IC5 jest używane na niższych zakresach (miliomów i omów), natomiast IC3 ustala prąd testowy, z MOSFET-ami Q2 i Q4 przełączającymi go między 0,5 mA a 50 mA. W trybie ratiometrycznym (wysokiego zakresu), IC3 i IC5 nie są używane, a precyzyjne rezystory 100 kΩ, 1 MΩ lub 20 MΩ są połączone szeregowo z DUT

Równoległe połączenie rezystorów 205 Ω, 47 kΩ i 1,5 MΩ daje 204,08 Ω między pinem OUT a masą, co daje prąd 490 µA. Dlatego pin IN pobiera 490 µA+10 µA=500 µA dla tych dwóch połączonych prądów, co jest naszym celem (0,5 mA).

Dla zakresu miliomów, równoległe MOSFET-y Q2 i Q4 włączają się, więc dwa szeregowe rezystory 1 Ω są połączone

eprasa.pl bfa7a1d357



równolegle z rezystancją 204,08 Ω. Należy jednak pamiętać, że rezystancja włączenia MOSFET-ów (40 mΩ||40 mΩ=20 mΩ) dodaje się do 2 Ω rezystorów. Przy 2,02 Ω równolegle z 204,08 Ω otrzymujemy 2,0002 Ω. Tak więc prąd ze styku OUT będzie wynosił 49,99 mA+0,01 mA lub 50 mA.

W ten sposób oprogramowanie może przełączać źródło prądu stałego między 0,5 mA a 50 mA, aby dopasować się do rezystancji wykrytej w mierniku poprzez sterowanie bramkami Q2 i Q4.

Zalecamy użycie rezystorów 0,1% 15 ppm dla rezystorów 10 kΩ i 205 Ω, zgodnie z wykazem elementów. Stwierdziliśmy, że rezystory 1 Ω 0,1% są zbyt drogie, więc zamiast nich użyliśmy elementów 1%. Są to MF0207FRE52-1R, które mają współczynnik temperaturowy 50 ppm, więc powinny być dość stabilne.

Źródło prądu dostało dobry radiator w postaci dużego miedzianego wypełnienia

eprasa.pl bfa7a1d357

Przewody Kelvina

W prototypie użyliśmy klipsów Adafruit 3313 Kelvin, które są bardzo tanie, z pewnością tańsze niż podwójne espresso (nie mówiąc już o avo!). Dostępność u innych dostawców jest różna. Wypróbowaliśmy również Mouser Cat 510-CTM-75K, które są przyjemne w użyciu, ale raczej drogie.

Są one łatwe do podłączenia, jak pokazano na sąsiednim zdjęciu. Wszystko, co musisz zrobić, to podłączyć przewody Force+ i Sense+ do obu stron zacisku Kelvina „+" (z czerwonym przewodem), a pozostałe dwa zaciski do pozostałych czarnych przewodów zacisku Kelvina „–". Należy pamiętać, że przewody force i sense stykają się tylko z jedną stroną przewodu DUT.

W przypadku pomiaru większych lub bardziej skomplikowanych elementów, lepszym rozwiązaniem mogą być oddzielne sondy pomiarowe force i sense. Ponownie, prąd force musi przepływać przez cały element, którego rezystancję chcesz zmierzyć, a sondy pomiarowe są podłączone do pomiaru żądanej części, jak pokazano na **rysunku 5**.

Do naszego miernika stworzyliśmy dwa zestawy przewodów. Jeden zestaw miał oddzielne przewody sense i force, i są to zasadniczo konwencjonalne przewody multimetru.

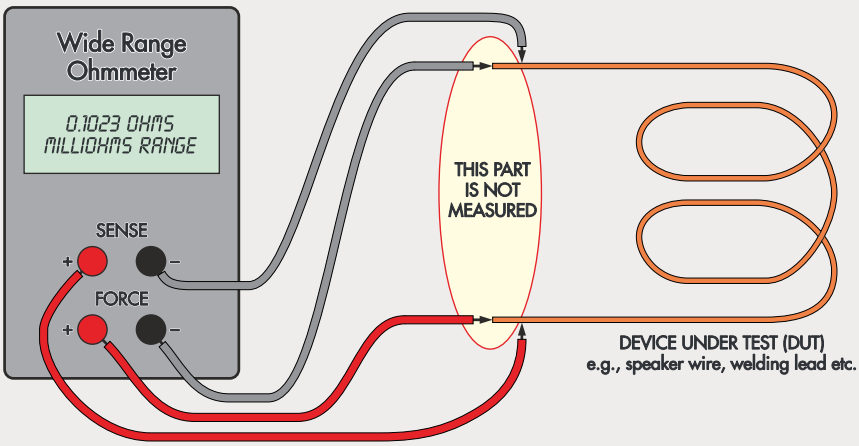
Wykonaliśmy je przy użyciu powlekanego silikonem wysokotemperaturowego kabla połączeniowego 18 AWG (Altronics W240X), który jest bardzo elastyczny. Podłączyliśmy te przewody do zacisków dla force i sond dla linii sense.

Ostatecznie nie używaliśmy ich zbyt często, ponieważ klipsy Kelvina są doskonałe aż do zakresu niskich miliomów.

W naszych klipsach Kelvina użyliśmy przewodu elastycznego w osłonie w kształcie cyfry 8 Altronics Cat W4146, choć uważamy, że lżejszy miernik byłby łatwiejszy w użyciu, jeśli możliwy byłby jego zakup. Do oznaczenia przewodów użyliśmy kolorowych rurek termokurczliwych. Ułatwiają one rozróżnianie, które przewody są + i – (chociaż generalnie nie jest to ważne podczas dokonywania pomiarów). Jeden zacisk Kelvina łączy się z „Force –" i „Sense –", podczas gdy drugi prowadzi do gniazd „Force +" i „Sense +" w mierniku.

Długość przewodów nie powinna mieć znaczenia, ponieważ przewody znajdują się blisko siebie, więc wszelkie wychwycone zakłócenia elektromagnetyczne powinny się w większości zniwelować. Uznaliśmy, że długość 600 mm jest odpowiednia, ale to kwestia preferencji.

Jeśli nie chcesz tworzyć własnego zestawu przewodów zaciskowych Kelvina, można je kupić gotowe w rozsądnie niskich cenach w witrynach takich jak eBay. Wyszukaj hasło „LCR clip leads".



Rysunek 5. Podczas pracy z połączeniem Kelvina nie ma znaczenia, czy przewody „sense" są podłączone bliżej DUT niż przewody „force", czy nie. Niezależnie od tego, odcinek między dwoma połączeniami po obu stronach nie jest mierzony, ponieważ nie przepływa przez niego prąd lub punkt pomiarowy znajduje się dalej

na górnej warstwie płytki drukowanej. Bystrzy obserwatorzy zauważą również, że umieściliśmy ścieżkę ochronną wokół pinu SET, z którego płynie bardzo mały prąd. Zmniejszy to prądy upływu zakłócające nasze starannie zaprojektowane źródło prądu.

Rezystory odniesienia

Mierzymy rezystancje w trzech zakresach powyżej 3 kΩ: 100 kΩ, 1 MΩ i 20 MΩ. Nasza technika pomiarowa wykorzystuje rezystory referencyjne dla każdej z tych wartości. Określiliśmy elementy, które powinny zapewnić niski współczynnik temperaturowy i długoterminową stabilność. Ponownie zalecamy elementy 0,1% tam, gdzie jest to uzasadnione.

Rezystory 20 MΩ o wąskiej tolerancji są zarówno drogie, jak i rzadko spotykane, więc używamy dwóch rezystorów 10 MΩ połączonych szeregowo. Stabilność jest prawdopodobnie ważniejsza niż rzeczywista precyzja, ponieważ miernik zostanie skalibrowany.

Ponownie, bardzo ważne jest oczyszczenie wszystkich topników i pozostałości, a także pokrycie ich lakierem ochronnym w celu zoptymalizowania stabilności długoterminowej. Użyliśmy tutaj elementów SMD 3,2 mm×1,6 mm (M3216/1206), ponieważ nasze badanie dostawców wykazało, że elementy 0,1% są łatwiej dostępne i tańsze w obudowach SMD niż w obudowach do montażu przewlekanego.

Przełączanie wejść ADC

Ponieważ mamy pięć różnych zakresów i nie możemy obsłużyć żadnych dodatkowych prądów polaryzacji, musimy wykonać pewne przełączanie, a to odbywa się za pomocą przekaźników. Wynikowy układ przełączania może początkowo wyglądać na skomplikowany, ale nie ma w nim zbyt wiele do zrobienia. Niezależnie od tego, funkcja automatycznego przełączania zakresów oznacza, że użytkownik nie musi znać szczegółów.

Jeden przekaźnik, RLY1, przełącza wejście referencyjne między stałym napięciem referencyjnym 2,50 V a trzema rezystorami referencyjnymi. Pozostałe dwa przekaźniki, RLY2 i RLY3, łączą układ stałoprądowy (IC3) lub jeden z trzech rezystorów odniesienia z dolnym stykiem złącza Force, CON1.

Płytka drukowana została zaprojektowana do obsługi dwóch najpopularniejszych typów przekaźników sygnałowych, zgodnych z układami Omron G6H i G6S. Są one dostępne w wielu sklepach elektronicznych.

eprasa.pl bfa7a1d357

Upewnij się tylko, że używasz monostabilnej wersji z cewką na napięcie 5 V.

Mikrokontroler i wyświetlacz

Zachowaliśmy prostotę wyświetlacza i obwodów sterujących. Postrzegamy nasz miernik jako urządzenie użytkowe, więc powinno przedkładać funkcję nad formę i starać się „robić to, co jest napisane na pudełku" tak prosto, tanio i niezawodnie, jak to tylko możliwe.

Wyświetlacz LCD jest zasilany napięciem VDD około 3,4 V, ale takie wyświetlacze są prawie zawsze zasilane napięciem 5 V. Okazuje się, że polaryzacja LCD między pinami VDD i VO w module LCD musi wynosić około 5 V, ale rzeczywisty kontroler jest przeznaczony do pracy z napięciem 2,7 V.

W związku z tym możemy wygenerować ujemne napięcie około –2 V dla odniesienia polaryzacji VO i zasilać wyświetlacz LCD z tej samej szyny VDD używanej dla mikrokontrolera PIC. Musimy to zrobić, ponieważ niektóre wyświetlacze LCD są niekompatybilne z wyjściami CMOS 3,3 V z mikrokontrolerów.

Irytujące jest to, że bardzo trudno jest określić, które wyświetlacze LCD działają z logiką 3,3 V, a które nie. Aby uniknąć tej frustracji, zaprojektowaliśmy schemat tak, aby wszystkie wyświetlacze LCD działały.

Ujemne napięcie VO jest generowane przez timer 555 IC6, który oscyluje z częstotliwością kilku kiloherców. Wytwarzany przez niego przebieg jest doprowadzony do przełączanego kondensatorowego falownika napięcia składającego się z dwóch kondensatorów 10 µF i dwóch diod 1N4148.

Jest on zasilany z linii 5 V przekaźnika i generuje napięcie około –2 V. Używając linii 5 V, unikamy uruchamiania tego „szumiącego" układu z linii używanej do czułych źródeł prądu i ADC.

Interfejs użytkownika

Dążenie do prostoty doprowadziło nas do usunięcia wszystkich przycisków z panelu przedniego i zaimplementowania funkcji automatycznego zakresu. Na płytce drukowanej znajdują się dwa przyciski, które są używane tylko do kalibracji, która zostanie omówiona później.

Po pierwszym podłączeniu, miernik najpierw sprawdzi DUT na zakresie 100 kΩ. W zależności od wyniku, odpowiednio zwiększy lub zmniejszy zakres, aż do znalezienia optymalnego zakresu pomiarowego.

Zaczynamy od zakresu 100 kΩ, ponieważ większość rezystorów, które mierzymy, wydaje się być mniejsza niż ta rezystancja. Sposób, w jaki miernik realizuje automatyczny zakres oznacza, że generalnie przeskoczy z zakresu 100 kΩ prosto do końcowego zakresu pomiarowego. Początkowy prąd testowy będzie wynosił 30 µA lub mniej, a następnie wzrośnie do 500 µA dla rezystancji od 30 Ω do 100 kΩ lub 50 mA dla rezystancji poniżej 30 Ω.

Najwyższa możliwa dostarczana moc wynosi 75 mW dla rezystora 30 Ω. Powinna być ona bezpieczna dla wszystkich układów z wyjątkiem najbardziej wrażliwych.

Zastosowany w mierniku mikrokontroler to PIC24FJ256GA702-I/SS. Jest on odpowiedni do tego zadania pod względem liczby pinów, choć używamy również czterech „wolnych" cyfrowych pinów we/wy powiązanych z przetwornikiem ADC. Były one zbyt wygodne, aby ich nie użyć! Do obniżenia napięcia z 3,6 V do 3,3 V została zastosowana prosta dioda Schottky'ego. Napięcie 3,3 V jest potrzebne dla przetwornika ADC i mikrokontrolera, ponieważ 3,6 V stanowi górną granicę napięć dopuszczalnych dla tych układów.

Mikrokontroler steruje 16-kolumnowym, dwuwierszowym alfanumerycznym wyświetlaczem LCD z kontrolerem kompatybilnym z HD44780. Są one wprawdzie standardem, ale występują w oszałamiającej różnorodności odmian.

Na płytce drukowanej umieściliśmy dwa bardzo popularne footprinty, co daje kilka opcji wyboru wyświetlacza. Przy jego zakupie należy sprawdzić wyprowadzenia, ponieważ bardzo często szczególnie podświetlenie LED jest różnie rozwiązywane.

W mierniku są dwa złącza, które prawdopodobnie nie będą potrzebne. Jest to złącze ICSP, CON4. Służy ono do programowania mikrokontrolera na płytce, co wykorzystaliśmy podczas projektowania, ale wielu czytelników zbuduje układ z użyciem wstępnie zaprogramowanego mikrokontrolera PIC.

Mamy również footprint dla CON6, SPI_MON. Zdecydowanie nie powinieneś tego potrzebować, chyba że chcesz podglądać aktywności interfejsu SPI podczas komunikacji między mikrokontrolerem a ADC. Możliwość ta jest bardzo pomocna podczas opracowywania projektu takiego jak ten.

I wreszcie mamy również pola dla zewnętrznego rezonatora kwarcowego 8 MHz i powiązanych z nim elementów: kondensatora 22 pF i rezystora 100 Ω. Nie są one jednak wymagane w tym projekcie, ponieważ zamiast nich używamy wewnętrznego oscylatora PIC.

Przetwornik ADC, wzmacniacz buforowy i mikrokontroler to elementy do montażu powierzchniowego. Dwa pierwsze elementy nie są przy tym dostępne w obudowach przewlekanych. Chcieliśmy również zmieścić ten projekt w poręcznej obudowie.

Zasilanie

Miernik jest zasilany z sześciu ogniw AA. Wybraliśmy takie podejście, aby zapewnić dobry czas pracy i aby szyna 5 V pozostawała użyteczna, gdy baterie się rozładowują.

Podczas pomiaru niskich rezystancji miernik może pobierać prąd blisko 100 mA. Powinno to zapewnić ponad 24 godziny pracy na pojedynczym zestawie baterii, co będzie wystarczające, pod warunkiem, że nie zapomnisz wyłączyć miernika po skończonej pracy!

Projekt zawiera dwa liniowe stabilizatory low-dropout. Jeden z nich ma wyjście 5 V do zasilania cewek przekaźników, podświetlenia LED wyświetlacza LCD i generatora –2 V (REG3). Drugi ma wyjście 3,6 V (REG2) do zasilania przetwornika ADC, buforowych wzmacniaczy operacyjnych i mikrokontrolera. Oba stabilizatory są oznaczone jako AZ1117, ale istnieje wiele stabilizatorów LDO z kompatybilnymi wyprowadzeniami (zwykle zawierającymi frazę 1117 w oznaczeniu typu), które również będą działać poprawnie.

Dostarczyliśmy wszystkie elementy, aby umożliwić użycie dwóch identycznych regulowanych stabilizatorów REG2 i REG3. Mimo to można użyć stałego stabilizatora wyjściowego 5,0 V dla REG3, pomijając rezystor między pinami OUT i ADJ oraz jego kondensator szeregowy, a także zastępując rezystor między ADJ i GND rezystorem 0 Ω (lub krótkim kawałkiem drutu między padami).

Teoretycznie można to zrobić również dla REG2, ale niestety napięcie 3,6 V nie występuje jako standardowa wartość dla tego stabilizatora. Należy więc pozostać przy regulowanym typie REG2.

W kolejnym odcinku

W tym artykule nie ma już miejsca na wszystkie szczegóły dotyczące budowy, testowania i konfiguracji, więc znajdą się one w kolejnym. ■

Phil Prosper

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

eprasa.pl bfa7a1d357

Tłumik RF 0...110 dB do generatorów sygnału

Opisany w artykule tłumik został zaprojektowany na potrzeby mojego opublikowanego projektu generatora sygnału AM/FM (Silikon Chip maj 2022, siliconchip.au/Article/15306 oraz EdW 1/2025). Można go jednak połączyć z dowolnym generatorem sygnału, uzyskując łatwą regulację poziomu wyjściowego w szerokim zakresie.

Materiały dodatkowe dostępne są na stronie Silicon Chip: https://tiny.pl/ym695qy3
Materiały dodatkowe są również dostępne na stronie elportal.pl/do-pobrania

Cechy i specyfikacja
- Użyteczny zakres częstotliwości: DC do 100 MHz
- Impedancja wejściowa i wyjściowa: 50 Ω
- Zakres tłumienia: 0 dB do –110 dB w krokach co 1 dB do 2 MHz, zmniejszone maksymalne tłumienie przy wyższych częstotliwościach (rysunek 2)
- Błąd tłumienia: typowo ≤0,5 dB (rysunek 1)
- Zasilanie: 5 V/100 mA
- Mieści się w tej samej odlewanej obudowie, co generator sygnału AM/FM z EdW 1/2025.

Często potrzebujemy sygnału RF o bardzo niskiej amplitudzie, używanego do testowania, strojenia lub regulacji radia. O ile nie kupisz drogiego generatora sygnału, istnieje prawdopodobieństwo, że poziom wyjściowy generatora będzie zbyt wysoki do takiego zadania.

Zaprojektowany prze mnie generator sygnału AM/FM ma moc wyjściową bliską 0 dBm, co przekłada się na napięcie wyjściowe około 220 mV przy obciążeniu 50 Ω. Aby zredukować tę wartość do 1 μV RMS (np. do testowania czułości radia), potrzebujemy 107 dB tłumienia.

Najprostszym sposobem na osiągnięcie tego celu jest zakup gotowych stałych tłumików. Są one dostępne w zakresie od 1 dB do 40 dB i kosztują około 5 USD za sztukę. Mają złącza SMA na obu końcach i można je łączyć w celu uzyskania wymaganego tłumienia.

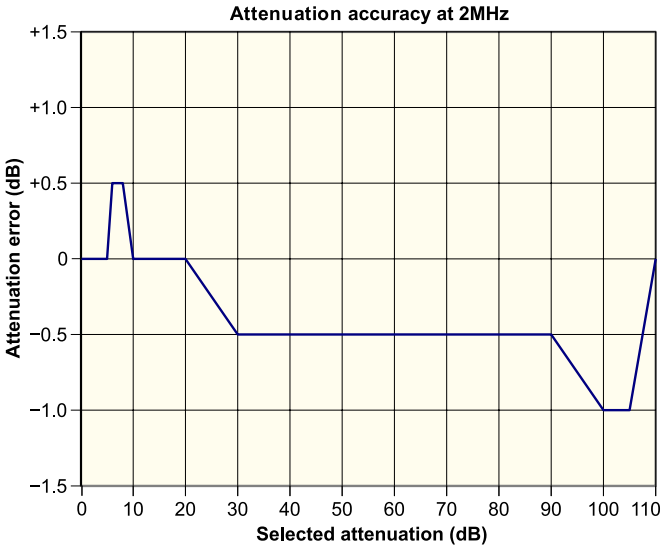
Dostępne są również nastawne tłumiki cyfrowe, które zostały zrecenzowane w Silicon Chip w październikowym i listopadowym wydaniu z 2021 r. – siliconchip.com.au/Article/15067 & siliconchip.com.au/Article/15100). Mają one maksymalne tłumienie około 30 dB i można je regulować w małych krokach, np. 1 dB lub 0,5 dB. Jednym z możliwych rozwiązań uzyskania żądanego tłumienia jest połączenie jednego z nich z kilkoma tłumikami stałymi.

Postanowiłem jednak zaprojektować własny tłumik ze względu na jego prostą budowę. W zasadzie jest to tylko ciąg stałych tłumików, z których każdy składa się z trzech rezystorów, wybieranych w pewnych kombinacjach. Rozwiązanie takie sprawdza się dobrze przy niskich częstotliwościach, np. poniżej 2 MHz, ale przy wyższych częstotliwości sygnał będzie przepływał różnymi ścieżkami, utrudniając osiągnięcie 1 μV na wyjściu.

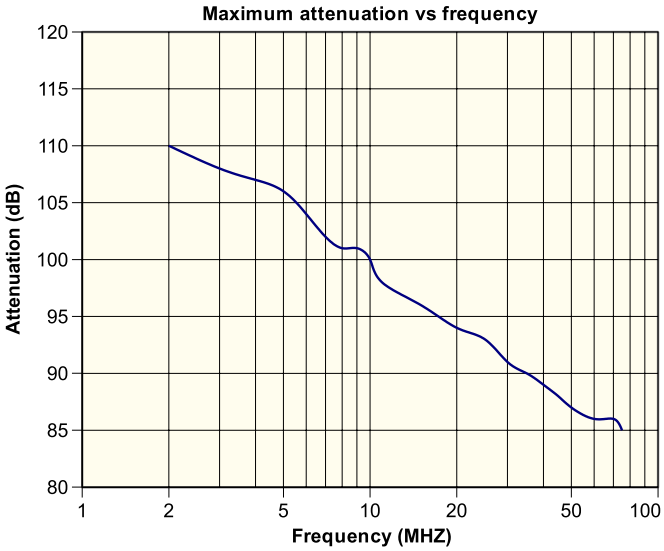
Czy taki tłumik spełnia swoje zadanie? Tak i nie. Przy 2 MHz i poniżej, maksymalne tłumienie wynosi 110 dB, ale gdy dojdziemy do 75 MHz, tłumienie wyniesie tylko 81 dB. Dla wejścia 0 dBm najniższy poziom wyjściowy wyniesie więc 20 μV RMS. Jednak dodanie jednego stałego tłumika 30 dB do jego wyjścia pozwoli osiągnąć tłumienie 110 dB i nadal daje spory zakres regulacji, więc uważam to za rozwiązanie dość dobre. Wynika to z faktu, że przy wyższych częstotliwościach pojemność rozproszona i indukcyjność stają się bardziej znaczące. Ponadto ścieżki płytki drukowanej działają jak anteny i emitują energię, która jest odbierana dalej w łańcuchu tłumika.

Profesjonalne generatory sygnału z tłumikami wykorzystują rozległe ekranowanie wewnętrzne, aby zmniejszyć takie efekty. W przypadku domowego sprzętu jest to niezbyt praktyczne. Dlatego nie wbudowałem tłumika w generator sygnału, lecz w oddzielną obudowę z odlewanego ciśnieniowo aluminium. W generatorze sygnału znajduje się zbyt

eprasa.pl bfa7a1d357



Rysunek 1. Ustawienia tłumienia są bardzo dokładne przy niskich częstotliwościach do około 90 dB, z maksymalnym błędem wynoszącym tylko 1 dB. Błąd +0,5 dB między 6 dB a 8 dB może być spowodowany błędem pomiaru



Rysunek 2. Rzeczywiste tłumienie dla wybranej wartości 110 dB w zakresie od 2 MHz do 75 MHz. Wraz ze wzrostem częstotliwości sygnału, pasożytnicze pojemności na płytce drukowanej powodują, że pewna część sygnału wejściowego przenika do wyjścia

wiele częstotliwości radiowych, co utrudniłoby odizolowanie sekcji tłumika.

Schemat tłumika przedstawiono na **rysunku 3**. Sygnał jest doprowadzany przez złącze CON4, a następnie przechodzi przez dziesięć przełączanych za pomocą przekaźników DPDT RLY1...RLY10 sekcji tłumika przed dotarciem do złącza wyjściowego CON5. Sekcje te tłumią o 1 dB, 2 dB, 3 dB, 5 dB, 10 dB (dwukrotnie) i 20 dB (czterokrotnie).

Idealne wartości rezystancji dla tych tłumików nie mieszczą się w standardowym szeregu, więc wybrałem najbliższe wartości standardowe, co skutkuje niewielkimi niedokładnościami.

Gdy przekaźnik jest odłączony od zasilania, sygnał przechodzi przez normalnie zwarte styki. Jeśli przekaźnik jest załączony, sygnał przechodzi przez sekcję tłumika rezystancyjnego.

Enkoder obrotowy służy do regulacji wymaganego tłumienia w krokach co 1 dB lub 5 dB, przełączanych przez naciśnięcie zintegrowanego w nim przycisku. Oprogramowanie układowe w mikrokontrolerze ATMega168 lub ATMega328 przekłada tłumienie na przełączanie odpowiedniego zestawu przekaźników.

Na przykład, aby wybrać 35 dB, zasilone zostaną przekaźniki 3, 6 i 7. Aby zapobiec drganiom styków przekaźników podczas obracania wału enkodera, po wybraniu numeru następuje krótkie opóźnienie przed włączeniem i wyłączeniem odpowiednich przekaźników. Cewka każdego przekaźnika jest przełączana za pomocą małosygnałowego MOSFET-a.

Być może zauważyłeś, że nie ma diod zabezpieczających przed wstecznym napięciem EEMF cewek przekaźnika podczas wyłączania. Jest to nieco nietypowe rozwiązanie, ale pozwalające zmniejszyć liczbę komponentów. Można tak zrobić tylko wtedy, gdy MOSFET-y mogą działać przy wysokich napięciach dren-źródło, aby wytrzymać skoki napięcia spowodowane rozpraszaniem pól magnetycznych cewki przekaźnika. Więcej szczegółów na ten temat znajduje się w poniższej sekcji „MOSFET-y z certyfikatem lawinowym".

Podobnie jak w przypadku innych moich projektów, dodałem uproszczony interfejs RS-232 do debugowania przy użyciu MOSFET-ów Q11 i Q12. Można je pominąć, jeśli nie planuje się korzystania z tego interfejsu.

Tłumik jest zasilany ze standardowej ładowarki do telefonu komórkowego 5 V DC (lub innego źródła zasilania USB). Chociaż można takie napięcie uzyskać z gniazda wyjściowego generatora sygnału, zdecydowałem się użyć oddzielnego źródła

Wykaz elementów

1 dwustronna płytka drukowana – kod CSE211003, 76 mm × 95,5 mm
1 obudowa z odlewanego ciśnieniowo aluminium, 119 mm × 93,5 mm × 34 mm [Jaycar HB5067 lub Altronics H0454].
1 regulowany zasilacz DC 5 V 100 mA+ (np. ładowarka USB z kablem zasilacza)
1 wyświetlacz OLED 0,96 cala z interfejsem I²C i sterownikiem SSD1306 (OLED1)
1 obrotowy enkoder mechaniczny ze zintegrowanym przełącznikiem przyciskowym, wysokość całkowita 20 mm (RE1) [np. Bourns PEC11R-4215F-S0024]
10 przekaźników cewkowych EC2-5NU DPDT 5 V (RLY1...RLY10)
1 10 µH osiowa cewka RF (L1)
1 28-stykowa podstawka DIL IC (opcjonalne, dla IC1)
1 gniazdo baryłkowe DC montowane na płytce drukowanej, wewnętrzna średnica bolca 2,1 mm lub 2,5 mm (CON1)
1 2-stykowe złącze spolaryzowane o rastrze 2,54 mm z pasująca wtyczką z bolcami (CON2)
1 3-stykowe złącze spolaryzowane o rastrze 2,54 mm (CON3) *
2 złącza krawędziowe SMA (CON4, CON5)
2 gniazdo 2×3-pin (CON6, opcjonalne, do programowania IC1)
1 4-pinowe gniazdo żeńskie (CON7, dla OLED1)
1 duże pokrętło pasujące do EN1
4 metalowe tuleje dystansowe z gwintem M3 o długości 12 mm
2 tuleje dystansowe 10 mm
4 śruby z łbem walcowym M3 × 6 mm
4 śruby z łbem stożkowym M3 × 8 mm
2 śruby z łbem walcowym M2 × 16 mm lub M2,5 × 16 mm i nakrętki (pasujące do otworów montażowych OLED)
4 płaskie podkładki M3

Półprzewodniki
1 8-bitowy mikrokontroler ATmega168 lub ATmega328 zaprogramowany kodem CSE211003.hex, DIP-28 (IC1)
1 LP2950-3.3 lub podobny stabilizator LDO 3,3 V, TO-92 (REG1)
10 tranzystorów MOSFET N-kanałowych PMV15UNEA, PMV19XNEA lub podobnych o charakterystyce lawinowej, SOT-23 (Q1...10) [Mouser nr kat. 771-PMV15UNEAR lub element14 nr kat. 3268027].
2 2-kanałowe MOSFET-y 2N7000 N, SOT-23 (Q11...Q12) *

Kondensatory (SMD 0805 6,3 V+ X7R ceramiczne, o ile nie podano inaczej)
1 10 µF rozmiar M3216/1206 1 1 µF 4 100 nF 3 10 nF

Rezystory (wszystkie SMD M2012/0805 1% grubowarstwowe)
5 18 kΩ 2 4,7 kΩ 1 1 kΩ * 2 820 Ω 2 470 Ω 2 270 Ω 4 220 Ω 2 180
4 100 Ω 2 68 Ω 8 56 Ω 1 33 Ω 1 18 Ω 1 12 Ω 1 5,6 Ω
* pominąć, jeśli interfejs debugowania nie jest potrzebny
Zestaw SC6420 (75 USD): dostępny jest krótki zestaw zawierający większość części

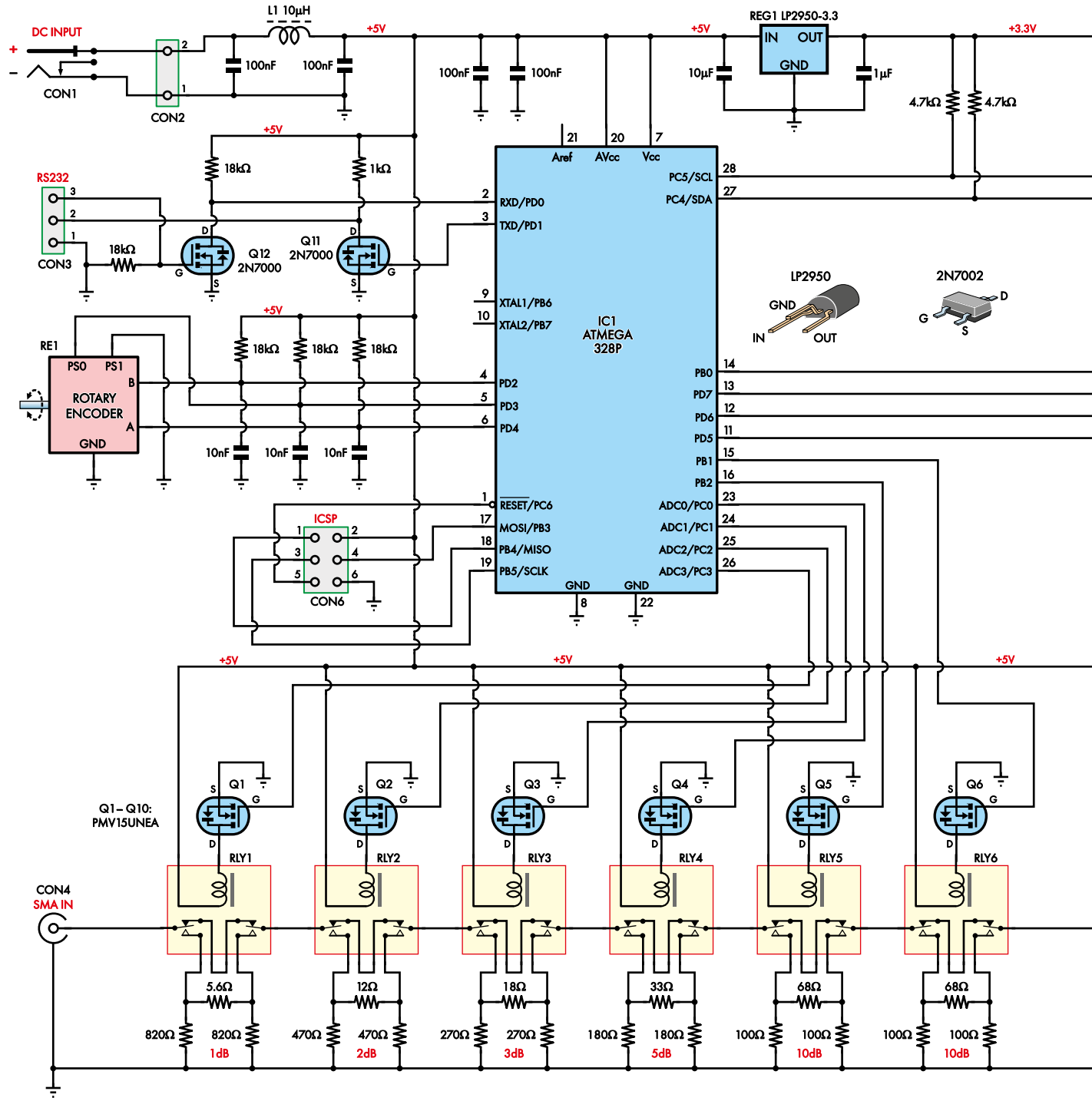
eprasa.pl bfa7a1d357

zasilania. Dzięki temu można było zmniejszyć potencjalny wyciek RF. Na zdjęciach jest widoczne dodatkowe gniazdo DC. Służy ono do zasilania zewnętrznego wzmacniacza, który został użyty do pomiarów.

Cewka L1 jest połączona szeregowo z wejściem zasilania, co pozwala jeszcze bardziej zredukować wszelkie zewnętrzne częstotliwości radiowe. Wydaje się to być skuteczne, ponieważ zasilanie z baterii składającej się z trzech ogniw AA nie spowodowało mierzalnej różnicy w odczytach.

Do wyświetlania wartości tłumienia jest zastosowany taki sam 0,96-calowy wyświetlacz OLED ze sterownikiem SSD1306, jaki był użyty w generatorze sygnału. Wyświetlacz jest zasilany ze stabilizatora 3,3 V. Interfejs I²C wymaga użycia rezystorów podciągających do +3,3 V. Ponieważ wyjścia SDA i SCL na PC4 i PC5 układu IC1 są typu „otwarty dren", nie ma problemu z mikrointerfejsem z OLED zasilanym napięciem 5 V.

Wybrałem przekaźniki NEC EC2-5NU. Są to typy DPDT z cewkami o napięciu znamionowym 5 V DC. Są one łatwo dostępne i mają dobrą izolację. Zmierzona pojemność między otwartymi stykami wynosi 1 pF, co nie wydaje się dużą wartością. Mimo to, reaktancja przy 75 MHz wynosi –j2122 Ω, co odpowiada efektywnie dołączeniu równoległego rezystora



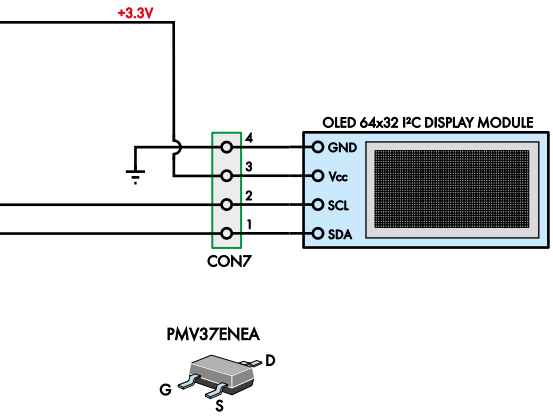
eprasa.pl bfa7a1d357

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

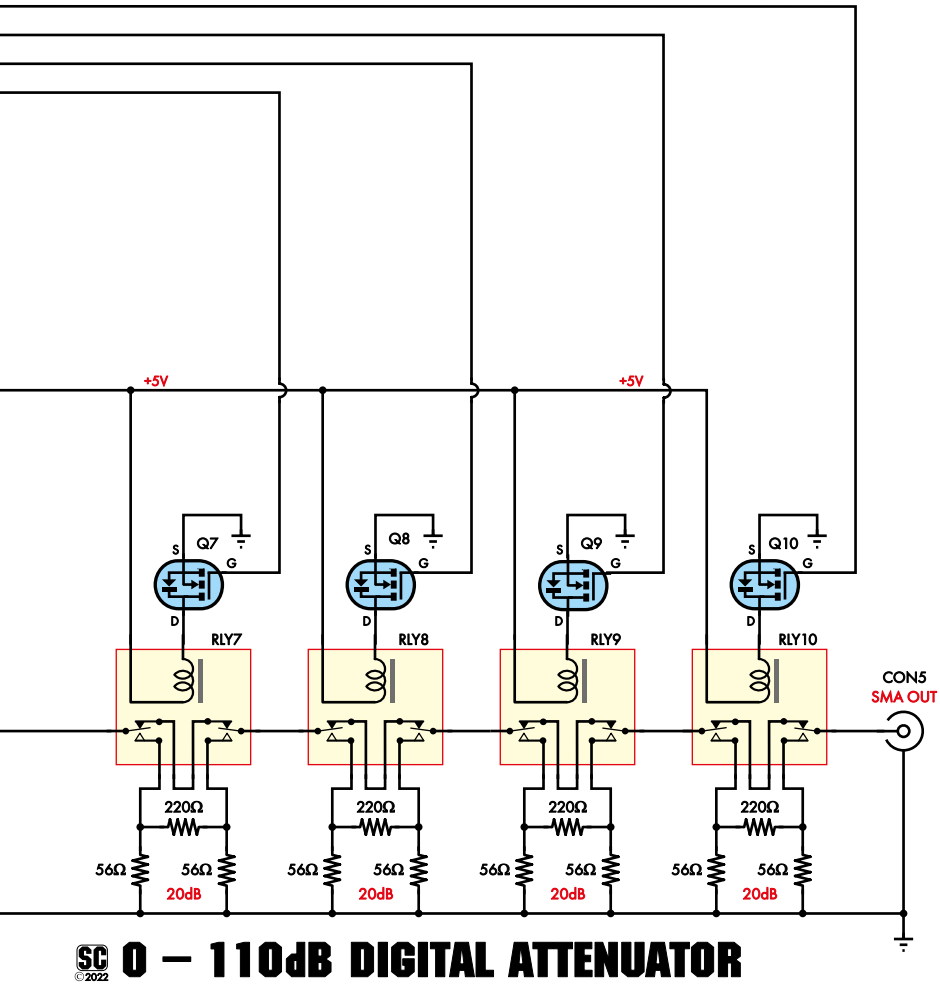
220 Ω w sekcjach 20 dB, nieznacznie zmniejszających tłumienie.

Zmierzone tłumienie dość dokładnie odpowiada ustawionemu tłumieniu przy 2 MHz i poniżej, jak pokazano na **rysunku 1**. Odczytów dokonałem za pomocą analizatora widma tinySA. Poziom szumów tinySA wynosi około –90 dBm, więc użyłem wzmacniacza o niskim poziomie szumów (LNA) 30 dB, aby móc mierzyć do –110 dBm. Zmierzona wartość zmieniała się nieznacznie przy każdym pomiarze, więc uśredniłem kilka odczytów.

Gdy częstotliwość wzrośnie powyżej 2 MHz, dokładność spada. Na **rysunku 2** pokazano maksymalne tłumienie osiągalne do 75 MHz. Aby uzyskać niższy poziom sygnału przy wyższych częstotliwościach, należy umieścić stały tłumik 30 dB na wyjściu urządzenia.



Rysunek 3. Cały schemat tłumika 110 dB. Główna sekcja składa się z 10 przełączanych tłumików, każdy wykonany z trzech rezystorów, jednego przekaźnika (RLY1...10) i jednego MOSFET-a (Q1...Q10) sterującego przekaźnikiem. Tranzystory są sterowane przez mikrokontroler IC1, który monitoruje również enkoder obrotowy i przycisk oraz komunikuje się z wyświetlaczem OLED, aby pokazać bieżące ustawienie tłumienia



SC 2022 **0 – 110dB DIGITAL ATTENUATOR**

MOSFET-y odporne na lawinowe przebicie

Aby zapewnić długą żywotność, należy stosować MOSFET-y odporne na lawinowe przebicie (takie jak podane w wykazie elementów). Można to łatwo sprawdzić, przeszukując noty katalogowe tranzystorów pod kątem energii przebicia lawinowego (zwykle wyrażonej w mJ).

Gdy napięcie znamionowe dren-źródło MOSFET-a zostanie przekroczone, może dojść do przebicia lawinowego, podobnie jak w przypadku diody Zenera. W tym trybie kanał przewodzi prąd do momentu spadku napięcia.

Problem polega na tym, że typowy MOSFET składa się z wielu (zwykle tysięcy) struktur i nie ma gwarancji, że każda struktura ulegnie przebiciu przy tym samym napięciu. Oznacza to, że energia może przepływać przez bardzo małą część obszaru MOSFET-a, powodując intensywne lokalne nagrzewanie i prawdopodobnie awarię.

Ponadto prąd lawinowy nie jest przewodzony przez normalny kanał, a raczej przez „pasożytniczy tranzystor bipolarny" utworzony przez dwa złącza półprzewodnikowe wewnątrz MOSFET-a. Ma to również wpływ na koncentrację prądu na mniejszym obszarze niż zwykle.

MOSFET-y lawinowe rozwiązują ten problem na dwa sposoby. Po pierwsze, są one projektowane i produkowane w taki sposób, aby zminimalizować różnice w napięciach przebicia między poszczególnymi strukturami. Dzięki temu prąd jest rozłożony.

Po drugie, po wyprodukowaniu są one testowane poprzez wymuszenie przebicia lawinowego za pomocą impulsu o energii co najmniej tak wysokiej, jak określono w nocie katalogowej. Wszelkie „słabe" tranzystory, które nie mogą sobie z tym poradzić, zawodzą i są odrzucane. Tylko te, które przetrwały, trafiają do sprzedaży.

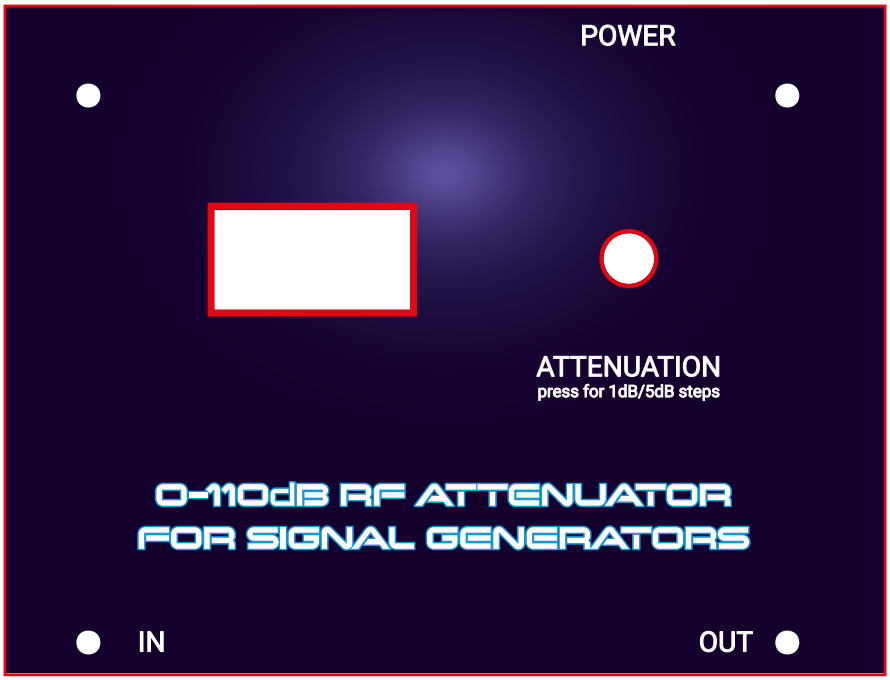
Obliczyliśmy energię impulsu z cewek przekaźnika w tym projekcie na około 1 mJ. MOSFET-y, które wybraliśmy, mają moc pojedynczego impulsu około 15 mJ. Muszą one obsłużyć tylko jeden impuls co kilka sekund, więc mieścimy się w zasięgu ich możliwości. W przypadku zastąpienia MOSFET-ów należy wybrać typy o minimalnej wartości lawinowej 10 mJ.

Więcej informacji na ten temat można znaleźć w doskonałym artykule firmy Infineon dostępnym pod adresem siliconchip.com.au/link/abdb

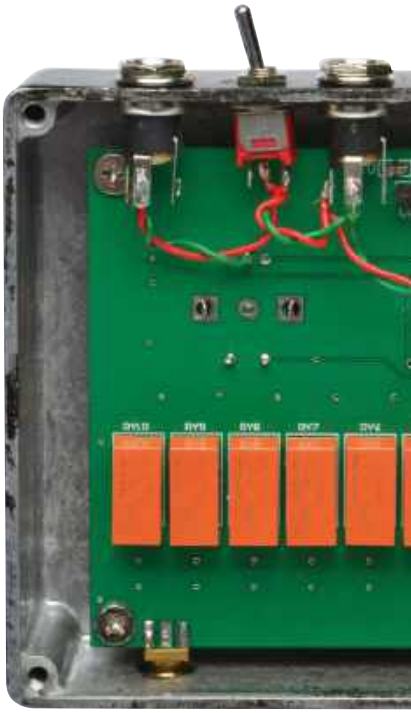
Budowa

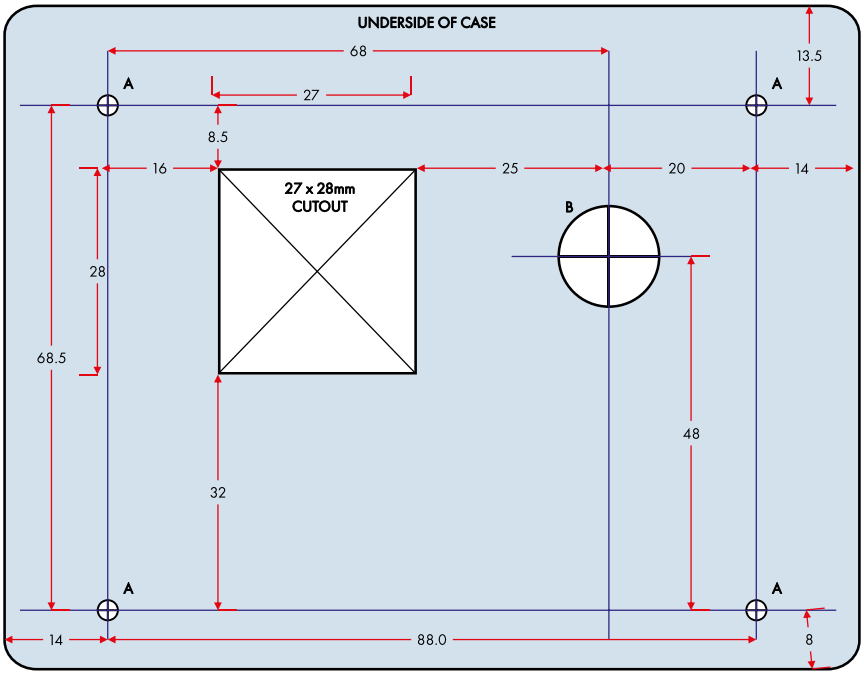
Urządzenie jest umieszczone w standardowej aluminiowej obudowie odlewanej ciśnieniowo, która jest dostępna w Jaycar

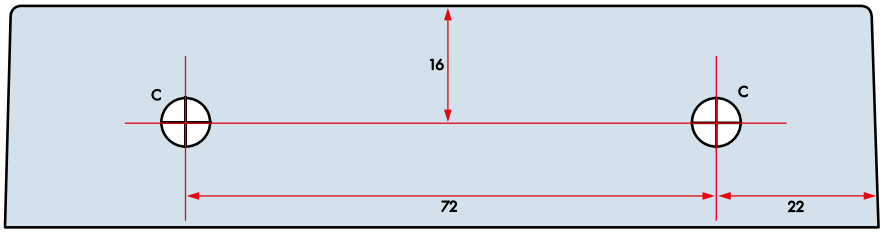
eprasa.pl bfa7a1d357



Rysunek 4. Etykieta na panelu przednim tłumika. Liczba i rozmiar wycięć zostały zminimalizowane, aby zapobiec wyciekom RF do lub z obudowy







Rysunek 5. Na szczęście jest niezbyt wiele otworów, które trzeba wyciąć w odlewanej obudowie. Wszystkie można wywiercić, z wyjątkiem prostokątnego otworu na wyświetlacz. Istnieją różne sposoby na jego wykonanie, pamiętaj tylko, żeby robić to powoli, aby uniknąć postrzępienia lub przerysowania

i Altronics. Najlepiej przygotować ją przed montażem płytki drukowanej. Ja swoją pomalowałem na czarno, co korzystnie poprawiło jej wygląd.

Wydrukowałem etykietę (**rysunek 4**) na papierze fotograficznym i dodałem przezroczysty arkusz poliwęglanu o grubości 1,5 mm, przycięty do tego samego rozmiaru co etykieta. Grafikę można pobrać ze strony siliconchip.com.au/Shop/11/6419.

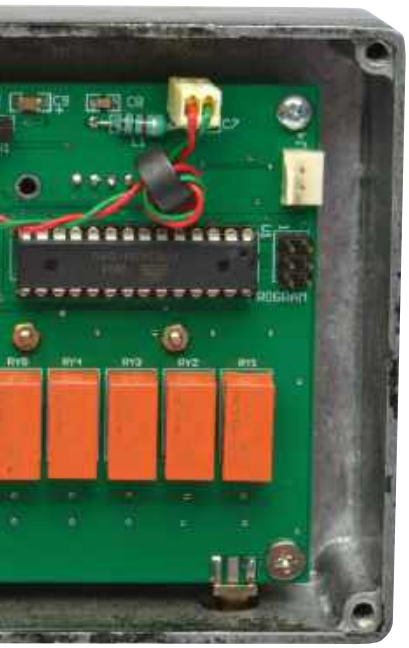
Płytka PCB jest mocowana do wnętrza obudowy za pomocą gwintowanych tulei dystansowych 12 mm. Jeśli nie możesz ich zdobyć, użyj gwintowanych tulei dystansowych 10 mm z dodatkową nakrętką, aby przedłużyć je do 12 mm. Spryskałem również śruby przechodzące przez panel przedni na czarno, aby poprawić ogólny wygląd.

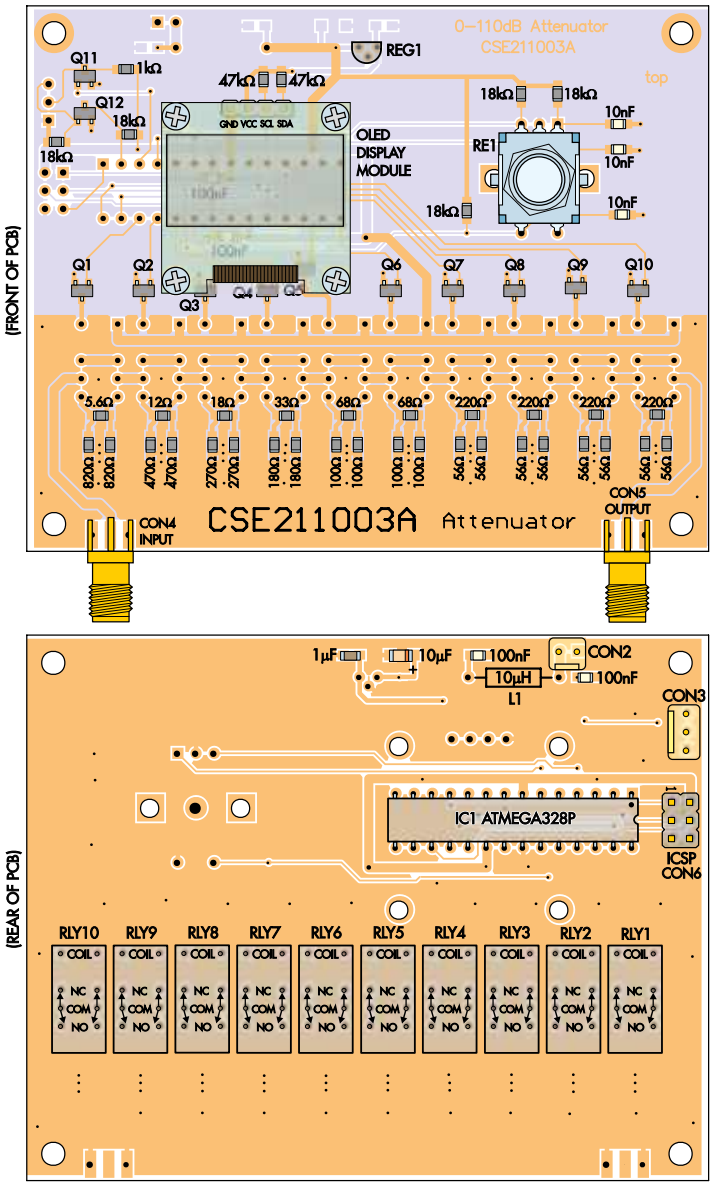
Wymagane wycięcia w obudowie pokazano na **rysunku 5**. Aby uzyskać najlepszą dokładność, zlokalizuj punkt odniesienia w lewym dolnym rogu i wywierć otwór o średnicy 3 mm. Następnie przymocuj pustą płytkę PCB, aby użyć jej jako szablonu. Wyrównaj go, wywierć przeciwległy narożnik i przytwierdź go kolejną śrubą. Teraz wywierć pozostałe otwory montażowe.

Lokalizacja enkodera na płytce drukowanej ma mały otwór pośrodku płytki drukowanej. Przewierć panel przez ten otwór za pomocą wiertła o średnicy 1,5 mm, a następnie wywierć otwory w obudowie odpowiadające czterem otworom montażowym wyświetlacza OLED do 2,5 mm.

Wyjmij płytkę drukowaną i powiększ otwór na wał enkodera do średnicy 14 mm. Musi być tak duży, aby można było manewrować płytką

eprasa.pl bfa7a1d357





Rysunek 6. Rezystory, kondensatory i MOSFET-y są dostarczane w obudowach SMD, ale są dość łatwe do lutowania. Mikrokontroler, stabilizator, przekaźniki, gniazda i enkoder obrotowy to elementy przewlekane. Najpierw zamontuj wszystkie elementy SMD, a następnie elementy przewlekane od najniższego profilu do najwyższego, a złącza krawędziowe na końcu. Należy uważać, aby ustawić mikrokontroler i stabilizator zgodnie z ilustracją

drukowaną w odpowiednim miejscu. Zwiększ rozmiar otworów montażowych wyświetlacza OLED do 4 mm i użyj ich zewnętrznej strony do zaznaczenia potrzebnego wycięcia.

Sposób wykonania wycięcia zależy od posiadanego sprzętu i umiejętności. Być może najprostszym podejściem jest wywiercenie serii małych (powiedzmy 3...4 mm) otworów po wewnętrznej stronie krawędzi. Połącz je pilnikiem, aż środkowa część wypadnie, a następnie użyj większego płaskiego pilnika, aby wygładzić krawędzie, aż będą proste, a otwór będzie wystarczająco duży.

Na koniec wywierć dwa otwory 7 mm na złącza SMA z przodu i otwór na złącze DC z tyłu. Nie ma zbyt wiele miejsca na to złącze, powinno znajdować się 7 mm od spodu obudowy. Umieściłem również mały przełącznik obok złącza DC do zasilania, ale jest to rozwiązanie opcjonalne.

Montaż PCB

Większość elementów jest montowana na dwustronnej płytce drukowanej o kodzie CSE211003 i wymiarach 76 mm × 95,5 mm. Na **rysunku 6** pokazano lokalizacje poszczególnych elementów.

Rezystory i kondensatory mają w większości rozmiar SMD M2012/0805 lub M3216/1206, natomiast tranzystory są w obudowach SOT-23. Najpierw należy przylutować wszystkie elementy SMD, następnie elementy przewlekane, potem złącza SMA, a na końcu enkoder obrotowy.

Są też opcje dla innych stabilizatorów 3,3 V, jeśli układ LP2950-3,3 nie jest dostępny. Niektóre z nich mają różne wyprowadzenia, więc należy je sprawdzić podczas wymiany. Jeśli zamienny stabilizator ma odwrócone wyprowadzenia, można zamontować go po przeciwnej stronie płytki.

Wyświetlacz OLED jest dołączany do 4-pinowej listwy. Chociaż w zestawie znajdują się cztery otwory montażowe, wystarczające jest przymocowanie go za pomocą dwóch śrub i dwóch tulei dystansowych 10 mm.

Otwory w wyświetlaczu OLED mogą mieć rozmiar 2 mm lub 2,5 mm, dlatego należy użyć śrub i nakrętek M2×16 mm lub M2,5×16 mm.

Korzystanie z tłumika

Korzystanie z filtra jest tak proste, jak można sobie wyobrazić. Po prostu włącz urządzenie, użyj pokrętła, aby wybrać wymagane tłumienie, sprawdzając wyświetlacz, a następnie upewnij się, że kable wejściowe i wyjściowe są podłączone do odpowiednich gniazd. Należy pamiętać, że naciśnięcie pokrętła enkodera przełącza kroki regulacji 1 dB i 5 dB. ■

Charles Kosina

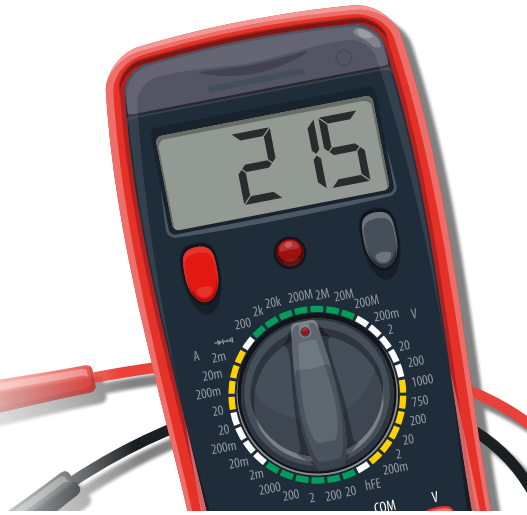
Artykuł reprodukowano na podstawie umowy z magazynem „Silicon Chip", 2022.
www.siliconchip.com.au

eprasa.pl bfa7a1d357

Tester i kalibrator multimetrów

Materiały dodatkowe dostępne są na stronie Silicon Chip: https://tiny.pl/khm-5qc8
Materiały dodatkowe są również dostępne na stronie elportal.pl/do-pobrania

To niesamowite, jak przydatne dla elektronika mogą być nawet najtańsze multimetry. Ale czy kiedykolwiek zastanawiałeś się nad dokładnością uzyskiwanych nimi pomiarów? Opisywany tester pozwala zweryfikować tę dokładność, a w przypadku droższych mierników umożliwia ich kalibrację.



Multimetry są niezbędnymi narzędziami, przeważnie traktujemy ich dokładność jak coś oczywistego. W wielu przypadkach dokładność nie jest aż tak ważna, ale są chwile, kiedy ma ona kluczowe znaczenie.

W sierpniu 2015 r. zaprezentowaliśmy niedrogi, precyzyjny układ, dostarczający napięcie i prąd odniesienia (siliconchip.au/Article/8801) i pokazaliśmy, jak używać go do testowania i kalibracji multimetrów (siliconchip.au/Article/8832).

Wspomniany układ wytwarza stałe napięcie referencyjne równe 2,5 V z tolerancją ±1 mV (±0,04%), udostępnia wzorcową rezystancję o wartości 1 kΩ z tolerancją ±1 Ω (±0,1%) i prąd referencyjny o natężeniu 2,5 mA z tolerancją ±3,5 µA (±0,14%).

Stałe napięcie odniesienia pochodzi z wysoko stabilnego układu scalonego, który w połączeniu z precyzyjnym rezystorem dostarcza prąd o referencyjnym natężeniu. Ten rezystor może być również używany samodzielnie jako wzorzec rezystancji.

Urządzenie ma małe rozmiary i jest zasilane z ogniwa pastylkowego. Może być przechowywane w skrzynce narzędziowej i używane w razie potrzeby. Pozwala na sprawdzenie stałoprądowych zakresów pomiarowych, jednak nie zawiera źródła napięcia przemiennego, więc nie wszystkie typowe zakresy multimetru mogą być sprawdzane lub kalibrowane. Postanowiliśmy więc stworzyć nowy projekt, który dodaje tę funkcję.

W nowym testerze multimetrów użyty został specjalistyczny układ scalony, wytwarzający napięcie referencyjne o wartości 3,3 V służące do kalibracji zakresów stałoprądowych. W połączeniu z precyzyjnym rezystorem układ wytwarza prąd referencyjny o natężeniu 100 mA. Kolejny precyzyjny rezystor pełni rolę wzorca rezystancji.

Co ważne, do kalibracji zakresów pomiarowych napięcia przemiennego układ wytwarza precyzyjny przebieg sinusoidalny o wartości skutecznej 1 V, o częstotliwości 50 Hz, 60 Hz lub 100 Hz.

Różne multimetry wykorzystują różne metody pomiaru napięcia i prądu przemiennego. Dlatego niektóre multimetry są oznaczone jako True RMS, podczas gdy inne nie. Multimetry True RMS zapewniają dokładny pomiar wartości skutecznej napięcia przemiennego, niezależnie od jego kształtu. Tańsze multimetry mierzą napięcie szczytowe przebiegu i mnożą odczyt przez współczynnik kształtu równy 0,71, zakładając, że przebieg jest sinusoidalny. Wiąże się to jednak z błędami pomiarowymi.

Na przykład przebieg o kształcie prostokątnym da sztucznie zaniżony odczyt, ponieważ jego wartość szczytowa jest taka sama jak wartość skuteczna. Na podobnej zasadzie przebiegi trójkątne i piłokształtne będą miały tendencję do zbyt wysokich odczytów.

Niektóre inne mierniki mierzą wartość średnią wyprostowanego napięcia przemiennego i zakładają, że ma ono przebieg sinusoidalny, co skutkuje niewłaściwymi wskazaniami w przypadku przebiegów o innych kształtach.

W naszym układzie napięcie przemienne jest generowane przez obwód analogowy, więc nie ma cyfrowych artefaktów, które mogłyby powstawać w przypadku użycia układu syntezy cyfrowej.

Amplituda i częstotliwość przebiegu referencyjnego są kontrolowane i regulowane przez mikrokontroler, który porównuje je ze stałym napięciem odniesienia i z częstotliwością rezonatora kwarcowego. W efekcie uzyskiwany jest przebieg o stałej amplitudzie i częstotliwości równej 50 Hz, 60 Hz lub 100 Hz.

Szczegóły budowy układu

Schemat układu testera i kalibratora multimetrów pokazano na **rysunku 1**. Obwody stałoprądowe, wytwarzające napięcie, prąd i rezystancję odniesienia działają tak samo jak w opisywanym wcześniej niedrogim, lecz nadal dokładnym układzie referencyjnym. Wyjaśnienia wymaga współdziałanie stałoprądowych obwodów referencyjnych z częścią przemiennego napięcia referencyjnego układu.

Napięcie zasilające o wartości 5 V jest pobierane ze złącza USB dostępnego w gnieździe CON1. Zasilanie jest doprowadzone między innymi do układu MCP1501 wytwarzającego precyzyjne napięcie odniesienia VREF1 o wartości 3,3 V. Poprawna praca tego układu ma krytyczne znaczenie dla działania wszystkich innych obwodów kalibratora.

Parametry i specyfikacja
- Napięcie referencyjne DC: 3,3 V ±0.1%
- Napięcie referencyjne AC: 1 V ±0,5% RMS
- Referencyjne źródło prądowe: 100 mA ±0,2%
- Rezystancja wzorcowa: 33 Ω ±0,1%
- Częstotliwość sygnału: 50 Hz, 60 Hz lub 100 Hz (±0,3%)
- Źródło częstotliwości odniesienia: rezonator kwarcowy
- Poziom częstotliwości harmonicznych: ≲40 dBV
- Sterowanie: przyciski z diodami LED i przez wirtualny port szeregowy USB

eprasa.pl bfa7a1d357

Układ MCP1501 ma obciążalność równą 20 mA, co ma kluczowe znaczenie dla stabilności pracy całego kalibratora, zwłaszcza że niektóre analogowe obwody generacyjne są zasilane z tego właśnie wzorca napięcia.

Wyjście referencyjne VREF1 jest filtrowane za pomocą kondensatora o pojemności 100 nF i jest podłączone do TP5. TP6 jest podłączony do masy układu, co pozwala na łatwy i wygodny pomiar tego napięcia. Miejsce to oznaczone jest na płytce drukowanej symbolem DCV.

Rozkład ścieżek na płytce drukowanej jest zaprojektowany w taki sposób, by spadki napięć powodowanych obciążeniem wyjścia referencyjnego nie miały wpływu na napięcie doprowadzane do pinu 8 układu MCP1501, czyli do wejścia sprzężenia zwrotnego. Dzięki temu napięcie 3,3 V dostępne w punkcie DCV ma niezmienną wartość, niezależnie od jakichkolwiek obciążeń.

Precyzyjne źródło prądu odniesienia

Podwójny wzmacniacz operacyjny IC3 typu rail-to-rail (MCP6272) jest zasilany napięciem o wartości 5 V pochodzącym ze złącza USB i ma własny kondensator filtrujący o pojemności 100 nF. Jedna połówka tego układu (IC3b) jest używana do sterowania źródłem prądu odniesienia.

Napięcie 3,3 V z wyjścia VREF1 jest doprowadzone do wejścia nieodwracającego układu IC3b (pin 5) przez rezystor o wartości 1 kΩ. Odpowiadające mu wejście odwracające (pin 6) jest polaryzowane przez kolejny rezystor o wartości 1 kΩ napięciem pobieranym z precyzyjnego rezystora o wartości 33 Ω, używanego do stabilizacji prądu odniesienia. Jakikolwiek prąd przepływający przez ten rezystor powoduje wzrost napięcia między TP4 a masą.

Wyjście wzmacniacza operacyjnego IC3b (pin 7) jest, poprzez rezystor o wartości 100 Ω, dołączone do bazy tranzystora Q1, działającego jako wtórnik emiterowy. Kolektor tranzystora Q1 jest podłączony do ścieżki zasilającej o napięciu 5 V, a jego emiter do TP3.

Zatem TP3 i TP4 służą do dostarczania prądu odniesienia. Gdy napięcie na TP4 ma wartość niższą od 3,3 V, baza tranzystora Q1 jest silnie polaryzowana przez wzmacniacz operacyjny. Jeśli napięcie na TP4 zbliży się do wartości 3,3 V, prąd polaryzujący bazę tranzystora Q1 ulega zmniejszeniu. Gdy napięcie na TP4 będzie równe 3,3 V, przez rezystor o wartości 33 Ω w kierunku masy układu przepływa prąd o natężeniu 100 mA.

Z TP4 do pinu 6 wzmacniacza operacyjnego IC3b popłynie pewien niewielki prąd, o natężeniu rzędu nanoamperów, więc powodowany tym błąd jest znacznie mniejszy od tolerancji użytych elementów, mieszczącej się na poziomie 0,1%.

Pętla sprzężenia zwrotnego powoduje, że w przypadku gdy między TP3 a TP4 zostanie włączony testowany miernik, natężenie prądu wyniesie dokładnie 100 mA. Końcówki TP3 i TP4 są oznaczone na płytce drukowanej jako punkty odniesienia DCA.

Kondensator o pojemności 1 nF włączony między piny 6 i 7 układu IC3b pomaga tłumić wszelkie oscylacje o wysokiej częstotliwości, które mogłyby wystąpić z powodu dużego wzmocnienia wzmacniacza operacyjnego.

Podczas trwania testu napięcie na wyjściu wzmacniacza operacyjnego IC3b jest wyższe o około 0,7 V od napięcia panującego na TP4. Jest to powodowane spadkiem napięcia na złączu baza – emiter tranzystora Q1. Biorąc pod uwagę fakt, że na rezystorze referencyjnym panuje napięcie równe 3,3 V, zaś napięcie zasilające wzmacniacz IC3b ma wartość 5 V, pozostaje margines napięcia równy 1 V, pozwalający na poprawną pracę układu. Spadek napięcia na testowanym multimetrze powinien być znacznie mniejszy niż 1 V, co oznacza że multimetr musi mieć rezystancję znacznie mniejszą od 10 Ω.

Drugi, identyczny precyzyjny rezystor o wartości 33 Ω jest włączony pomiędzy TP7 i TP8. Stanowi on rezystancję odniesienia do testowania funkcji pomiaru rezystancji w multimetrze.

Napięcie referencyjne przemienne

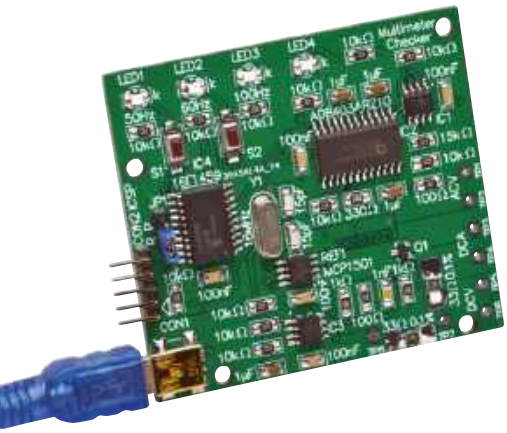
Praktycznie cała pozostała część urządzenia służy do wytworzenia napięcia referencyjnego przemiennego.

Ponieważ ten fragment układu jest zasilany niesymetrycznym napięciem stałym o wartości 5 V, niezbędne jest ustalenie umownego poziomu, względem którego będzie oscylowało napięcie przemienne. Przyjęto wartość 1,65 V stanowiącą połowę napięcia referencyjnego pobieranego z wyjścia układu VREF1, doprowadzonego do dzielnika napięcia zbudowanego na dwóch rezystorach o rezystancji 10 kΩ każdy.

Tak powstałe napięcie jest filtrowane przez kondensator 1 μF i buforowane przez wtórnik zbudowany na układzie IC3a. Na wyjściu tego układu ustalone jest czyste napięcie o wartości 1,65 V, które jest doprowadzone do szyny AREF.

Napięcie przemienne powstaje na generatorze RC, składającym się z obu połówek wzmacniacza IC1 (MCP6272) i poczwórnego potencjometru cyfrowego IC2 (AD8403ARZ10).

Układ IC2 jest zasilany napięciem stałym VDD o wartości 5 V. Zasilanie jest filtrowane za pomocą kondensatora o pojemności



Ten kompaktowy kontroler umożliwia sprawdzanie najczęściej używanych funkcji w większości multimetrów. Dostarcza napięcie stałe o wartości 3,3 V, prąd stały o natężeniu 100 mA, sinusoidalne napięcie przemienne o wartości skutecznej 1 V, o częstotliwości 50 Hz, 60 Hz lub 100 Hz. Zarówno wartość napięcia jak i częstotliwości jest regulowana i ustalana przez wbudowany mikrokontroler. Interfejs USB może być używany do ręcznego sterowania oscylatorem i ustawiania niestandardowych częstotliwości

Wykaz elementów

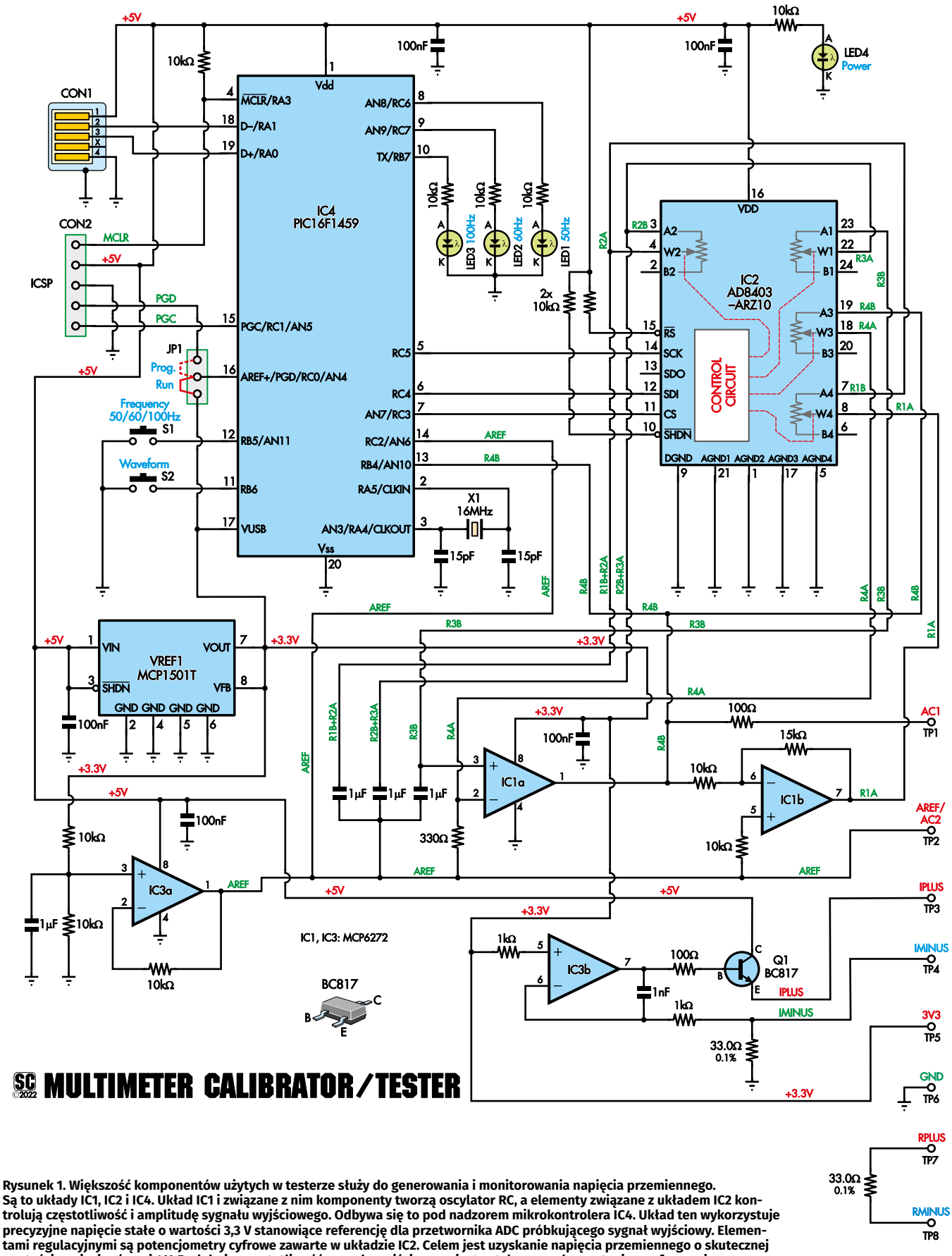
dwustronna płytka drukowana z kodem 04107221, 65×58,5 mm
gniazdo mini USB typu B (CON1)
pięciostykowe złącze kątowe (CON2; opcjonalne; potrzebne tylko do programowania)
trójstykowe złącze i zworka (JP1)
dwa dwupinowe przyciski SMD (S1, S2)
niskoprofilowy rezonator kwarcowy HC-49 16 MHz (X1)

Półprzewodniki
2 szt. podwójny wzmacniacz operacyjne rail-to-rail o niskim poborze mocy, typu MCP6272 lub MCP6L2, SOIC-8 (IC1, IC3)
1 szt. czterokanałowy potencjometr cyfrowy typu AD8403ARZ10, szeroki SOIC-24 (IC2)
1 szt. mikrokontroler typu PIC16F1459-I/SO zaprogramowany kodem 0410722A.HEX, szeroki SOIC-20 (IC4)
1 szt. źródło napięcia referencyjnego typu MCP1501T-33E/SN 3,3 V, SOIC-8 (REF1)
4 szt. zielona dioda LED 3 mm lub M3216/1206 SMD (LED1-LED4)
1 szt. tranzystor NPN, typu BC817 50 V 800 mA SOT-23 (Q1)

Kondensatory (wszystkie 10 V+, X7R lub ceramiczne C0G, SMD M3216/1206 lub M2012/0805)
4 szt. 1μF 5 szt. 100 nF 1 szt. 1 nF 2szt. 15 pF

Rezystory (wszystkie M3216/1206 1% 1/8 W, z wyjątkiem wymienionych)
1 szt. 15 kΩ 12 szt. 10 kΩ 2 szt. 1 kΩ 1 szt. 330 Ω 2 szt. 100 Ω 2 szt. 33 Ω 0,1%

eprasa.pl bfa7a1d357



Rysunek 1. Większość komponentów użytych w testerze służy do generowania i monitorowania napięcia przemiennego. Są to układy IC1, IC2 i IC4. Układ IC1 i związane z nim komponenty tworzą oscylator RC, a elementy związane z układem IC2 kontrolują częstotliwość i amplitudę sygnału wyjściowego. Odbywa się to pod nadzorem mikrokontrolera IC4. Układ ten wykorzystuje precyzyjne napięcie stałe o wartości 3,3 V stanowiące referencję dla przetwornika ADC próbkującego sygnał wyjściowy. Elementami regulacyjnymi są potencjometry cyfrowe zawarte w układzie IC2. Celem jest uzyskanie napięcia przemiennego o skutecznej wartości napięcia równej 1 V. Podobnie, częstotliwość sygnału wyjściowego jest ustalana z wykorzystaniem referencyjnego rezonatora kwarcowego X1 o częstotliwości 16 MHz

eprasa.pl bfa7a1d357

100 nF. Wszystkie analogowe piny masy (1, 5, 17 i 21) oraz pin masy układów cyfrowych (9) są połączone z masą urządzenia. Piny $\overline{SHDN}$ (wyłączenie) i $\overline{RS}$ (reset) są spolaryzowane napięciem o wartości 5 V podawanym przez rezystory podciągające o wartości równej 10 kΩ. Dzięki temu układ IC2 może działać w sposób ciągły.

Wzmacniacz operacyjny IC1 jest zasilany napięciem o wartości 3,3 V, tak więc poziom AREF równy 1,65 V mieści się dokładnie w połowie jego zakresu dynamiki. Jest to jeden z powodów, dla których zastosowany został układ referencyjny MCP1501, mający obciążalność wystarczającą do zasilania wybranych komponentów testera.

Taki a nie inny wybór napięcia zasilającego jest krytyczny, ponieważ jedno z wyjść układu IC1 nasyca się w każdym cyklu przebiegu wyjściowego. Gdyby ten układ był zasilany napięciem o wartości 5 V, nasycenie przebiegałoby różnie w górnych i w dolnych fragmentach przebiegu wyjściowego, co z kolei prowadziłoby do powstawania wielu częstotliwości harmonicznych w widmie przebiegu wyjściowego (50/60/100 Hz).

Oscylator RC działa z wykorzystaniem filtrów, powodujących przesunięcie fazowe sygnału o 180°, po czym następuje inwersja sygnału, równoważna przesunięciu fazowemu o kolejne 180°. Ponieważ przesunięcie fazowe filtra RC zależy od częstotliwości, będzie on miał opóźnienie wynoszące dokładnie 360° tylko dla jednej konkretnej częstotliwości. Składowe sygnału o innych częstotliwościach są tłumione.

Elementy RC silnie tłumią generowany sygnał, więc jedna z połówek wzmacniacza operacyjnego IC1 zapewnia wzmocnienie potrzebne do pokrycia tych strat, druga połówka zapewnia inwersję fazy.

Generator RC z przesunięciem fazowym

Układ składa się z trzech kondensatorów o pojemności 1 μF każdy i trzech rezystorów, utworzonych z cyfrowych potencjometrów znajdujących się wewnątrz układu IC2. Rezystancja cyfrowych potencjometrów może zmieniać swoją wartość niemal od zera, do około 10 kΩ.

Jeśli oscylator działa zgodnie z założeniami i ma ustawioną częstotliwość pracy równą 50 Hz, na pinie 1 układu IC1 pojawia się czysty sygnał o częstotliwości 50 Hz i wartości skutecznej równej 1 V. Odpowiada to wartości międzyszczytowej równej 2,8 V.

Odwracający wzmacniacz operacyjny IC1b ma wzmocnienie równe 1,5. Oczekuje się więc, że na jego wyjściu, czyli na pinie 7 pojawi się odwrócony sygnał z pinu 1 układu IC1a, o wartości międzyszczytowej równej 4,2 V. Nie jest to możliwe, ponieważ układ IC1 jest zasilany napięciem o wartości 3,3 V i jego obwód wyjściowy ulega nasyceniu.

Rysunek 2. Analiza widmowa sygnału wyjściowego wykazuje, że najsilniejsza, trzecia harmoniczna sygnału wyjściowego ma poziom niższy o 40 dB w stosunku do składowej głównej. Prążek widoczny przy 0 Hz jest spowodowany składową stałą w sygnale wyjściowym i użyciem oscyloskopu z wejściem niesymetrycznym, zamiast odniesienia do punktu testowego 1,65 V na TP2

Przebieg wyjściowy ma częstotliwość 50 Hz i kształt sinusoidy z obciętymi wierzchołkami, więc w swoim widmie zawiera nieparzyste harmoniczne, z których pierwsza ma częstotliwość 150 Hz. Na **rysunku 2** przedstawione jest widmo sygnału wyjściowego oscylatora przy częstotliwości 50 Hz. Widać, że jedynym znaczącym składnikiem zakłócającym jest trzecia harmoniczna o częstotliwości 150 Hz, a jej poziom jest niższy o ponad 40 dB w stosunku do sygnału o częstotliwości podstawowej.

Należy zauważyć, że nawet w sytuacji gdy wartość skuteczna sygnału na pinie 1 układu IC1 spadnie do około 0,8 V lub wzrośnie powyżej 1 V, z powodu efektu nasycenia sygnał na wyjściu układu IC1a będzie utrzymywał ustaloną wartość międzyszczytową, równą 3,3 V.

Wzmocniony sygnał z wyjścia układu IC1b (pin 7) przechodzi przez trzystopniowy filtr dolnoprzepustowy RC. Jeśli potencjometry cyfrowe są ustawione na rezystancję około 5,5 kΩ, każdy stopień spowoduje opóźnienie składowej podstawowej widma o częstotliwości 50 Hz o 60° i zmniejszenie jej amplitudy o połowę.

Inne składowe, o wyższych częstotliwościach, będą bardziej opóźnione i jeszcze bardziej stłumione. Na przykład, w każdym stopniu filtracji trzecia harmoniczna sygnału o częstotliwości 150 Hz zostanie przesunięta w fazie o około 80° i stłumiona pięciokrotnie.

Te trzy etapy filtracji w pewnym stopniu na siebie oddziałują, więc prosta analiza matematyczna każdego z nich z osobna nie do końca odpowiada temu, co dzieje się po ich połączeniu. Przed zbudowaniem prototypu musieliśmy przeprowadzić symulację całego obwodu, aby określić wymagane wartości komponentów.

W rezultacie do pinu 3 układu IC1a jest doprowadzany relatywnie czysty sygnał o częstotliwości 50 Hz, ale o małej amplitudzie, zachowującej stałą wartość ze względu na zjawisko nasycenia na wyjściu układu IC1b.

Układ IC1a działa jako wzmacniacz nieodwracający ze wzmocnieniem zależnym od stosunku rezystancji rezystora 330 Ω i czwartego potencjometru w układzie IC2. Wzmocnienie jest regulowane tak, by sygnałowi stłumionemu przez filtr RC przywrócić skuteczną wartość napięcia równą 1 V. Tak uformowany sygnał jest doprowadzony do TP1 przez rezystor szeregowy o rezystancji równej 100 Ω, zapewniający ochronę układu IC1a przed zewnętrznymi zwarciami.

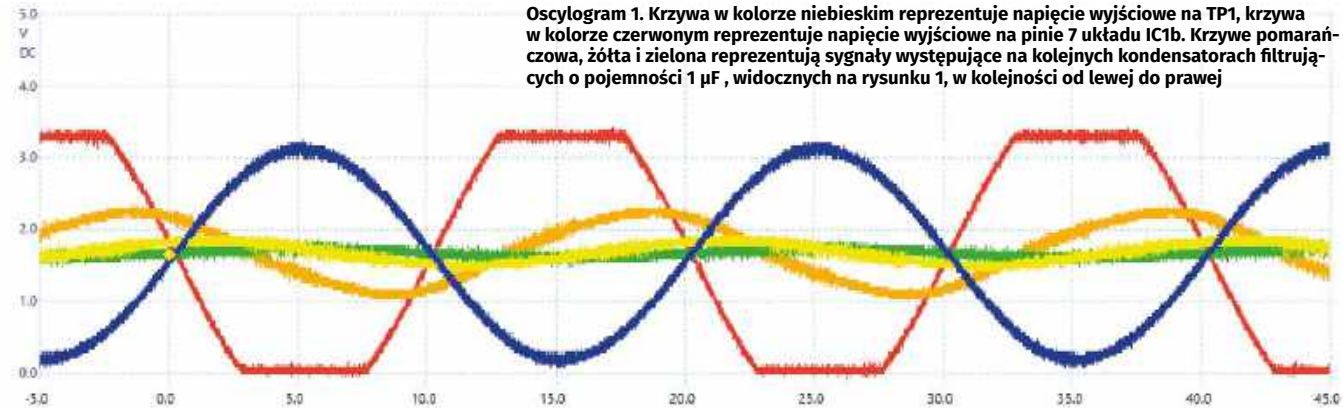
Pomiaru napięcia przemiennego dokonuje się między końcówkami TP1 i TP2. Ponieważ do TP2 jest doprowadzone stałe napięcie o wartości 1,65 V, amplituda przebiegu sinusoidalnego może być mierzona bez przesunięcia stałoprądowego.

Częstotliwość sygnału można ustalić poprzez zmianę rezystancji trzech potencjometrów znajdujących się wewnątrz układu IC2. Na podobnej zasadzie amplituda sygnału może być regulowana poprzez zmianę rezystancji czwartego potencjometru.

Przebiegi wynikowe są pokazane na **oscylogramie 1**. Niebieska linia reprezentuje podstawowy sygnał wyjściowy, czerwona linia przedstawia przebieg na pinie 7 układu IC1b. Należy zauważyć, że jest on odwrócony w fazie w stosunku do przebiegu niebieskiego.

Linie pomarańczowa, żółta i zielona przedstawiają przebiegi po kolejnych stopniach filtracji RC. Jak widać, przebiegi

eprasa.pl bfa7a1d357



Oscylogram 1. Krzywa w kolorze niebieskim reprezentuje napięcie wyjściowe na TP1, krzywa w kolorze czerwonym reprezentuje napięcie wyjściowe na pinie 7 układu IC1b. Krzywe pomarańczowa, żółta i zielona reprezentują sygnały występujące na kolejnych kondensatorach filtrujących o pojemności 1 μF , widocznych na rysunku 1, w kolejności od lewej do prawej

te są przesunięte w fazie i silnie stłumione. Przebieg oznaczony kolorem zielonym jest wzmacniany w takim stopniu, by powstał sygnał końcowy, oznaczony kolorem niebieskim.

Układ sterujący

Układ IC4 to mikrokontroler PIC16F1459, który między innymi reguluje i monitoruje przemienne napięcie referencyjne pod kątem jego precyzji. Układ jest zasilany napięciem o wartości 5 V pobieranym ze złącza USB. Zasilanie filtrowane jest kondensatorem o pojemności 100 nF. Rezystor podciągający o wartości 10 kΩ włączony między piny 1 i 4 polaryzuje pin $\overline{MCLR}$ by zapewnić nieprzerwaną pracę układu.

By mikrokontroler IC4 mógł spełnić swoje zadanie, musi mieć dostarczone napięcie odniesienia oraz dysponować wzorcem częstotliwości. Zwora założona na złączu JP1 umożliwia podłączenie szyny VREF1 do wejścia AREF mikrokontrolera (pin 16). Ze względu na to, że pin 16 pełni także inną funkcję, związaną z programowaniem mikrokontrolera, użycie zwory jest niezbędne. Podczas programowania pin 16 mikrokontrolera jest łączony z pinem PGD złącza CON2. Odpowiednie ustawienia zwory są oznaczone jako „Run" i „Prog".

Pozostałe sygnały niezbędne do programowania układu IC4, czyli $\overline{MCLR}$, PCG a także masa i zasilanie napięciem o wartości 5 V wyprowadzone zostały na złącze CON2.

Piny 13 i 14 są połączone odpowiednio z TP1 i szyną AREF na której panuje napięcie o wartości 1,65 V. Występujące tam przebiegi są monitorowane z użyciem przetwornika ADC znajdującym się w mikrokontrolerze IC4.

Rezonator kwarcowy o częstotliwości 16 MHz, podłączony do pinów 2 i 3 układu IC4 (CLKIN i CLKOUT) stanowi źródło częstotliwości referencyjnej. Dwa kondensatory o pojemności równej 15 pF łączące oba wyprowadzenia rezonatora kwarcowego z masą układu są niezbędne do poprawnej pracy układu.

Trzy diody świecące, LED1…LED3, są połączone z układem IC4 za pośrednictwem rezystorów szeregowych o rezystancji równej 10 kΩ. Katody diod są połączone z masą układu, więc diody świecą, gdy na pinach 8…10 panuje wysoki stan logiczny.

Z pinami 11 i 12 układu IC4 są połączone dwa przyciski, S1 i S2. Właściwe napięcie na rozwartych przyciskach jest zapewniane przez wewnętrzne rezystory podciągające w układzie IC4. Wspomniane diody świecące i przyciski stanowią podstawowy interfejs do obsługi testera multimetrów.

Sterowanie potencjometrami cyfrowymi zawartymi w układzie IC2 odbywa się za pośrednictwem interfejsu szeregowego SPI. W tym celu piny 5, 6 i 7 układu IC4 są połączone z pinami 14, 12 i 11 układu IC2. Te połączenia pełnią rolę szyn, odpowiednio SCK (zegar), SDI (dane) i $\overline{CS}$ (wybór układu).

Ponieważ układ IC2 wykorzystuje nietypowy 10-bitowy interfejs, a wysoka szybkość transmisji danych nie jest potrzebna, polecenia SPI są wysyłane za pośrednictwem operacji bitowych na pinach GPI/O. Pozwoliło to uprościć rozkład ścieżek na płytce PCB, ponieważ nie musieliśmy używać wyznaczonych pinów SPI, lecz zastąpiliśmy je wybranymi pinami GPI/O.

Piny 17, 18 i 19 są powiązane z interfejsem USB układu IC4, więc piny 18 i 19 są podłączone do gniazda CON1, a pin 17 jest zasilany napięciem 3,3 V z szyny REF1. W ten sposób tester multimetrów może być sterowany i monitorowany po podłączeniu do portu USB komputera.

Mikrokontroler PIC16F1459 został wybrany ze względu na to, że nie mogliśmy zrealizować niezbędnych operacji na mniejszym, 14-pinowym układzie. Ponadto obecność interfejsu USB pozwoliła na realizację kilku innych, interesujących i cennych funkcji.

Na koniec przechodzimy do konstrukcji obwodów zasilających. Wybraliśmy zasilanie z interfejsu USB ze względu na jego wszechobecność. Ponadto zasilanie napięciem 5 V zapewnia większy margines dynamiki w porównaniu z ogniwem pastylkowym o napięciu 3 V użytym w poprzednim projekcie. W przypadku użycia ogniwa o napięciu 3 V niemożliwe byłoby łatwe wytworzenie napięcia referencyjnego o wartości 3,3 V i uzyskanie prądu referencyjnego o odpowiednio dużym natężeniu.

Dioda LED4 jest podłączona do głównej szyny zasilającej poprzez rezystor szeregowy o rezystancji 10 kΩ i sygnalizuje obecność napięcia zasilającego o wartości 5 V. W układzie nie został zastosowany regulator napięcia, przyjęto założenie, że interfejs USB jest źródłem o nominalnym zakresie napięć mieszczącym się w granicach 4,5…5,5 V. Wszystkie komponenty zasilane z szyny 5 V mogą sobie z tym poradzić.

Oprogramowanie układowe

Program działający na mikrokontrolerze IC4 ma trzy główne zadania. Pierwszym z nich jest odczyt stanu przycisków S1 i S2 oraz sterowanie świeceniem diod LED1-LED3. Stanowi to podstawowy interfejs użytkownika.

Drugim zadaniem jest obsługa interfejsu USB. Po podłączeniu testera do komputera pojawia się on w systemie jako wirtualny port szeregowy. Naciskanie klawiszy na klawiaturze komputera jest traktowane i obsługiwane, podobnie jak naciskanie przycisków na płytce PCB, ale z dodatkowymi funkcjami.

Dostępna jest również opcja transmisji aktualnych statusów układu z użyciem portu szeregowego. Dzięki temu tester multimetrów może dostarczać informacje bardziej szczegółowe niż te, które są wyświetlane za pomocą diod LED.

Układ IC4 jest również odpowiedzialny za kontrolę i regulację przemiennego napięcia referencyjnego. Nie ma on wpływu na stałe napięcia odniesienia, aczkolwiek ich używa do kalibracji tego przebiegu. Rezonator kwarcowy sterujący układem IC4 zapewnia wysoką dokładność wszystkich

eprasa.pl bfa7a1d357

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

pomiarów związanych z czasem, w szczególności pomiaru częstotliwości.

Mikrokontroler próbkuje przebieg napięcia przemiennego i sprawdza jego okres (a tym samym częstotliwość), amplitudę, wartość międzyszczytową i średnią amplitudę bezwzględną (w odniesieniu do punktu środkowego o napięciu 1,65 V).

Ponieważ napięcie referencyjne o wartości 3,3 V jest wykorzystywane jako punkt odniesienia dla przetwornika ADC, wartość międzyszczytowa i średnia przebiegu wyjściowego jest znana i kontrolowana przez mikrokontroler.

Próbkowanie sygnału działa w następujący sposób. Przerwanie pochodzące z jednego z układów czasowych (timerów) jest inicjowane 6000 razy na sekundę. W tym momencie pobierana jest próbka sygnału przemiennego. Częstotliwość przerwań została dobrana tak, aby umożliwić łatwy podział liczb całkowitych 50 Hz, 60 Hz i 100 Hz w tym timerze. Nie jest to krytyczne, ale upraszcza dalsze obliczenia.

Pobieranych jest około 240 próbek, co odpowiada dwóm pełnym cyklom przebiegu wyjściowego przy częstotliwości 50 Hz. W ten sposób w każdym zestawie próbek wystąpią co najmniej dwa narastające przejścia przez zero. To są punkty, między którymi mierzony jest okres przebiegu wyjściowego.

Pomimo że liczba 120 próbek przy częstotliwości 50 Hz nie wydaje się zadowalająca, oprogramowanie układowe interpoluje miejsca przejścia przez zero z dokładnością do 1/16 próbki. Odbywa się to poprzez obliczenie, o ile próbki przed i po przejściu przez zero znajdują się powyżej lub poniżej punktu zerowego. W ten sposób, dla sygnału o częstotliwości 100 Hz okres przebiegu można zmierzyć z rozdzielczością około jednej części na 960 Hz lub nawet lepszą dla niższych częstotliwości.

Próbkowanie musi odbywać się bez przerw, więc próbki są regularnie pobierane, a następnie przetwarzane. W razie potrzeby dokonywane są korekty, po czym następuje powrót do próbkowania. Biorąc pod uwagę zarówno amplitudę, wartość międzyszczytową, jak i wartość średnią sygnału, tester może potwierdzić, że kształt fali jest sinusoidalny, ponieważ przebieg o innym kształcie nie byłby w stanie spełnić tych wymagań.

Regulacja oscylatora

Każdy z czterech potencjometrów cyfrowych zawartych w układzie IC2 ma 256 kroków regulacji. To stanowi ograniczenie dla dokładności regulacji amplitudy do 0,5%. W praktyce występują niewielkie odchyłki, więc średnia z kilku cykli jest bliższa wartości docelowej, i będzie tak dokładna, jak dokładne jest stałe napięcie referencyjne o wartości 3,3 V.

Częstotliwość może być kontrolowana dokładniej niż amplituda, ponieważ w grę wchodzą trzy potencjometry. Każdy z nich jest ustawiany osobno, co daje prawie trzy razy więcej kroków regulacji.

Ta rozdzielczość skutkuje krokami od około 0,1 Hz przy częstotliwości 50 Hz do 0,3 Hz przy częstotliwości 100 Hz, czyli około 0,3% w zakresie roboczym. Podobnie jak w przypadku amplitudy, odchyłki występujące w kilku cyklach poprawiają długoterminową średnią dokładność częstotliwości.

O szczegółach działania interfejsu USB wspomnimy nieco później. Zapewnia on ręczny tryb pracy, który umożliwia dwukierunkowe sterowanie potencjometrami cyfrowymi.

Budowa

Tester multimetrów został zmontowany na małej płytce drukowanej o wymiarach 65×58,5 mm, oznaczonej kodem 04107221 – patrz **rysunek 3**. Jest ona wypełniona głównie elementami do montażu powierzchniowego, chociaż wszystkie z nich są dość duże i łatwe do przylutowania. Jedyną częścią o mniejszym rozstawie pinów niż 1,27 mm jest gniazdo USB, a wszystkie elementy pasywne mają rozmiar 1206, czyli około 3,2×1,6 mm.

Zakładamy, że posiadasz lutownicę, plecionkę lutowniczą, topnik, pęsetę oraz pozostały osprzęt niezbędny do pracy z tego rodzaju elementami. Podczas pracy z topnikiem dobrym zwyczajem jest stosowanie pochłaniacza oparów.

Zacznij od zamontowania gniazda USB CON1. Nałóż topnik na pady na płytce drukowanej i włóż kołki pozycjonujące gniazdo do ich otworów. Wyczyść grot lutownicy i pobierz nieco świeżej cyny. Ostrożnie przyłóż grot do każdej z końcówek po kolei, nie dotykając metalowej obudowy.

Po przylutowaniu każdej z końcówek użyj lupy, aby sprawdzić, czy nie ma mostków lutowniczych, a jeśli są, użyj plecionki lutowniczej, aby je usunąć. Jeśli mostków nie ma, usuń pozostałości topnika za pomocą alkoholu lub innego środka do zmywania topnika.

Jeśli jednak znajdziesz mostek lutowniczy, nałóż świeży topnik na wyprowadzenia i dociśnij plecionkę lutowniczą do mostka za pomocą rozgrzanej lutownicy, a następnie ostrożnie odciągnij grot lutownicy wraz z plecionką od płytki. Gdy wyprowadzenia sygnałowe będą wyglądać schludnie, przylutuj większe elementy obudowy, w razie potrzeby zwiększając temperaturę lutownicy.

Następnie zamontuj układy scalone, w tym REF1. Są to elementy SOIC (small outline IC) o różnych rozmiarach, jednak nie należą do nich REF1, IC1 i IC3, ponieważ mają tylko osiem pinów. Należy również pamiętać, że IC3 i REF1 są ustawione w przeciwnych kierunkach. Sprawdź oznaczenia elementów na liście materiałowej oraz na warstwie opisowej PCB, upewniając się, że w każdym przypadku pin 1 jest prawidłowo zorientowany.

Dla każdej części nałóż topnik, a następnie przylutuj jeden pin, upewniając się, że orientacja jest prawidłowa. W tym celu sprawdź, czy oznaczenia wskazujące pierwszy pin, bądź kierunek montażu na układach scalonych znajdują się w tej samej lokalizacji co kropki na warstwie opisowej PCB. Jeśli następnie wszystkie pady są wyśrodkowane względem padów, przylutuj je, w przeciwnym razie skoryguj ustawienie, ponownie rozgrzewając przylutowane wcześniej wyprowadzenie.

Podobnie jak w przypadku CON1, sprawdź mostki lutownicze i usuń je w razie potrzeby. Zwykle łatwiej jest przylutować wszystkie piny przed usunięciem mostków.

Element Q1 jest jedynym tranzystorem na płytce i powinien być zamontowany tak, jak pokazano na zdjęciach. Jest to najmniejszy element, więc należy uważać, aby go nie zgubić. Ponieważ jednak jego wyprowadzenia są szeroko rozstawione, jego lutowanie nie powinno być trudne.

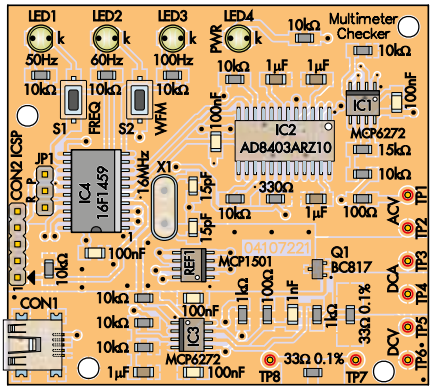
Następnie należy zamontować kondensatory. Ich wartości nie są oznaczone na obudowach, więc dla uniknięcia pomyłki należy w danej chwili pracować tylko z jedną z wartością. Lokalizację kondensatorów o różnych wartościach pokazano na rysunku 3.

Najpierw przylutuj kondensator od jednej strony, sprawdź czy jest równo ułożony i przylega do płytki a następnie przylutuj go również z drugiej strony. W razie potrzeby odśwież lutowanie pierwszej strony. Pamiętaj, aby dodawać topnik do padów PCB, regularnie czyścić grot lutownicy, a następnie dodawać świeżą cynę.

Rezystory powinny być oznaczone kodami reprezentującymi ich wartości, co widać na rysunku 3 oraz na warstwie opisowej PCB. Wszystkie rezystory mają ten sam rozmiar.

Dla rezystorów referencyjnych o rezystancji 33 Ω zaprojektowane zostały większe pola lutownicze, na wypadek gdyby okazało się, że niedostępne są elementy i lepszej tolerancji, w rozmiarach 1206. Nie należy martwić się gdy posiadane elementy są mniejsze od proponowanych.

eprasa.pl bfa7a1d357



Rysunek 3. Większość komponentów można łatwo przylutować. Problemem może być gniazdo USB mające niewielki odstęp między pinami. Podczas montażu należy zwrócić uwagę na właściwe ustawienie układów scalonych, tak żeby ich piny numer 1 znajdowały się we właściwych miejscach. Podczas montażu należy zadbać o to, by wszystkie piny zostały prawidłowo przylutowane, i że nie ma między nimi mostków lutowniczych

Teraz zamontuj cztery diody LED. Wszystkie znajdują się w jednym rogu płytki drukowanej i mają katody po prawej stronie, zgodnie z symbolem katody na warstwie opisowej PCB. Można użyć diod LED o rozmiarach 1206 do montażu powierzchniowego lub diod LED o średnicy 3 mm do montażu przewlekanego.

W przypadku diod LED do montażu przewlekanego, wyprowadzenie anody jest zwykle dłuższe. Jeśli używasz diod LED do montażu SMD, powinny one mieć zielone oznaczenia katody. Ich działanie można łatwo sprawdzić za pomocą multimetru cyfrowego ustawionego na tryb testowania diod.

Przytrzymaj sondy pomiarowe po obu stronach diody LED. Jeśli dioda LED świeci, czerwony przewód wskazuje anodę, a czarny katodę.

W pobliżu diod LED są umieszczone dwa przyciski. Zamontuj je w taki sam sposób, jak inne komponenty z dwoma wyprowadzeniami. Na tym kończą się elementy montowane powierzchniowo, więc można teraz usunąć pozostałości topnika.

Następnie zamontuj rezonator kwarcowy X1. Nie jest wymagana podkładka izolacyjna pod metalową obudową rezonatora, ponieważ pady montażowe na górnej warstwie PCB są pokryte maską lutowniczą. Jeśli jednak maska lutownicza w tym obszarze jest uszkodzona, należy dodać podkładkę lub zamontować rezonator ponad powierzchnią płytki drukowanej. Niezależnie od tego, po przylutowaniu należy sprawdzić, czy obudowa nie jest zwarta z żadnym z padów znajdujących się pod komponentem.

Jeśli masz wstępnie zaprogramowany mikrokontroler IC4, nie musisz montować złącza CON2 służącego do programowania mikrokontrolera w systemie. W takim przypadku można również zastąpić złącze JP1 zworą łączącą parę padów po stronie „R" zworki. Jeżeli jednak istnieje konieczność zaprogramowania mikrokontrolera, zamontuj oba złącza i początkowo umieść zworkę w pozycji „P".

Na płytce drukowanej testera znajduje się kilka otworów o średnicy 3 mm, pozwalających na montaż urządzenia w obudowie, z użyciem tulejek dystansowych.

Programowanie

Sklep internetowy Silicon Chip oferuje kompletny zestaw do samodzielnego złożenia dla tego projektu. Dostarczony w zestawie mikrokontroler jest wstępnie zaprogramowany i wówczas nie musisz martwić się o jego programowanie.

Jeśli jednak nie masz wstępnie zaprogramowanego mikrokontrolera, będziesz musiał go teraz zaprogramować.

Jeśli chcesz użyć programatora PICkit 3, PICkit 4 lub Snap podłączonego do złącza CON2 musisz posłużyć się aplikacją Microchip IPE, a następnie załadować plik 0410722a.hex.

Jeśli używasz programatora Snap, prawdopodobnie będziesz musiał sam zasilić płytkę; można to zrobić za pomocą przewodu USB podłączonego do złącza CON1. Po podłączeniu zasilania powinna się zaświecić dioda LED4. Jeśli to nie nastąpi sprawdź poprawność połączeń.

Po zaprogramowaniu mikrokontrolera odłącz programator i przełóż zworę na złączu JP1 z pozycji „P" (program) do pozycji „R" (run).

Testowanie

Po włączeniu zasilania urządzenie uruchomi się w trybie 50 Hz, a dioda LED1 powinna świecić światłem ciągłym. Naciśnięcie przycisku S1 spowoduje przełączanie między trybami 50 Hz, 60 Hz i 100 Hz. Diody LED1…LED3 zapalają się kolejno, aby wskazać bieżący tryb.

Naciśnięcie przycisku S2 powoduje przełączenie między przebiegiem domyślnym, czysto sinusoidalnym a przebiegami bardziej nasyconymi. Można to wykorzystać do sprawdzenia, jak multimetr reaguje na przebiegi prądu przemiennego, które nie mają czysto sinusoidalnego kształtu.

W kolejnych trybach pracy amplituda sygnału jest wysoka (powoduje przesterowanie i nasycenie wyjścia wzmacniacza operacyjnego). Diody LED wskazują te tryby poprzez szybkie migotanie. Ten kształt sygnału może być łatwiejszy do zweryfikowania podczas wstępnych testów, ponieważ nie zależy od prawidłowego wykrywania amplitudy sygnału przez mikrokontroler.

Jeśli diody LED migają powoli (raz na sekundę), oznacza to, że mikrokontroler nie był w stanie zweryfikować poprawności częstotliwości i amplitudy sygnału wyjściowego. Diody mogą migać przy zmianie trybu pracy, ale jeśli migają dłużej niż przez kilka sekund oznacza to jakiś problem.

W takim przypadku należy najpierw sprawdzić, czy zwora na złączu JP1 znajduje się w pozycji „run". W tej pozycji doprowadza ona napięcie referencyjne o wartości 3,3 V do mikrokontrolera, więc jeśli nadal znajduje się w pozycji programowania lub jej w ogóle nie ma, mikrokontroler nie może skorygować wartości napięcia przemiennego na wyjściu.

Jeśli masz oscyloskop, możesz sprawdzić, czy przebieg na TP1 ma kształt sinusoidy o wartości skutecznej 1 V, przesuniętej w górę o 1,65 V. Napięcie stałe można wyeliminować używając wejścia AC w oscyloskopie. Należy uważać, aby niechcący nie uziemić TP2, chyba że źródło zasilania kontrolera nie ma połączenia z masą innych urządzeń, na przykład pochodzi z powerbanku USB.

Kontrola USB

Podłączenie interfejsu USB do komputera dostarczy wielu nowych informacji, więc jeśli to możliwe, należy to zrobić, zwłaszcza w przypadku rozwiązywania zaistniałych problemów. Tester nie wymaga specjalnych sterowników USB, zwłaszcza w najnowszych systemach operacyjnych, a do komunikacji można użyć programu terminala szeregowego.

My zwykle używamy TeraTerm w systemie Windows, ale można również użyć programów takich jak Putty, Arduino Serial Monitor lub MMEdit. W systemie Linux jedną z opcji jest minicom.

Jeżeli używasz system Windows, w menedżerze urządzeń sprawdź, jaki port szeregowy został przydzielony testerowi i otwórz go za pomocą terminala. Nie będziesz musiał ustawiać szybkości transmisji, ponieważ jest to wirtualny port szeregowy.

Wpisanie „1", „2" lub „3" spowoduje zmianę częstotliwości na 50 Hz, 60 Hz lub 100 Hz. Diody LED zmieniają swój stan wraz ze zmianą trybu pracy. Naciśnięcie przycisku „S" wybiera tryb tworzenia fali sinusoidalnej, przycisk „R" ustawia tryb pracy z nasycaniem wyjścia.

Naciśnięcie klawisza spacji spowoduje wyświetlenie raportu o stanie układu w dwóch wierszach. Można to zobaczyć w górnej

eprasa.pl bfa7a1d357

części **zrzutu ekranu 1**. Pierwszy wiersz pokazuje bieżące zmienne sterujące, klawisz „A" kontroluje amplitudę, a klawisz „F" kontroluje częstotliwość. Drugi wiersz pokazuje aktualną amplitudę (V) i częstotliwość (F).

Naciśnięcie przycisku „M" ustawia tryb sterowania ręcznego. W tym przypadku wszystkie trzy diody LED zaświecą się razem, a parametry A i F można ustawić ręcznie. Parametr A jest zmieniany za pomocą klawiszy z kropką i przecinkiem. Zwiększenie parametru A spowoduje zmniejszenie amplitudy wyjściowej.

Gdy wartość skuteczna napięcia wyjściowego spadnie poniżej 0,8 V przebieg wyjściowy może całkowicie zaniknąć ze względu na zbyt małe wzmocnienie w pętli sprzężenia zwrotnego aby utrzymać oscylację. Jednak po wybraniu prawidłowego ustawienia nastąpi powrót do normalnego stanu pracy.

Częstotliwość przebiegu wyjściowego można zmieniać za pomocą przycisków „-" i „+" (lub „="). Parametr F może się zmieniać w zakresie od 1 do 750, co odpowiada częstotliwości od około 45 Hz do ponad 1 kHz. Tester nie jest w stanie dokładnie mierzyć częstotliwości powyżej 600 Hz, więc korzystanie z końca zakresu nie jest zalecane.

Z trybu sterowania ręcznego można wyjść przez naciśnięcie przycisku S1 na płycie lub wybranie trybu 50 Hz, 60 Hz lub 100 Hz z interfejsu USB za pomocą przycisków 1...3.

Wykorzystanie testera

Korzystając z testera można sprawdzić lub skalibrować multimetr w następujących trybach:

Pomiar napięcia stałego – ustaw odpowiedni zakres pomiarowy w multimetrze, podłącz sondy pomiarowe między TP5 i TP6, wskazania powinny wynieść 3,300 V.

Pomiar napięcia przemiennego – ustaw odpowiedni zakres pomiarowy w multimetrze, podłącz sondy pomiarowe między TP1 i TP2, wskazania powinny wynieść 1,00 V. Wynik pomiaru powinien być niezależny od tego, czy miernik jest typu True RMS czy nie, ponieważ generowana jest czysta fala sinusoidalna.

Pomiar prądu stałego – ustaw odpowiedni zakres pomiarowy w multimetrze, podłącz sondy pomiarowe między TP3 i TP4, wskazania powinny wynieść 100 mA. TP3 jest źródłem prądu, a TP4 jest obciążeniem, więc odczyt może być ujemny, jeśli czerwona sonda nie zostanie podłączona do TP3.

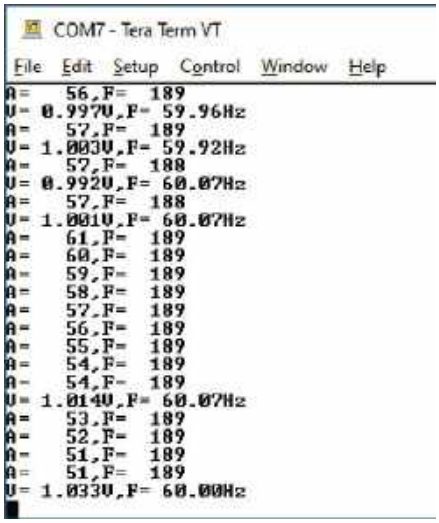
Pomiar prądu przemiennego – ustaw odpowiedni zakres pomiarowy w multimetrze, podłącz sondy pomiarowe między TP1 lub TP2 wraz z szeregowym rezystorem o rezystancji 100 Ω i tolerancji 1% lub 0,1%. Wskazania powinny wynieść 10 mA.

Pomiar rezystancji – ustaw odpowiedni zakres pomiarowy w multimetrze, podłącz sondy pomiarowe między TP7 i TP8. Wskazania powinny wynieść 33,00 Ω.

Pomiar częstotliwości – ustaw odpowiedni zakres pomiarowy w multimetrze, podłącz sondy pomiarowe między TP1 i TP2. Sprawdź, czy odczyt wynosi 50 Hz, 60 Hz lub 100 Hz.

Pomiar cyklu pracy – ustaw odpowiedni zakres pomiarowy w multimetrze, podłącz sondy pomiarowe między TP1 i TP2 i sprawdź, czy odczyt wynosi 50%. Aby uzyskać najlepsze wyniki, naciskaj przycisk S1 i poczekaj aż zaświeci się dioda LED3.

Odczyty w miernikach True RMS – naciśnij przycisk S2, aby aktywować tryb zmodyfikowanej fali sinusoidalnej i sprawdź odczyt napięcia przemiennego między końcówkami TP1 i TP2. Wyświetlana wartość skuteczna powinna przekraczać 1 V. W tym trybie nasz prototyp wytwarza napięcie o wartości skutecznej równej 1,27 V i wartości międzyszczytowej 3,3 V.



Zrzut ekranu 1. Typowe dane wyjściowe z portu szeregowego USB. Przedstawione tutaj dwuwierszowe raporty można wywołać naciskając klawisz spacji, podczas gdy jednowierszowe wpisy wynikają z ręcznych zmian ustawień amplitudy i częstotliwości. Zmiany trybu pracy nie generują żadnych danych wyjściowych, ale będą widoczne w zmianach świecenia diod LED na kontrolerze

Zawyżony odczyt sugeruje, że miernik reaguje na wartość średnią sygnału. Zaniżony odczyt sugeruje, że miernik reaguje na wartość szczytową sygnału. Multimetr reagujący na wartość szczytową będzie wskazywał około 1,17 V.

Podsumowanie

Chociaż naszym celem było dodanie funkcji wytwarzania napięcia przemiennego o kalibrowanej wartości i regulowanej częstotliwości do prostego projektu testera stałoprądowego, uważamy, że możliwość ręcznego sterowania działaniem źródła prądu przemiennego będzie przydatną funkcją, z której skorzysta wiele osób. Interfejs USB stwarza możliwość wykorzystania tego małego, poręcznego urządzenia na wiele sposobów.

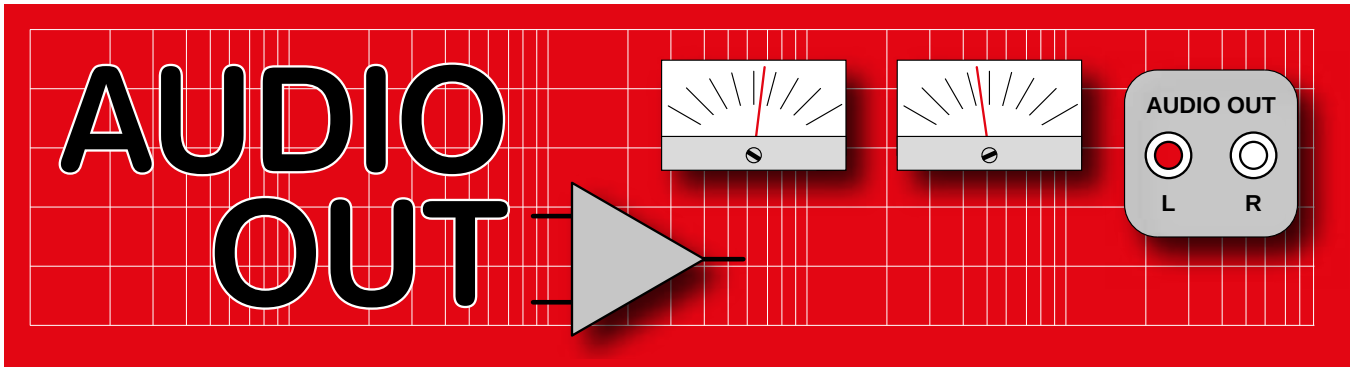
Rzeczą na którą należy uważać jest zasilanie testera z ładowarek USB wytwarzających zaszumione napięcie wyjściowe. Najlepszym rozwiązaniem jest zasilanie testera z banku energii USB. Port USB laptopa zwykle zapewnia wystarczająco czyste zasilanie, aby uzyskać stabilne odczyty z testera. ■

Tim Blythman

Pomiary TP1 i TP2 (ACV) za pomocą multimetru cyfrowego Agilent (obecnie Keysight) U1252A. Wynik mieści się w zakresie 0,03% oczekiwanej wartości, co pokazuje, że kalibracja miernika jest nadal dobra i potwierdzona jest dokładność działania testera

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

eprasa.pl bfa7a1d357



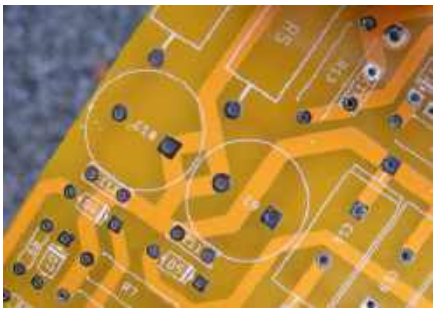
Wokoder analogowy, część 6

Uniwersalny zasilacz audio

Dźwięk urządzenia audio jest tak dobry, jak dobra jest jakość użytego w nim zasilacza. Często jednak do zasilania bierze się zwykły zasilacz wtyczkowy w obudowie z tworzywa. Tego typu zasilacz wytrzymuje zwykle 13 miesięcy – akurat tyle, by upłynął okres gwarancji. U nas w domu kilka takich zasilaczy „zjadł" pies (rysunek 1).

Rysunek 1. Dlaczego do sprzętu audio wysokiej jakości używa się często tandetnych zasilaczy wtyczkowych za 15 złotych? Nasz pies szybko kieruje je na wysypisko śmieci

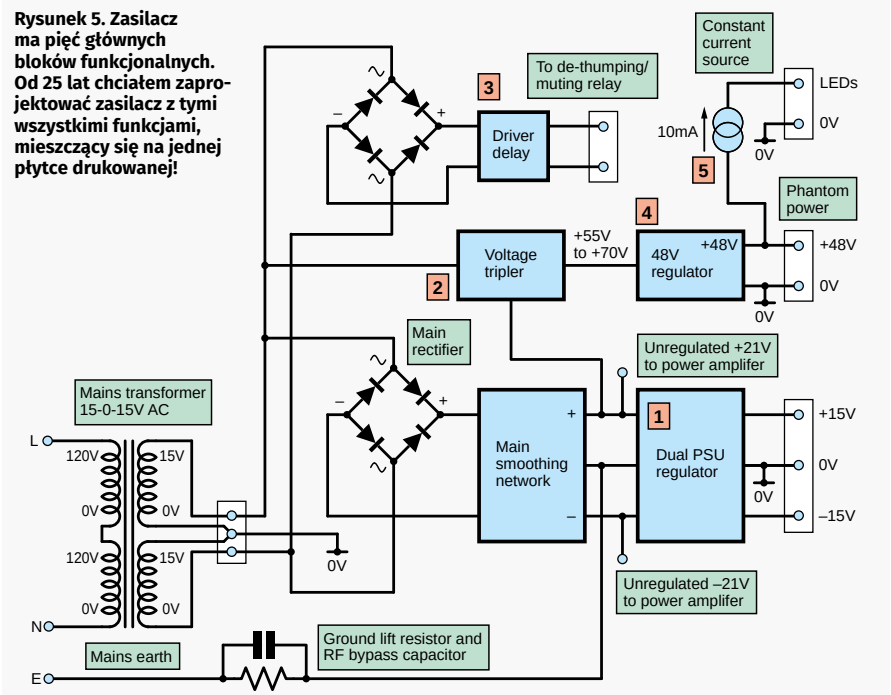
Rysunek 3. Złącza zasilania są zwykle niestandardowe. Znaleziony mikser ma właśnie takie nietypowe złącze. Wtyczka wymagała nieco poszukiwań – eBay jak zwykle zawiódł; na szczęście była w Mouserze



Rysunek 4. Niski poziom tętnień jest zapewniony przez staranne poprowadzenie ścieżek. Projektant płytek Mike Grindle zastosował tutaj specjalne łączenie mas „w gwiazdę", aby oddzielić masę prostownika, „czystą" masę zasilania i potencjał odniesienia 0 V

W elektroakustyce dźwięk pochodzi z przetworników, wzmacniaczy, procesorów sygnałowych i generatorów. Wszystkie one są zasilane z zasilacza. Ten blok jest zbyt często traktowany przez projektantów po macoszemu. Uważam, że musimy się zająć tematem zasilacza audio wysokiej jakości.

Rysunek 2. Uratowany ze śmietnika doskonały pulpit mikserski, niestety bez zasilacza



Rysunek 5. Zasilacz ma pięć głównych bloków funkcjonalnych. Od 25 lat chciałem zaprojektować zasilacz z tymi wszystkimi funkcjami, mieszczący się na jednej płytce drukowanej!

eprasa.pl bfa7a1d357

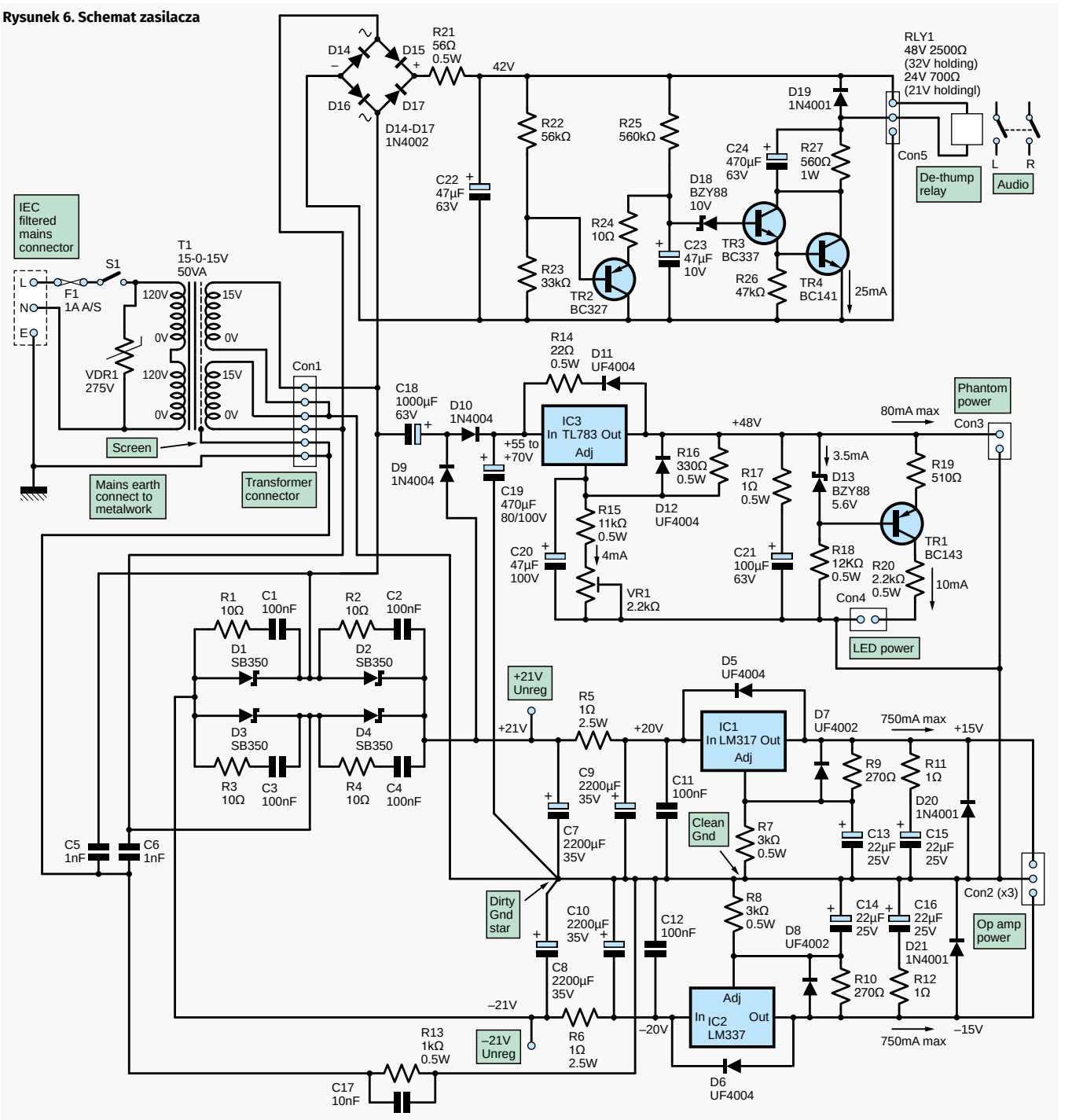
Niniejszym przedstawiam porządny zasilacz, zaprojektowany specjalnie dla wokodera analogowego z przedwzmacniaczem mikrofonowym, jednak nadaje się on również do mikserów, syntezatorów i innych systemów, gdzie może być ponad 40 wzmacniaczy operacyjnych i w których prąd zasilania jest wyższy niż zwykle (>250 mA). Wziąłem też pod uwagę, że często potrzebne jest wyjście +48 V dla mikrofonów z zasilaniem „fantom".

Rzecz jasna będziemy musieli zapewnić jak najniższy poziom tętnień i szumów. Nie zapominajmy, że niskie szumy to dla zasilaczy audio wymaganie numer jeden.

Opisywany zasilacz dostarcza napięcia ±15 V/750 mA oraz +48 V/80 mA. Zapewnia też wyjście zasilania stałoprądowego dla diod LED umieszczonych na panelu przednim oraz sterownik przekaźnika układu zapobiegania stukom w głośniku przy włączaniu. Wyprowadzono również linie niestabilizowanego zasilania ±21 V, do wykorzystania przez małe wzmacniacze mocy z głośniczkami.

Pomysł na projekt zasilacza zrodził się, gdy na śmietniku znalazłem pulpit mikserski (**rysunek 2**). Nigdzie nie natrafiłem na potrzebny do niego gotowy zasilacz z wielobiegunowym złączem zasilającym (**rysunek 3**). Tu dygresja – stosujcie zawsze do wejść urządzeń złącza męskie, a do wyjść – żeńskie. Wracając do zasilaczy: gotowe tego typu kosztują na eBayu ponad 1000 złotych (używane!), co było dla mnie szokujące. Stwierdziłem, że sensownie będzie taki zasilacz zaprojektować i zbudować samodzielnie.

Rysunek 6. Schemat zasilacza



eprasa.pl bfa7a1d357

Rysunek 7. Transformatory toroidalne nie grzeją się, emitują mniej pola magnetycznego i mniej brzęczą niż tradycyjne transformatory laminowane. Wyżej pokazano transformator nieobudowany. Ten pokazany niżej (z RS) ma nieco większe rozmiary, ale wytwarza mniejsze zakłócenia

Zasilanie „fantom"

W BBC używano specjalnie wykonanego transformatora toroidalnego, dostarczanego przez Canford Audio, z oddzielnym uzwojeniem dla bloku zasilania 48 V. Unikam stosowania drogich części wykonywanych na zamówienie, więc odpowiednie napięcie wytwarzam w układzie zasilanym standardowym transformatorem 15/0/15 V.

Szumy

Głównym źródłem tętnień elektrycznych w zasilaczach są zakłócenia powodowane przez prądy z prostownika ładujące kondensatory. Prądy te wywołują spadki napięć w połączeniach masy i w liniach zasilania. Można tego zjawiska łatwo uniknąć, jeśli zrealizujemy prawidłowe połączenie typu „gwiazda": doprowadzimy wyjście prostownika bezpośrednio do zacisków kondensatora wygładzającego i bezpośrednio z tych zacisków pobierzemy zasilanie do stabilizatora. Istotne jest, aby unikać prowadzenia linii ładujących kondensatory i zasilających pozostałą elektronikę tym samym fragmentem ścieżki na płytce drukowanej, ponieważ skończona rezystancja miedzi na płytce doprowadzi do nałożenia się impulsów ładowania kondensatora na napięcie wyjściowe. Mike Grindle, projektant płytki, dołożył wszelkich starań, aby ją pod tym względem zoptymalizować. Zwróć uwagę na układ ścieżek „w karo" w obszarze głównych kondensatorów wygładzających (C7 i C8), pokazany na **rysunku 4**. Ścieżki wysokoprądowe są tak szerokie, jak to możliwe.

Mało znany i uwzględniany jest fakt, że kondensatory odsprzęgające na wyjściu stabilizatora, mające zmniejszać tętnienia, mogą paradoksalnie je zwiększać z powodu rezonansu z impedancją wyjściową stabilizatora. Stabilizatory, podobnie jak wszystkie układy wzmacniaczy z ujemnym sprzężeniem zwrotnym, mają impedancję wyjściową, która rośnie wraz z częstotliwością – stanowią więc jakby indukcyjność. Jest to skutek spadku wzmocnienia w otwartej pętli z częstotliwością. W przypadku regulowanych stabilizatorów z serii LM3xx indukcyjność jest rzędu 40 μH. Podobne efekty – „dzwonienie" – powodują kondensatory tłumiące, włączane równolegle do diod prostownika. Jak na ironię, użycie wysokiej jakości kondensatorów o niskich stratach pogłębia te problemy, natomiast w przypadku stosowania tanich kondensatorów o wysokim ESR (równoważna rezystancja szeregowa) „dzwonienie" zwykle nie występuje. Nie jest jednak dobrą praktyką zdawanie się na taką czy inną wartość parametru pasożytniczego. Znacznie lepszym środkiem jest dołączenie w szereg z kondensatorem określonego rezystora tłumiącego – zwykle 0,6 Ω...10 Ω.

Opis układu

Rysunek 5 pokazuje podstawowe bloki zasilacza. Omówię każdy z nich, analizując różne aspekty projektu. Pełny schemat układu znajduje się na **rysunku 6**.

Transformator

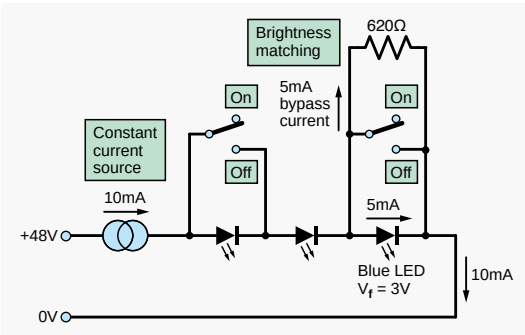
Dla uzyskania napięć stałych ±15 V, służących do zasilania wzmacniaczy operacyjnych, wystarczający jest transformator mający dwa uzwojenia po 15 V napięcia zmiennego, z odczepem pośrodku (15–0–15 V). Jeśli wymagane jest wyższe napięcie, transformator można zmienić na dający 18–0–18 V lub 20–0–20 V. Najlepszymi transformatorami do zasilania urządzeń audio są hermetyczne, magnetycznie ekranowane toroidy z ekranem między uzwojeniem pierwotnym i wtórnym. W Wielkiej Brytanii ich producentem jest Avel Lindberg. Czasami trafiają na rynek pod marką RS, patrz **rysunek 7**. Chętnie kupuję je na bazarach z elektroniką, gdzie czasem pojawiają się po kilka funtów. Wydają się być niezniszczalne, więc odzyskuję je również ze sprzętu złomowanego. Ich niski poziom zakłóceń doceniają chyba tylko audiofile, więc krótkofalowcy biorą za nie niewielkie pieniądze. Ekran transformatora musi być dołączony do uziemienia sieci 230 V; tylko wtedy zakłócenia radiowe zostaną skutecznie stłumione. Na płytce drukowanej znajduje się zacisk do zrealizowania tego połączenia. Jeśli jest użyty transformator bez ekranu, zadanie tłumienia zakłóceń radiowych spełniają – niemal równie skutecznie – kondensatory C5 i C6 między uzwojeniami wtórnymi a uziemieniem. Muszą one mieć małe wartości (<10 nF), w przeciwnym razie będą powodować tętnienia o charakterze impulsowym.

Prostownik

Powszechnie wiadomo, że gdy diody prostownicze wyłączają się po cyklu przewodzenia, wytwarzają dużo zakłóceń o wysokiej częstotliwości. Zakłócenia te są zwykle tłumione przez kondensatory o pojemności 10 nF...100 nF (C1...C4), dołączone równolegle do każdej diody w mostku prostowniczym (D1...D4). Aby zapewnić skuteczne tłumienie i zapobiec „dzwonieniu", szeregowo z kondensatorami są włączone rezystory tłumiące (R1...R4). W pozostałych prostownikach układu płyną znacznie niższe prądy, więc tam kondensatory nie są potrzebne. Główny prostownik zawiera diody Schottky'ego ze względu na ich niskie napięcie przewodzenia. Jest to konieczne w przypadku użycia transformatora 15–0–15 V.

Zasilanie wzmacniacza operacyjnego

Ten blok wykorzystuje standardową parę stabilizatorów LM317/LM337. Są one niskoszumne i tanie. Jedynym problemem jest ich wysokie ograniczenie prądowe wynoszące 1,5 A. W praktyce zwykle wyłączają się termicznie przed osiągnięciem tego limitu. Aby zapewnić dobrą dokładność napięcia wyjściowego, rezystory dzielników R7, R8, R9 i R10 muszą mieć dość niskie wartości rezystancji (poniżej 4,7 kΩ). Ma to na celu uniezależnienie się od niewielkiego, ale zmieniającego się prądu wypływającego z pinu regulacyjnego stabilizatora. Zmiany tego prądu mogłyby wpływać na napięcie wyjściowe. W karcie katalogowej wartości tych rezystorów są często o połowę mniejsze niż te, których użyłem, co ma na celu zapewnienie przepływu wymaganego prądu obciążenia (większość stabilizatorów wymaga, aby prąd



Rysunek 8. Diody LED mogą być wszystkie połączone szeregowo i zasilane przez źródło stałoprądowe. Jeśli trzeba którąś wyłączyć, wystarczy ją zewrzeć przełącznikiem

eprasa.pl bfa7a1d357

Rysunek 9. Hermetycznie zamknięte przekaźniki 4190 firmy STC do przełączania sygnałów audio. Mają sprawdzoną żywotność około 30 lat. Takie przekaźniki można rozpoznać po szklanych przepustach wokół styków

wyjściowy wynosił nie mniej niż określone minimum). Do stabilizatorów dołączone są standardowe diody zabezpieczające przed skutkami zwarć na wejściach i wyjściach (D5...D8). Diody D20 i D21 mają za zadanie zapobiegać problemom przy włączeniu, jeśli wystąpi chwilowe zwarcie między liniami plus i minus. Takie zwarcie wywołują kondensatory odsprzęgające dołączone między liniami zasilania, często używane w układach audio.

Potrajacz napięcia do zasilania „fantom”

Aby wytworzyć stabilizowane napięcie 48 V dla zasilania „fantom”, potrzebne jest nieregulowane napięcie o wartości (z uwzględnieniem odpowiedniego zapasu) co najmniej 55 V. Rzecz jasna nie możemy takiego napięcia uzyskać z wyjścia transformatora 15 V bez jakichś sztuczek. Używam więc układu podwajacza napięcia, składającego się z elementów C18, D9, D10 i C19. Tak naprawdę jest to potrajacz, ponieważ anoda D9 jest podłączona do linii +21 V, a nie do masy. Układ zapewnia pożądane napięcie z dużym zapasem. Jeśli napięcie na C19 będzie zbyt duże (>70 V), bo np. transformator daje wyższe napięcie, anodę D9 powinno się dołączyć do masy. Aby impulsy ładowania/rozładowania nie powodowały tętnień, masa podwajacza napięcia musi być dołączona do punktu „brudnej masy” (patrz rysunek 6). Natomiast masa stabilizatora 48 V musi być dołączona do innego punktu – masy zasilań ±15 V wzmacniacza operacyjnego (patrz rysunek 6), ponieważ jest to „czysta” masa odniesienia.

Texas Instruments wznowił niedawno produkcję TL783 – uniwersalnego stabilizatora wyższych napięć. To dobra wiadomość dla audiofilów, bo jest to wymarzony układ do wytwarzania zasilania „fantom”. Przedtem nie było alternatywy poza skomplikowanymi układami z LM317 lub jeszcze bardziej złożonymi układami dyskretnymi. W TL783 tranzystorem szeregowym jest MOSFET, więc jest to układ dość odporny na wysoką temperaturę.

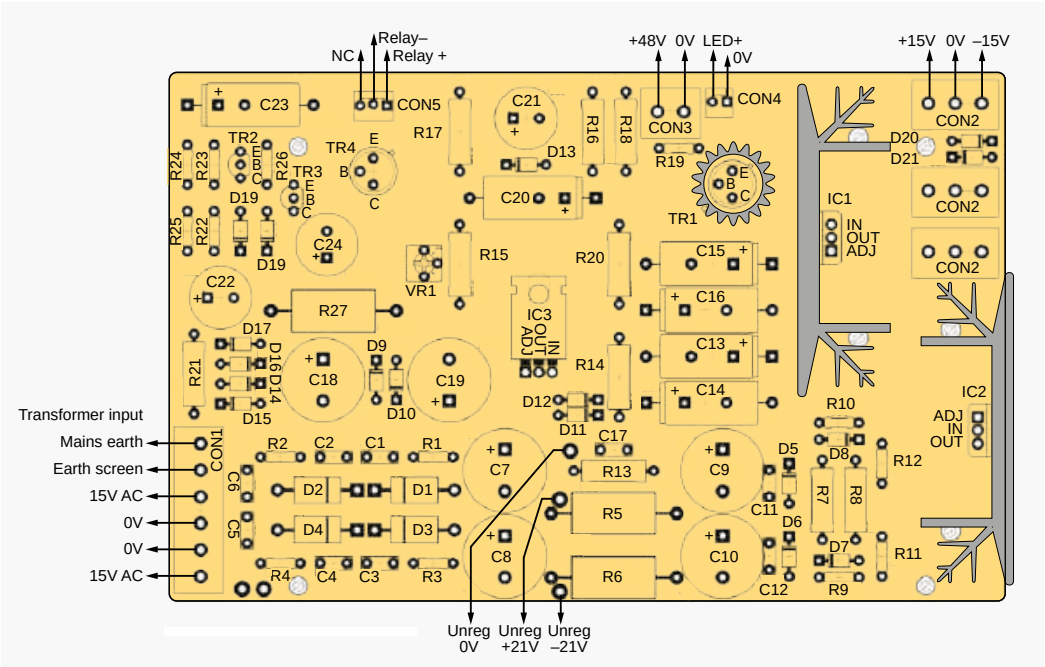
Do ustawienia napięcia wyjściowego służy potencjometr. Stały dzielnik napięcia nie nadawałby się tutaj, ponieważ napięcie wyjściowe jest dużą wielokrotnością napięcia odniesienia i niedokładność napięcia

Rysunek 11. Zmontowana płytka zasilacza

wyjściowego byłaby kilkudziesięciokrotnie większa niż tolerancje rezystorów dzielnika. Prąd płynący przez potencjometr musi być jak najmniejszy; duża moc rozpraszana nie jest dobra dla jego żywotności i stabilności. Często stosuje się małe wartości rezystorów dzielnika, aby rezystory te realizowały jednocześnie minimalne obciążenie prądowe stabilizatora. Dla TL783 obciążenie to wg karty katalogowej wynosi 15 mA. Biorąc pod uwagę stosunkowo małe napięcie wyjściowe (ten typ stabilizatora może być używany do 125 V), wymaganie na minimalny prąd wyjściowy można nieco złagodzić, schodząc do 10 mA.

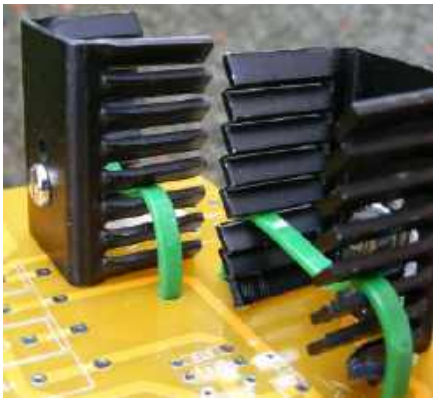
Zasilanie LED-ów

Prąd minimalny stabilizatora jest często zapewniany przez rezystor użyty tylko do tego celu. W takim przypadku mamy do czynienia z marnowaniem energii. Energię tę można lepiej spożytkować, odpowiednio zasilając diody LED. Napięcie zasilania „fantom” jest dość duże, więc możliwe jest szeregowe zasilanie wielu LED-ów, np. w mierniku słupkowym. W zależności od wskazania takiego słupka niektóre diody LED są wyłączane (zwierane). Aby pozostałe diody nie zmieniały wtedy jasności, trzeba zapewnić stałość prądu zasilającego. Problem załatwia źródło prądu stałego, jak pokazano na **rysunku 8**. Jeśli przy tym samym prądzie niektóre diody LED będą zbyt jasne w stosunku do innych, będzie należało dać równolegle do każdej z nich



Rysunek 10. Schemat montażowy płytki zasilacza. Zwróćmy uwagę na elementy masywne. Nie ma tu żadnych 64-pinowych układów scalonych! Projekt płytki autorstwa Mike’a Grindle

eprasa.pl bfa7a1d357



Rysunek 12. W mniej energochłonnych zastosowaniach można użyć radiatorów mniejszych, tłoczonych. Jeśli możesz przez kilka sekund przytrzymać palec na radiatorze, to ma on najwyżej +60°C, a to znaczy, że warunki pracy są prawidłowe

rezystor odbierający część prądu. Wartość prądu źródła ustaliłem na 10 mA, co jest wystarczające dla większości nowoczesnych diod LED. Jeśli użyjemy starych, niewydajnych LED-ów z lat 70., np. TIL209, być może trzeba będzie zwiększyć prąd do 20 mA, zmniejszając rezystor R19 do 240 Ω. Układ źródła stałoprądowego zawiera tranzystor TR1, który wymaga radiatora zaciskowego. R20 odbiera mu część mocy traconej. Dioda Zenera D13 wytwarza napięcie odniesienia 5,6 V. Na rezystorze R19 (510 Ω) powstaje spadek napięcia 5 V, a więc prąd źródła wynosi 10 mA. Należy pamiętać, że jeśli diody LED nie są używane lub są chwilowo niepotrzebne, zaciski złącza LED trzeba ze sobą zewrzeć, aby zapewnić obciążenie stabilizatora TL783.

Przekaźnik wyciszający

Kolejnym ważnym układem związanym z zasilaniem jest sterownik przekaźnika wyciszającego. Prawie wszystkie urządzenia audio wymagają wyciszania stuków powstających przy załączaniu i wyłączaniu urządzenia. Filtry aktywne na wzmacniaczach operacyjnych, takie jak te używane w wokoderze, są pod tym względem szczególnie „złośliwe" i podczas wyłączania mogą wydawać dziwaczne skrzeczenie. A wyobraźmy sobie przerażający dźwięk z 14 kanałów, piszczących jednocześnie na różnych częstotliwościach.

Do wyłączania stereofonicznego wyjścia są zwykle używane podwójne styki przekaźnika lub para tranzystorów JFET. Zaletą JFET-ów jest to, że przy braku napięcia bramki stanowią niemal zwarcie, poza tym praktycznie nie pobierają energii. Z kolei przekaźniki pobierają znaczną moc do zasilania cewki, ale zapewniają najniższe zniekształcenia i najlepsze wyciszenie. Ich styki mogą się jednak utleniać, co prowadzi do przerywania sygnału. Zjawisko to nie wystąpi, jeżeli styki są hermetycznie zamknięte.

Układ sterujący przekaźnika musi go po włączeniu zasilania załączyć z opóźnieniem, a w momencie wyłączenia systemu – natychmiast wyłączyć. Aby przekaźnik szybko się wyłączył, konieczne jest zasilanie układu przez oddzielny mostek prostowniczy (D14...D17) i kondensator wygładzający (C22) o pojemności jak najmniejszej, ale takiej, żeby zasilany przekaźnik nie „brzęczał". Opóźnienie załączenia, wynoszące kilka sekund, jest wyznaczone przez wartości R25 i C23. Aby przekaźnik został załączony, napięcie na C23 musi przekroczyć napięcie progowe 11,2 V, będące sumą napięcia diody Zenera 10 V (D18) oraz spadku napięcia na złączach baza-emiter tranzystorów w układzie Darlingtona (TR3, TR4). Mogłem użyć pojedynczego tranzystora MOSFET, ale tranzystory bipolarne też dobrze spełniają tu zadanie. Tranzystor TR2 jest normalnie zatkany przez napięcie dzielnika R22/R23 i służy do szybkiego rozładowania kondensatora czasowego C23 podczas wyłączania systemu. R24 ogranicza prąd rozładowania, chroniąc tranzystor i kondensator tantalowy. Dzięki temu układowi opóźnienie włączenia zawsze ma miejsce, nawet jeśli zasilanie zostanie wyłączone i szybko znów załączone. I jeszcze jeden szczegół – układ oszczędzania energii, składający się z rezystora R27 i równolegle dużego kondensatora elektrolitycznego C24. Kondensator zapewnia prąd znamionowy niezbędny do załączenia przekaźnika, a rezystor – mniejszy prąd, wystarczający do podtrzymania załączenia. Układ zmniejsza niemal o połowę pobór prądu. Jest dostosowany do przekaźników o parametrach cewki 24 V/700 Ω i 48 V/2500 Ω.

Radiatory

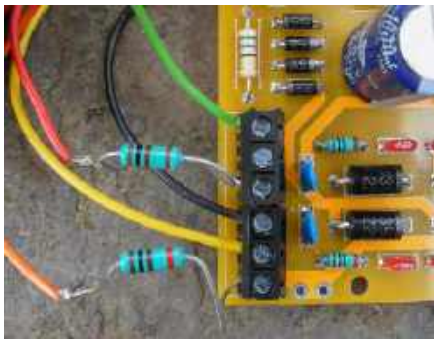
Do każdego regulatora napięcia używany jest oddzielny radiator, ponieważ można wtedy nie stosować podkładek izolacyjnych. Podkładki sprawiają, że elementy w obudowach TO220 nagrzewają się prawie dwukrotnie mocniej ze względu na dodatkową rezystancję termiczną. Gdy nie ma podkładek, radiatory są oczywiście „pod napięciem". Należy zachować ostrożność i nie dopuścić do zwarć między nimi. REG1 jest na potencjale +15 V, REG2 na potencjale nieregulowanego napięcia –21 V, a REG3 – na +48 V. Jeśli planowany jest duży pobór prądu z napięć ±15 V, stabilizatory tych napięć muszą być montowane na dużych radiatorach wytłaczanych – co najmniej 6,8°C/W (REG1 i REG2). Stabilizator zasilania „phantom" może mieć niewielki radiator przypinany (REG3), chyba że zasilanie to jest przeznaczone do np. 20 mikrofonów dla całego zespołu muzycznego. W takim przypadku potrzebny będzie radiator większy, przykręcany.

Konstrukcja

Jak wszystkie zasilacze, ten zawiera same duże elementy, więc nie jest skomplikowany w budowie. Płytkę drukowaną można nabyć w „serwisie PCB" Practical Electronics. Schemat montażowy pokazano na **rysunku 10**, a zmontowaną płytkę na **rysunku 11**. Pewna trudność wiąże się z montażem radiatorów, który przebiega zależnie od tego, jakie ich typy są użyte. W przypadku mniejszych prądów zasilania można zastosować radiatory mniejsze i tańsze, jak pokazano na **rysunku 12**. Należy pamiętać o użyciu pasty termoprzewodzącej. Ważne jest staranne przymocowanie chłodzonych elementów. Aby zapobiec poluzowaniu się śrub, należy użyć sprężystych podkładek lub dodatkowych nakrętek. Równie solidnie należy przymocować radiatory do płytki. Żeby połączenia się nie wykruszyły, elementy lutujemy dopiero po ich przykręceniu do radiatorów. Uwaga na niebezpieczeństwo zwarć między radiatorami a ścieżkami w górnej części płytki! W razie potrzeby należy przykleić izolującą taśmę kevlarową.

Obudowa

Najniższy przydźwięk zapewnia zawsze zasilacz zewnętrzny. Jeśli jest zamknięty w obudowie stalowej, mamy zapewnione najlepsze ekranowanie pola rozproszonego z transformatora i zredukowanie przydźwięku. W przypadku umieszczenia zasilacza wewnątrz obudowy urządzenia elektroakustycznego, transformator należy zawsze umieszczać jak najdalej od wejść audio. W tym przypadku obudowa może być



Rysunek 13. Przed pierwszym włączeniem zasilacza należy podłączyć rezystory ograniczające prąd 100 Ω między uzwojeniami wtórnymi 15–0–15 V a płytką drukowaną. Opcjonalnie można je później zastąpić bezpiecznikami przeciwprzepięciowymi 2 A

eprasa.pl bfa7a1d357

aluminiowa, ponieważ układy elektroniczne nie są zbyt wrażliwe na pole magnetyczne. Wszystkie metalowe elementy konstrukcji powinny być dołączone do uziemienia.

Egzemplarze opisywanego zasilacza udało mi się wcisnąć do obudów 19-calowych o wysokości 1U (44 mm). Lepiej jednak użyć obudowy 2U, ponieważ wtedy nad radiatorami jest więcej miejsca.

Lista elementów

Półprzewodniki
IC1: LM317T regulowany stabilizator napięcia dodatniego
IC2: LM337T regulowany stabilizator napięcia ujemnego
IC3: TL783 regulowany stabilizator wyższych napięć (Mouser 595-TL783CKCSE3)
D1…D4: SB50 dioda Schottky'ego 3 A/50 V
D5…D8, D11, D12: UF4001 ultraszybka dioda prostownicza 1 A/50 V
D9, D10: 1N4004 dioda prostownicza 1 A/200 V
D15…D17, D19…D21: 1N4002 dioda prostownicza 1 A/100 V
D18: BZY88C5V6 dioda Zenera 5,6 V/400 mW
D19: BZY88C10V dioda Zenera 10 V/400 mW
TR1: BC143 tranzystor PNP średniej mocy lub inny (60 V/600 mA, TO5)
TR2: BC327 tranzystor PNP małej mocy lub inny, np. BC557
TR3: BC337 tranzystor NPN małej mocy lub inny, np. BC547
TR4: BC141 tranzystor NPN średniej mocy lub inny, np. 2N2219, BFY51 (40 V/600 mA, TO5)

Kondensatory
Wszystkie ceramiczne, 100 V, 20%, X7R, rozstaw 5 mm
C1…C4, C11, C12: 100 nF
C5, C6: 1 nF
C17: 10 nF

Kondensatory elektrolityczne
Należy pamiętać, że elementy te decydują o czasie życia urządzenia. Używaj najlepszych, np. Kemet, Nichicon.
C7…C9: 2200 μF/35 V, średnica 16 mm, promieniowy (Nichicon UPM1V222MHD)
C13…C16: 22 μF/35 V, osiowy lub promieniowy*
C18: 1000 μF/63 V, 16 mm, promieniowy (Nichicon UPM1J102MHD)
C19: 470 μF/80 V lub /100 V, 16 mm, promieniowy (Nichicon UPM1K471MHD)
C20: 47 μF/50 V, promieniowy*
C21: 100 μF/50 V, promieniowy*
C22: 47 μF/63 V, promieniowy*
C23: 47 μF/16 V, tantalowy, osiowy/promieniowy
C24: 470 μF/25 V, promieniowy*
* Niektóre z mniejszych typów elektrolitycznych można zastąpić tantalowymi, co pozwoli obniżyć poziom szumów i wydłużyć czas życia.

Rezystory
Wszystkie węglowe, 5%, 0,25 W, chyba że określono inaczej
R1…R4, R11, R12, R17: 1 Ω
R5, R6: 1 Ω/2,5 W drutowy
R7, R8: 3 kΩ/0,5 W, 1%, metalizowany
R9, R10: 270 Ω/0,25 W, 1%, metalizowane
R13: 1 kΩ/0,5 W
R14: 22 Ω/0,5 W
R15: 11 kΩ/0,5 W
R16: 330 Ω
R18: 12 kΩ/0,5 W
R19: 510 Ω
R20: 2,2 kΩ/0,5 W
R21: 56 Ω/0,5 W
R22: 56 kΩ
R23: 33 kΩ
R24: 10 Ω
R25: 560 kΩ
R26: 47 kΩ
R27: 560 Ω/1 W, metalizowany
VR1: 2,2 kΩ, precyzyjny, poziomy, cermetal, 10 mm, kwadratowy, np. Bourns 3386, Helitrim 72P

Indukcyjne
RLY1: przekaźnik, cewka 24 V 700 Ω lub 48 V 2500 Ω, podwójne styki, np. STC4190
T1: transformator sieciowy toroidalny, 15–0–15 V, 2 A, np. Cotswold D1012/A typ ekranowany: Avel Lindberg (RS: 207-425)

Radiatory
2 szt. Redpoint /Avid Thermalloy 436402, 6,8°C/W (RS: 402-995)
radiator zatrzaskowy TO5
radiator T0220, Redpoint/Avid Thermalloy TV4 lub 400043, 21°C/W (RS: 402-954)

Różne
Płytka drukowana AO1-APR22 z serwisu PCB *Practical Electronics*
Nakrętki M3,5/4BA, śruby 10 mm i podkładki sprężyste do montażu trzech stabilizatorów
Samonapinacz nr 6×6,4 mm do dużych radiatorów (RS: 504-568)
Złącza zasilania – np. JAE SRCN6A13-5S-A534 (jak do mikserów Soundcraft)
Złącza śrubowe 5,08 mm
zaciskane złącza i wtyki „Molex" 2,54 mm, podwójne i potrójne

Testowanie

Zasilacze zawsze zawierają wiele kondensatorów elektrolitycznych i diod, więc istnieje ryzyko „eksplozji", jeśli któreś z tych elementów zostaną zamontowane odwrotnie. Do pierwszych prób dobrze jest dać rezystory ograniczające prąd 100 Ω/0,5 W w szereg z uzwojeniami wtórnymi transformatora 15 V, jak pokazano na **rysunku 13**. Na tym etapie zasilacz nie powinien być obciążony. Jeśli pojawi się dym, a na nieregulowanych wyjściach nie będzie napięcia, to coś jest nie tak! Ale przynajmniej nie będziesz miał spalonego transformatora o wartości kilkudziesięciu złotych. No i zawsze zakładaj gogle podczas pierwszego uruchomienia zasilacza i w ogóle każdego układu. Oczy są zbyt cenne.

Kontrola pod pełnym obciążeniem

Dobrą metodą jest przetestować zasilacz, pobierając ze wszystkich wyjść pełne prądy znamionowe z pewną nadwyżką i obserwując napięcia wyjściowe oscyloskopem ze sprzężeniem zmiennoprądowym (AC) na zakresie 5 mV/działkę. Przy tej okazji sprawdzimy też skutki nagrzewania się elementów i wykryjemy ewentualną utratę regulacji. Może ona wystąpić, gdy napięcie na wejściach stabilizatorów spadnie zbyt nisko. Objawem tego będzie przenikanie tętnień napięcia za prostownikiem do wyjścia. Szum zmierzony oscyloskopem powinien być „gładki", ok. 5 mVpp, bez skoków. Proponowane wartości rezystorów dla „brutalnego" obciążenia testowego to 560 Ω/10 W dla linii 48 V i 20 Ω/10 W dla linii ±15 V.

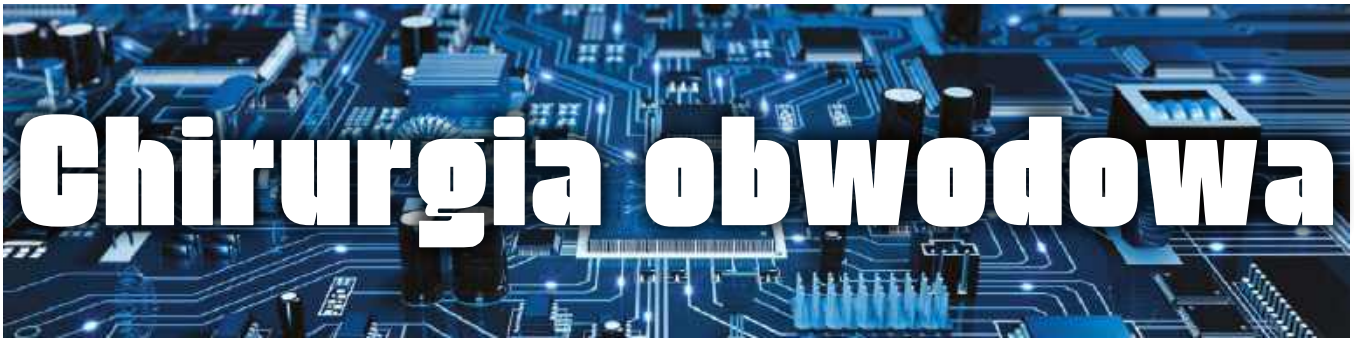
Na plenerowych imprezach muzycznych często są używane generatory zasilające. W takim przypadku należy się liczyć ze znacznymi spadkami napięcia sieciowego. Aby sprawdzić, jak moje urządzenia będą działać w takich warunkach, ustawiam minimalne możliwe napięcie sieciowe (powiedzmy 215 V) za pomocą autotransformatora lub transformatora obniżającego. Jeśli nasze urządzenie ma pracować przy znacznie obniżonym napięciu sieci, konieczne będzie użycie w zasilaczu transformatora 18–0–18 V. Maksymalny prąd obciążenia będzie wtedy mniejszy o 20%.

To wszystko. Zabrakło tu miejsca i czasu, aby opisać zintegrowanie zasilacza z wokoderem, więc omówimy to w następnym odcinku. ■

Jake Rothman

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

eprasa.pl bfa7a1d357



Czujnik temperatury LM35

W tym miesiącu weźmiemy pod lupę LM35 – szeroko stosowany układ scalony czujnika temperatury.

Temperatura stanowi jedną z najczęściej mierzonych wielkości fizycznych i jest powszechnie wykorzystywana jako parametr w układach opartych na mikrokontrolerach i ogólnie w systemach wbudowanych.

Kontaktowy czujnik temperatury wytwarza zazwyczaj sygnał analogowy – napięcie lub prąd – który zmienia się w ściśle określony sposób wraz z temperaturą. Sygnał ten może być zamieniony na postać cyfrową przez przetwornik analogowo-cyfrowy (ADC), który może być albo wbudowany w mikrokontroler, albo wchodzić w skład układu scalonego czujnika (który wtedy komunikuje się z mikrokontrolerem cyfrowo); może też stanowić oddzielny układ scalony. Mikrokontroler odczytuje ADC (bezpośrednio lub pośrednio) i uzyskuje liczbę dwójkową reprezentującą temperaturę. Zazwyczaj liczba ta musi zostać w jakiś sposób przetworzona w celu uzyskania wartości temperatury w standardowej skali, np. w stopniach Celsjusza (°C). Złożoność przetwarzania zależy od typu używanego czujnika i wymaganej dokładności pomiaru. Jedną z zalet LM35 jest prosta zależność między jego napięciem wyjściowym a mierzoną temperaturą. Obliczenia stają się bardziej złożone jedynie wtedy, gdy przeprowadzana jest jakaś kompensacja niedokładności czujnika.

Oczywiście czujniki z wyjściem analogowym mogą być również używane w układach, które nie wymagają mikrokontrolera – na przykład w analogowych regulatorach temperatury.

W systemie mikroprocesorowym, wykorzystującym układ scalony czujnika analogowego taki jak LM35, przetwornik ADC musi być prawidłowo skonfigurowany. Obejmuje to ustawienie napięć odniesienia, które określają zakres przetwarzania. Zakres napięcia wyjściowego z czujnika temperatury jest jednak zwykle mniejszy niż standardowy zakres wejściowy ADC. W takim przypadku pełna rozdzielczość ADC nie zostaje wykorzystana. Dotyczy to wszystkich typów analogowych czujników temperatury.

Wybór

Podczas projektowania systemu pomiaru temperatury należy podjąć decyzję, jaki ogólnie rodzaj czujnika ma zostać użyty. Czujniki mogą być kontaktowe i bezkontaktowe.

Najpopularniejszy sposób bezkontaktowego pomiaru temperatury wykorzystuje promieniowanie podczerwone i obejmuje pirometry i kamery termowizyjne. Oba te typy czujników mierzą temperaturę powierzchni obiektu, na który „patrzą". Z kolei kontaktowe czujniki temperatury to termistory, termopary, czujniki rezystancyjne (RTD) i czujniki w postaci układów scalonych.

Zasadniczo wszystkie te elementy wykorzystują elektryczne właściwości materiałów, zmieniające się wraz z temperaturą w określony, przewidywalny sposób. W celu zapewnienia użytecznego pomiaru wyniki muszą być odpowiednio kalibrowane. Czujniki różnią się pod względem wykorzystywanych praw fizyki, a także materiałów i procesów produkcyjnych stosowanych do ich budowy.

Przewaga układów scalonych nad innymi wymienionymi elementami polega na ich zwiększonej funkcjonalności i/lub prostocie użycia. Obejmują one jednak węższy zakres temperatur niż np. termopary i nie osiągają dokładności najlepszych czujników RTD.

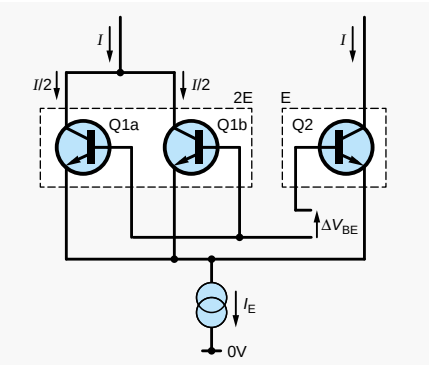
Układy scalone czujników temperatury dzielą się na dwie główne kategorie. Jedne wysyłają sygnał analogowy bezpośrednio związany z temperaturą (zwykle napięcie). Drugie to czujniki z interfejsami cyfrowymi, używane w systemach opartych na mikrokontrolerach. Nie zapewniają wysokiej dokładności, są za to wygodne w użyciu; wymagają jedynie zaprogramowania interfejsu cyfrowego, takiego jak SPI lub I²C.

Zasada działania

Większość układów scalonych czujników temperatury, takich jak LM35, opiera swe działanie na zależnym od temperatury zachowaniu półprzewodników, w szczególności złącza p-n w diodach i tranzystorach bipolarnych. Wpływ temperatury na układy tranzystorowe jest ogólnie znany i projektanci poświęcają nieraz wiele wysiłku, próbując go przezwyciężyć (patrz artykuły w „EdW" 1/2025 i 2/2025 na temat wzmacniaczy logarytmicznych i wykładniczych). Wielkości elektryczne zależne od temperatury są więc w układzie elektronicznym łatwe do uzyskania. Trudność przy opracowywaniu czujnika takiego jak LM35 polega na osiągnięciu liniowej i dobrze kontrolowanej zależności między temperaturą a sygnałem wyjściowym układu w szerokim zakresie temperatur.

Jako czujnik temperatury może być zasadniczo używana zwykła dioda (złącze p-n), ponieważ przy stałym prądzie jej napięcie przewodzenia zmienia się o około –2 mV na stopień Celsjusza. Większą dokładność można uzyskać, stosując dwie diody (lub dwa złącza baza-emiter tranzystora) pracujące przy różnych prądach, i mierzyć różnicę spadków napięć na obu złączach p-n. Ta różnica zmienia się liniowo wraz z temperaturą bezwzględną. Cecha ta została wykorzystana w wielu układach scalonych czujników temperatury, takich jak LM34, LM35, LM50, LM60, LM61, MCP9700, MCP9701, TMP35, TMP36, TMP37 i TSIC301. Stosowane są również inne podejścia. Na przykład układy AD22100 i AD22103 wykorzystują rezystancje zależne od temperatury. Z kolei seria LM135/235/335 to coś w rodzaju diod Zenera z napięciem przebicia wprost proporcjonalnym do temperatury bezwzględnej (ze współczynnikiem 10 mV/K). Zakres pomiarowy LM135 wynosi –55°C...+150°C. Istnieje również układ AD950, który jest elementem dwuzaciskowym. Ma liniowe wyjście prądowe

eprasa.pl bfa7a1d357



Rysunek 1. Koncepcja uzyskania różnicy napięć ΔV_{BE} przy użyciu tranzystorów o jednakowych rozmiarach

1 µA/K (znów skala Kelwina), zasilanie 4 V...30 V, zakres pomiarowy –55°C...+150°C.

Jak zbudowano LM35

Prąd emitera tranzystora bipolarnego (I_E) jest związany z jego napięciem baza-emiter (V_{BE}) poprzez podstawowe równanie Ebersa-Molla:

$$I_E = I_S \cdot exp\left(\frac{q \cdot V_{BE}}{k \cdot T}\right)$$

gdzie:
I_S jest prądem nasycenia złącza baza-emiter i stanowi właściwość danego egzemplarza tranzystora,
q jest ładunkiem elektronu,
k jest stałą Boltzmanna,
T jest temperaturą bezwzględną (w kelwinach).

Równanie obowiązuje gdy $I_E \gg I_S$, a więc praktycznie zawsze, z wyjątkiem skrajnie małych prądów emitera (rzędu 1 nA i mniej – przypis red.).

Przekształcając to równanie uzyskamy wzór na napięcie baza-emiter:

$$V_{BE} = \frac{k \cdot T}{q} \cdot \ln\left(\frac{I_E}{I_S}\right)$$

gdzie $ln()$ jest logarytmem (funkcją odwrotną do wykładniczej).

Jeśli mamy dwa tranzystory o różnych prądach emiterowych (I_{E1} i I_{E2}) i zakładamy, że znajdują się one w tej samej temperaturze (T) i są ściśle zgodne pod względem właściwości fizycznych (więc $I_{S1}=I_{S2}=I_S$), to różnica między ich napięciami baza-emiter wynosi:

$$\Delta V_{BE} = \frac{k \cdot T}{q} \cdot \ln\left(\frac{I_{E2}}{I_S}\right) - \frac{k \cdot T}{q} \cdot ln\left(\frac{I_{E1}}{I_S}\right)$$

Odejmujemy dwa logarytmy, co jest równoważne logarytmowi z ilorazu. Możemy więc napisać:

$$\Delta V_{BE} = \frac{k \cdot T}{q} \cdot \ln\left(\frac{\frac{I_{E2}}{I_S}}{\frac{I_{E1}}{I_S}}\right) = \frac{k \cdot T}{q} \cdot ln\left(\frac{I_{E2}}{I_{E1}}\right)$$

W rezultacie różnica ΔV_{BE} zależy tylko od temperatury, stałych fizycznych i prądów emiterowych, a nie od parametrów samych tranzystorów (I_S).

Zgodność parametrów dwóch tranzystorów można osiągnąć przez ich umieszczenie w tym samym układzie scalonym i zapewnienie jednakowych wymiarów. W przypadku tranzystorów dyskretnych osiągnięcie zgodności jest znacznie trudniejsze. Tranzystory takie będą miały różne wartości I_S. Dotyczy to również tranzystorów znajdujących się w oddzielnych układach scalonych. Wystąpiłaby złożona i zmienna zależność temperaturowa, ponieważ I_S zmienia się znacząco wraz z temperaturą.

Wnioski z powyższej analizy są takie: nie jest możliwe stworzenie dokładnego czujnika temperatury opartego na pojedynczym tranzystorze. Wskazane jest raczej wykorzystanie różnicy napięć V_{BE} między dwoma tranzystorami umieszczonymi w jednym układzie scalonym.

PTAT

Jeśli oba prądy emiterów pozostają w stałym stosunku N, czyli $I_{E2}=N \cdot I_{E1}$, to otrzymujemy:

$$\Delta V_{BE} = \frac{k \cdot T}{q} \cdot ln\left(N\right)$$

gdzie $ln(N)$, i q są stałymi. A więc ΔV_{BE} jest wprost proporcjonalne do temperatury bezwzględnej T z dodatnim współczynnikiem proporcjonalności (ze wzrostem temperatury ΔV_{BE} wzrasta). Jest to określane jako „napięcie proporcjonalne do temperatury bezwzględnej" (*Voltage Proportional To Absolute Temperature; V_{PTAT}*):

$$\Delta V_{BE} = V_{PTAT}$$

Jeśli N=10 (jak w LM35), V_{PTAT} w powyższym równaniu wynosi 198 µV/°C. Współczynnik ten można przeskalować i uzyskać 10 mV/°C lub inne wygodne „okrągłe liczby" dla skali Celsjusza czy Fahrenheita.

Powyższy opis może sugerować, że w układzie czujnika są dwa źródła prądowe o wartościach tworzących stosunek N. Okazuje się, że taki sposób byłby niepraktyczny. Odpowiedni efekt o wiele łatwiej zrealizować, stosując tranzystory „wielokrotne", identyczne między sobą, połączone równolegle. Technologicznie wykonuje się je jako tranzystory wieloemiterowe.

Co jest w środku

Przykład użycia „tranzystorów wielokrotnych" pokazano na **rysunku 1**. Tranzystor Q1 jest dwuemiterowy i przedstawiono go jako dwa identyczne tranzystory połączone równolegle (Q1a, Q1b). Q2 to tranzystor pojedynczy, identyczny z Q1a i Q1b. Prąd sumaryczny tranzystorów jest utrzymywany na stałym poziomie przez źródło prądu I_E. Układ elektroniczny (nie pokazany na rysunku) powoduje, że prąd jest rozdzielany dokładnie na połowy, a zarówno przez Q1 jak i przez Q2 przepływa taki sam prąd o wartości I. Prądy w Q1a i Q1b wynoszą wtedy po $I/2$ (prąd I dzieli się równo między te tranzystory, ponieważ są one identyczne). Napięcia V_{BE} tranzystorów Q1a i Q1b są sobie równe ze względu na ich równoległe połączenie, a przez każdy z tych tranzystorów płynie prąd dwukrotnie mniejszy niż przez Q2. Różnica napięć baza-emiter tranzystorów Q2 i Q1 jest opisana przez przytoczone wyżej równanie na ΔV_{BE} z N=2, a więc cechuje ją liniowa zależność od temperatury (PTAT).

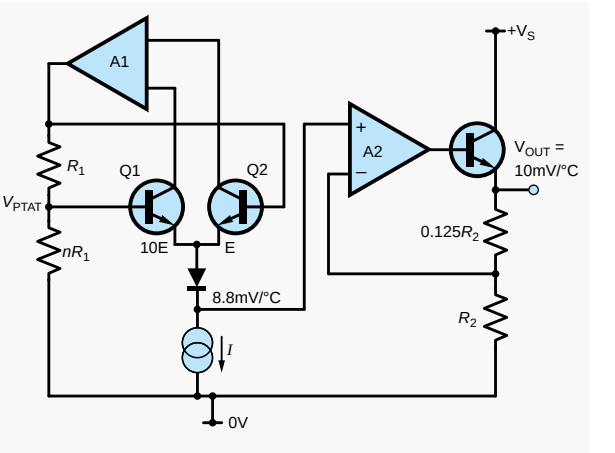
Na **rysunku 2** widzimy uproszczony schemat układu LM35. Rdzeń układu – Q1 i Q2 oraz źródło prądowe – jest skonfigurowany podobnie jak na rysunku 1, tyle, że między tranzystorami występuje różnica nie 2-, lecz dziesięciokrotna (10E i E).

Wzmacniacz A1 ma różnicowe wejście prądowe i wyjście napięciowe. Jest elementem sprzężenia zwrotnego kontrolującym różnicę napięć baza-emiter (ΔV_{BE}) tak, aby wymusić równe prądy kolektorów Q1 i Q2 (wejścia A1).

Na rezystancji R1 odkłada się napięcie ΔV_{BE}, powodujące przepływ przez niego prądu

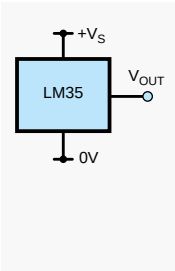
$$\frac{\Delta V_{BE}}{R1}$$

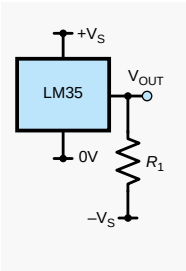
Zakładając, że prąd ten jest znacznie większy niż prąd bazy Q1, możemy przyjąć, że taki sam prąd płynie w rezystorze nR1, więc napięcie na tym rezystorze będzie wynosić $n \cdot \Delta V_{BE}$. Dolny koniec nR1 jest dołączony do masy, zatem potencjał bazy Q1 jest

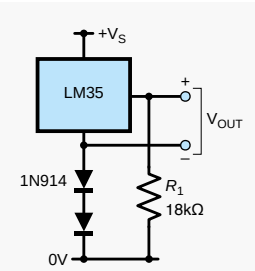


Rysunek 2. Uproszczony schemat układu LM35 (na podstawie karty katalogowej Texas Instruments)

eprasa.pl bfa7a1d357







Od lewej do prawej: Rysunek 3. Podstawowy układ aplikacyjny LM35; Rysunek 4. Układ z zakresem pomiarowym rozszerzonym o temperatury ujemne; Rysunek 5. Układ rozszerzony o temperatury ujemne, z pojedynczym zasilaniem (wszystkie układy na podstawie karty katalogowej LM35 Texas Instruments)

związany z różnicą ΔV_{BE}, czyli jest napięciem PTAT. Do wzmacniacza wyjściowego A2 jest doprowadzane napięcie na źródle prądowym *I*, które jest równe potencjałowi bazy Q1 minus spadek napięcia na dwóch złączach p-n (baza-emiter Q1 plus dioda). Te złącza też mają pewien wpływ na całkowity współczynnik temperaturowy napięcia wyjściowego. Napięcie mierzone na źródle prądowym jest skalowane przez A2 tak, by przy zmianach temperatury o 1°C zapewnić na wyjściu LM35 zmiany o 10 mV.

Układ z rysunku 2 można skalibrować w procesie produkcji poprzez dostrojenie rezystora nR1. Z pomocą przychodzą tu różne techniki. Na przykład nR1 może być łańcuszkiem rezystorów i można „przepalać" im połączenia, zwiększając rezystancję. Kalibracja pozwala ustawić pożądany współczynnik temperaturowy napięcia wyjściowego. Bardziej szczegółową analizę działania tego typu układów, w tym kalibracji i kompensacji nieliniowości (czego tutaj nie omawiamy), można znaleźć w nocie aplikacyjnej „LM34/LM35 Precision Monolithic Temperature Sensors, National Semiconductor Application Note 460" z października 1986 r.

Układ scalony LM35 i jego warianty

LM35 to układ o trzech końcówkach. Ma dwa wyprowadzenia zasilania i wyprowadzenie wyjściowe, którego napięcie, jak opisano wyżej, zmienia się liniowo wraz z temperaturą ze współczynnikiem 10 mV/°C. Istnieje wiele podobnych układów, niektóre o zbliżonych oznaczeniach katalogowych. Układy te różnią się na wiele sposobów, takich jak skala temperatury, zakres napięcia zasilania i obecność lub brak wejścia wyłączającego dla oszczędzania energii. Większość z nich jest przystosowana do skali Celsjusza. Wyjątkiem jest LM34 ze współczynnikiem 10 mV/°F.

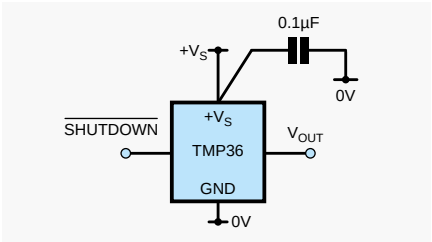
Istnieje wiele wariantów o tym samym oznaczeniu podstawowym, np. „LM35", ale w różnych obudowach (TO92, TO220, TO46, SOT, SOIC), o różnej dokładności i różnym zakresie temperaturowym. Nie każdy układ spełnia wszystkie parametry podane w karcie katalogowej. Ta różnorodność sprawia, że przed zamawianiem tych elementów należy uważnie sprawdzić ich oznaczenia. Niektóre warianty są znacznie droższe od innych.

Zastosowania

Podstawowy układ aplikacyjny LM35 pokazano na **rysunku 3**. Charakteryzuje się współczynnikiem 10 mV/°C w zakresie od +2°C do +150°C (napięcie wyjściowe wynosi od 20 mV do 1,5 V). Zauważmy, że nie są mierzone temperatury ujemne, choć dolna granica zakresu temperatur LM35 wynosi –55°C – w tym prostym układzie napięcie wyjściowe może być tylko dodatnie. Można to zmienić przez dodanie ujemnego napięcia zasilającego i podłączenie LM35 w sposób pokazany na **rysunku 4**. Wyjście LM35 może być wyłącznie źródłem prądu wypływającego, ale ponieważ na tym wyjściu mamy rezystor R1 podłączony do ujemnego zasilania $-V_S$, potencjał V_{OUT} może być zarówno dodatni jak i ujemny względem masy. Karta katalogowa LM35, podaje, że wartość R1 obliczymy ze wzoru V_S/50 µA.

Jeśli ujemnego zasilania nie da się zrealizować, to można użyć układu pokazanego na **rysunku 5**. Diody podnoszą potencjał zacisku masy LM35 powyżej potencjału masy całego układu (0 V), więc masa ta z punktu widzenia LM35 jest jakby ujemnym zasilaniem. Można więc wykorzystywać czujnik przy temperaturach dodatnich i ujemnych. Typowo zakłada się, że spadek napięcia na diodzie takiej jak 1N914 wynosi 0,6...0,7 V. W tym przypadku należy przyjąć 0,45...0,5 V, bo prąd zasilania LM35 wynosi tylko ok. 60 µA. Gdy założymy, że napięcie na dwóch diodach wynosi 0,9 V, to ze wzoru otrzymamy wartość R1 równą 18 kΩ.

Układ z rysunku 5 charakteryzuje się tym, że napięcie wyjściowe V_{OUT} nie jest odniesione do masy. Możliwe są różne sposoby poradzenia sobie z tym problemem. Można mierzyć napięcie między wyjściem LM35 a masą i od wyniku odejmować wartość spadku napięcia na diodach, przyjmując, że jest ona stała. Ta metoda jest jednak niedokładna, bo spadek na diodach zmienia się przy zmianach prądu zasilania LM35 i temperatury. Lepszym podejściem jest potraktowanie wyjścia V_{OUT} jako różnicowego i dołączenie go do wzmacniacza różnicowego lub różnicowego wejścia przetwornika ADC. Można też mierzyć osobno każde z napięć w dwóch kanałach ADC, a wyniki odejmować w programie.



Rysunek 6. Układ TMP36 pokrywający zakres temperatur –40°C...+125°C (na podstawie karty katalogowej Analog Devices)

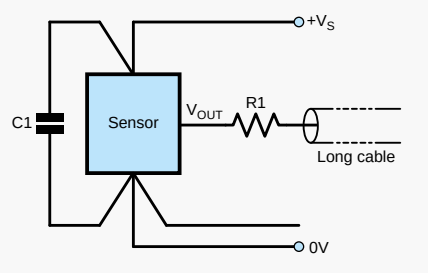
Układ z rysunku 5 nie jest zbyt wygodny w stosowaniu. Jeśli dysponujemy tylko pojedynczym zasilaniem, to lepiej zrobimy, jeśli użyjemy innego typu układu scalonego. Takiego, który mimo pojedynczego zasilania może mierzyć ujemne temperatury, na przykład TMP36 firmy Analog Devices lub LM50 firmy Texas Instruments. Układy te mają wyjście 10 mV/°C, tak jak LM35, ale z przesunięciem o +0,5 V. Przykładowe napięcia wyjściowe to 0,5 V przy 0°C, 0,75 V przy +25°C i 0,25 V przy –25°C. Ta cecha radykalnie ułatwia pomiar napięć reprezentujących ujemne temperatury. Przykładowy układ aplikacyjny TMP36 pokazano na **rysunku 6**. Warto zwrócić uwagę na wejście wyłączające SHUTDOWN, występujące w niektórych wersjach obudowy układu.

Długie przewody

Nierzadko konieczne jest umieszczenie czujnika temperatury z dala od głównej płytki z elektroniką. Może wtedy dojść do sytuacji, gdy w przewodach czujnika pojawią się znaczne zakłócenia różnego rodzaju. Na szczęście w większości przypadków mierzona temperatura zmienia się stosunkowo wolno i zakłócenia dają się odfiltrować filtrem dolnoprzepustowym o niskiej częstotliwości granicznej bez istotnego wpływu na wynik pomiaru. Nigdy nie zaszkodzi jednak użyć kabla ekranowanego, najlepiej w formie skrętki.

Inną kwestią związaną z długimi połączeniami, której nie można ignorować, jest pojemność kabla. Układy scalone zwykle źle znoszą duże obciążenia pojemnościowe. Jako środek zaradczy powszechnie stosuje się rezystor „izolujący", umieszczony między wyjściem układu a kablem. Różne typy scalonych czujników mają różną zdolność

eprasa.pl bfa7a1d357



Rysunek 7. Układ scalony czujnika analogowego dołączony do długiego kabla, z „izolującym" rezystorem R1 i kondensatorem odsprzęgającym C1

do wysterowania pojemności na swym wyjściu, ale rozwiązanie z rezystorem szeregowym (**rysunek 7**) zaleca się stosować w każdym przypadku. Karty katalogowe czujników mogą proponować odpowiednie wartości rezystancji. Tak jest w przypadku LM35 i TMP36. Alternatywą dla rezystora szeregowego może być tłumik RC (**rysunek 8**). Rezystor szeregowy plus pojemność kabla, względnie układ tłumika, tworzą przy okazji filtr dolnoprzepustowy wspomagający redukcję zakłóceń.

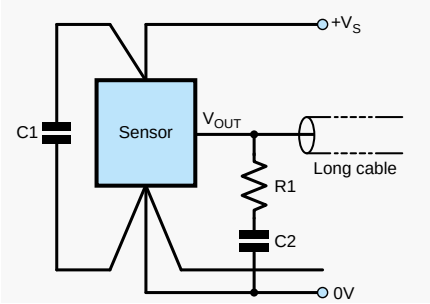
Tak jak w przypadku większości układów scalonych, zalecane – czy wręcz wymagane – jest dołączenie do czujnika jednego lub kilku kondensatorów odsprzęgających zasilanie. Powinny być one umieszczone jak najbliżej układu scalonego. Wartością stosowaną typowo jest 0,1 µF. Należy jednak sprawdzić w karcie katalogowej, jaką wartość zaleca producent.

Na rysunkach 7 i 8 przedstawiono typowe układy czujników temperatury dołączone na długich kablach. W sytuacjach ekstremalnych (bardzo długie kable, wysoki poziom zakłóceń) lepiej jest zamienić napięcie wyjściowe czujnika na prąd i w takiej postaci transmitować sygnał przez kabel.

Wskazówki

Na prawidłowy pomiar temperatury wpływ ma nie tylko sam układ elektroniczny. Cała „fizyka" pomiaru musi dawać pewność, że mierzona jest właściwa temperatura, a błędy są zredukowane do minimum.

Do wnętrza układu scalonego może dostawać się „obce" ciepło poprzez jego wyprowadzenia. Czujnik mierzący temperaturę jakiegoś obiektu może w ten sposób otrzymywać dodatkową, znaczącą porcję ciepła z otaczającego powietrza, szczególnie gdy układ scalony ma obudowę plastikową. By zmniejszyć ten efekt, karta katalogowa LM35 zaleca pokrywanie wyprowadzeń układu żywicą epoksydową. Układy scalone w obudowach metalowych są pod tym względem mniej problematyczne. Mogą być przylutowywane do mierzonych powierzchni metalowych. Należy tylko uwzględnić fakt, że metalowa



Rysunek 8. Układ jak na rysunku 7, ale z tłumikiem R1/C2

obudowa układu scalonego znajduje się zwykle na potencjale masy lub ujemnego bieguna zasilania.

Jeśli układ czujnika jest używany do pomiaru temperatury cieczy, należy zapewnić, aby czujnik i przewody były od niej elektrycznie odizolowane i suche.

Gdy mierzone są niskie temperatury, może nastąpić kondensacja pary wodnej na czujniku lub na płytce układu elektronicznego. W celu zapobieżenia takim sytuacjom niezbędne jest pokrycie elektroniki np. lakierem. ■

Ian Bell

Ten artykuł był wcześniej opublikowany na łamach „Practical Electronics", kwiecień 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 bfa7a1d357

Ekscytacje Maxa

Migające diody LED i śliniący się inżynierowie (18)

Jak zwykle, mam tak wiele rzeczy odbijających się w mojej biednej, starej głowie, że nie wiem, od czego zacząć, z których nie najmniej ważne jest to, że samo wypowiedzenie słowa „głowa" przypomniało mi o Noggin the Nog (https://bit.ly/3ckKqed), który był kultowym klasykiem ze złotej ery brytyjskiej telewizji dla dzieci, kiedy byłem dzieckiem we wczesnych latach sześćdziesiątych.

Z wizytą u Wiktorianów

Zacznijmy od przypomnienia, że w poprzednim odcinku (EdW 2/2025) przedstawiłem mój nowy projekt hobbystyczny, który polega na odtworzeniu 21-segmentowych wiktoriańskich wyświetlaczy przy użyciu nowoczesnych trójkolorowych diod LED. Szczerze mówiąc, mój kumpel Steve Manley z Wielkiej Brytanii wykonuje większość ciężkich prac związanych z tym projektem – na przykład projektuje płytki drukowane – a ja krzątam się w tle jak obłąkana surykatka (https://youtu.be/57jEMZ87ND8), oferując pomocne (niektórzy mogą powiedzieć, że bezużyteczne) sugestie.

Steve rozpoczął od stworzenia jednoznakowego wyświetlacza o szerokości 50 mm i wysokości 64 mm. Siedem segmentów ma tylko jedną trójkolorową diodę LED, podczas gdy pozostałe czternaście segmentów ma po dwie diody LED, co daje w sumie 35 diod LED. Steve stworzył również wydrukowaną w 3D „powłokę" o głębokości 10 mm, która oddziela tablicę LED od dyfuzora.

Steve i ja tworzymy 10-znakowe wyświetlacze, które wykorzystują 10 płytek LED i 10 obudów. Właściwie byłby to idealny moment, aby obejrzeć film opublikowany przez Steve'a na YouTube, który pokazuje to wszystko w fantastycznych szczegółach: https://bit.ly/2T4sgXl

Przejmij kontrolę

Kolejną rzeczą, o której rozmawialiśmy w ostatnim odcinku, jest fakt, że w poprzednich projektach Steve i ja poszliśmy własną drogą w odniesieniu do sprzętu (np. mikrokontrolerów) i oprogramowania (np. bibliotek), co skutkowało niemożnością dzielenia się naszym kodem. Aby rozwiązać ten problem, w przypadku naszych wiktoriańskich wyświetlaczy zdecydowaliśmy się zastosować wspólną platformę, co pozwoliło nam pracować nad kodem w sposób oparty na współpracy.

Pierwszym elementem tej platformy była płytka sterująca. Ponieważ zamierzamy wykorzystać tę płytkę w przyszłych projektach, dodaliśmy wszystko, o czym możemy pomyśleć w sposób uniwersalny. Nasza płytka zawiera zegar czasu rzeczywistego (RTC), kodek audio z wbudowanym mikrofonem, dzięki czemu możemy reagować na dźwięk, fotorezystor (LDR), dzięki czemu możemy reagować na światło otoczenia oraz sterowanie podczerwienią (IR). Może być „zasilany" przez moduł Teensy 3.2 lub Teensy 3.6 z PJRC: https://bit.ly/3h5tifW.

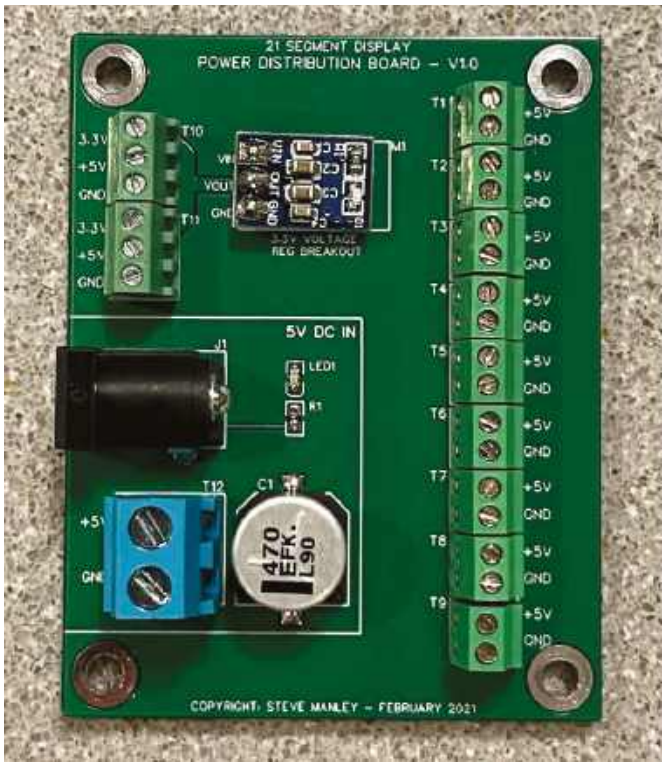
Biblioteki Lucious

Pamiętaj, że każdy z naszych 21-segmentowych znaków ma 35 trójkolorowych diod LED. Są to elementy WS2812, które w społeczności Adafruit są znane pod nazwą „NeoPixele". Jedną z dostępnych opcji jest użycie biblioteki Adafruit NeoPixel (https://bit.ly/2T3s2zH) do sterowania naszymi diodami LED. Osobiście uwielbiam tę bibliotekę, ale to prawdopodobnie dlatego, że po raz pierwszy użyłem jej bardzo dawno temu.

Problem polega na tym, że mamy 35×10=350 diod LED, z których każda wymaga 24 bitów danych (po 8 bitów dla kanałów czerwonego, zielonego i niebieskiego). Biblioteka Adafruit wykorzystuje częstotliwość taktowania 800 kHz, co oznacza, że przesłanie wszystkich danych zajmuje (350×24)/800 000=0,0105 sekundy (s) lub 10,5 milisekundy (ms). Zaokrąglijmy to do 11 ms.

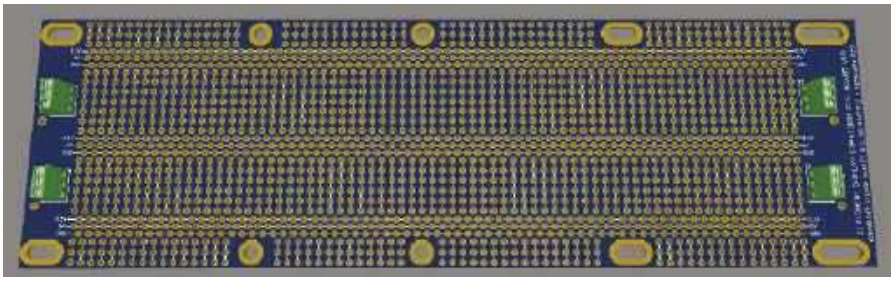
Należy tutaj zwrócić uwagę na fakt, że podczas gdy biblioteka Adafruit przesyła dane do diod LED, zużywa ona 100% zasobów jednostki centralnej mikrokontrolera (CPU), co oznacza, że procesor nie może w tym czasie robić nic innego.

Jestem przekonany, że będziemy wykonywać ogromną liczbę obliczeń, aby zaimplementować zaplanowane efekty specjalne. Jeśli założymy, że możemy wykonać wszystkie te obliczenia w 9 ms, oznacza to, że całkowity czas cyklu wynosi 11+9=20 ms. To z kolei oznacza, że maksymalna częstotliwość odświeżania naszego wyświetlacza wynosi 1000/20=50 Hz. Szczerze mówiąc, jest to prawdopodobnie więcej



Rysunek 1. Tablica rozdzielcza zasilania (źródło obrazu: Steve Manley)

eprasa.pl bfa7a1d357



Rysunek 2. Płytka prototypowa (źródło obrazu: Steve Manley)...

niż wystarczające dla tego konkretnego zastosowania, ale – mając wybór – wolelibyśmy zrobić to lepiej.

Ponieważ używamy mikrokontrolera Teensy 3.2 lub 3.6, inną alternatywą jest użycie biblioteki OctoWS2811 firmy PJRC (https://bit.ly/3z589ZO). Ta biblioteka ma ograniczony zestaw wbudowanych funkcji, co oznacza, że musisz samodzielnie wykonywać takie czynności, jak zanikanie z jednego koloru do drugiego (dotyczy to również biblioteki Adafruit). Jednak jej główną zaletą jest to, że wykorzystuje wbudowany w mikrokontroler silnik bezpośredniego dostępu do pamięci (DMA) do jednoczesnego przesyłania ośmiu pasm diod LED. Co więcej, silnik DMA działa w tle, pozostawiając główny procesor wolny do pracy nad kolejnym zestawem obliczeń. Istnieje nawet funkcja busy(), którą można wywołać, aby określić, czy poprzednie przesyłanie zostało zakończone przed rozpoczęciem nowego.

Ale czekaj, to nie wszystko, ponieważ istnieje również biblioteka FastLED (fastled.io), którą preferuje Steve. Oprócz tego, że jest rozwijana dla mikrokontrolerów o niższej wydajności (8-bitowych), biblioteka FastLED oferuje wszelkiego rodzaju smaczne funkcje, w tym obsługę HSV oprócz RGB, gdzie HSV oznacza „odcień, nasycenie i wartość" (inna nazwa „wartości" to „jasność"). Dostępnych jest kilka niesamowitych filmów FastLED, które szczegółowo wyjaśniają to wszystko – wystarczy przejść do YouTube i wyszukać „FastLED Basics".

Naprawdę fajną rzeczą jest to, że biblioteka FastLED może być używana w połączeniu z biblioteką OctoWS2811. Niestety, nie udało nam się jeszcze ustalić, jak ustawić silnik DMA działający w tle podczas korzystania z tej kombinacji bibliotek; jednak nadal możemy przesyłać wiele ciągów diod LED jednocześnie. Ponieważ nasze wiktoriańskie wyświetlacze mają 10 znaków, traktujemy je jako pięć dwuznakowych par, a ponieważ każda para składa się z 70 diod LED, oznacza to, że nasz czas przesyłania jest teraz skrócony do (70×24)/800 000=2,1 ms, co odpowiednio zwiększa naszą maksymalną możliwą częstotliwość odświeżania.

Poczuj moc

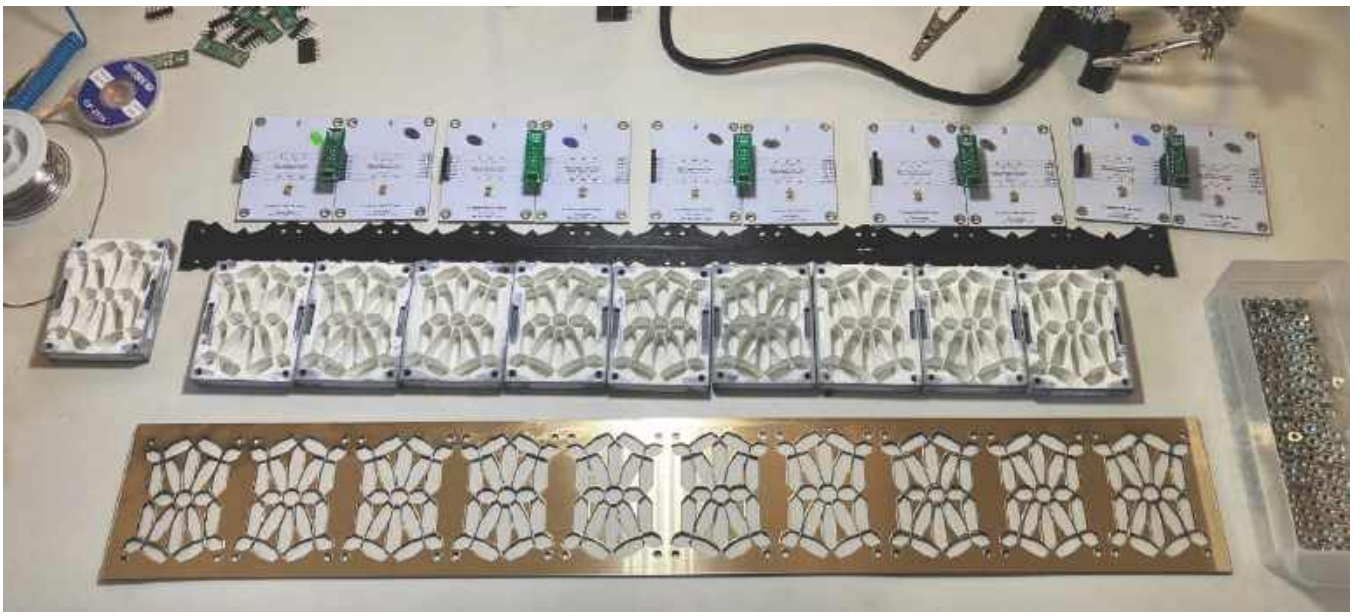
W przypadku przyszłych projektów wykorzystujących mniejszą liczbę diod LED, moglibyśmy zdecydować się na zasilanie tych diod bezpośrednio z głównej płyty sterującej. Jednak, jak wcześniej zauważyliśmy, każda z naszych wiktoriańskich postaci ma 35 diod LED. Są to elementy typu WS2812B, które pobierają maksymalnie 15 mA na każdy podkanał RGB, co oznacza łącznie 3×15=45 mA na urządzenie. Z kolei oznacza to, że gdyby każda dioda LED w każdym segmencie była w pełni biała, każda postać zużywałaby 45×35=1575 mA lub około 1,6 A, co odpowiada 16 A dla całego wyświetlacza. Ups!

Oczywiście jest to najgorszy scenariusz, ale należy go wziąć pod uwagę. Dlatego też, oprócz głównej płytki sterującej, zdecydowaliśmy się również stworzyć płytkę zasilacza (**rysunek 1**). Ponieważ i tak tworzyliśmy tę płytkę, zdecydowaliśmy się dorzucić mięsisty regulator 3,3 V, który może być używany do zasilania takich rzeczy jak czujniki w przyszłych projektach.

Przedwczesne prototypy

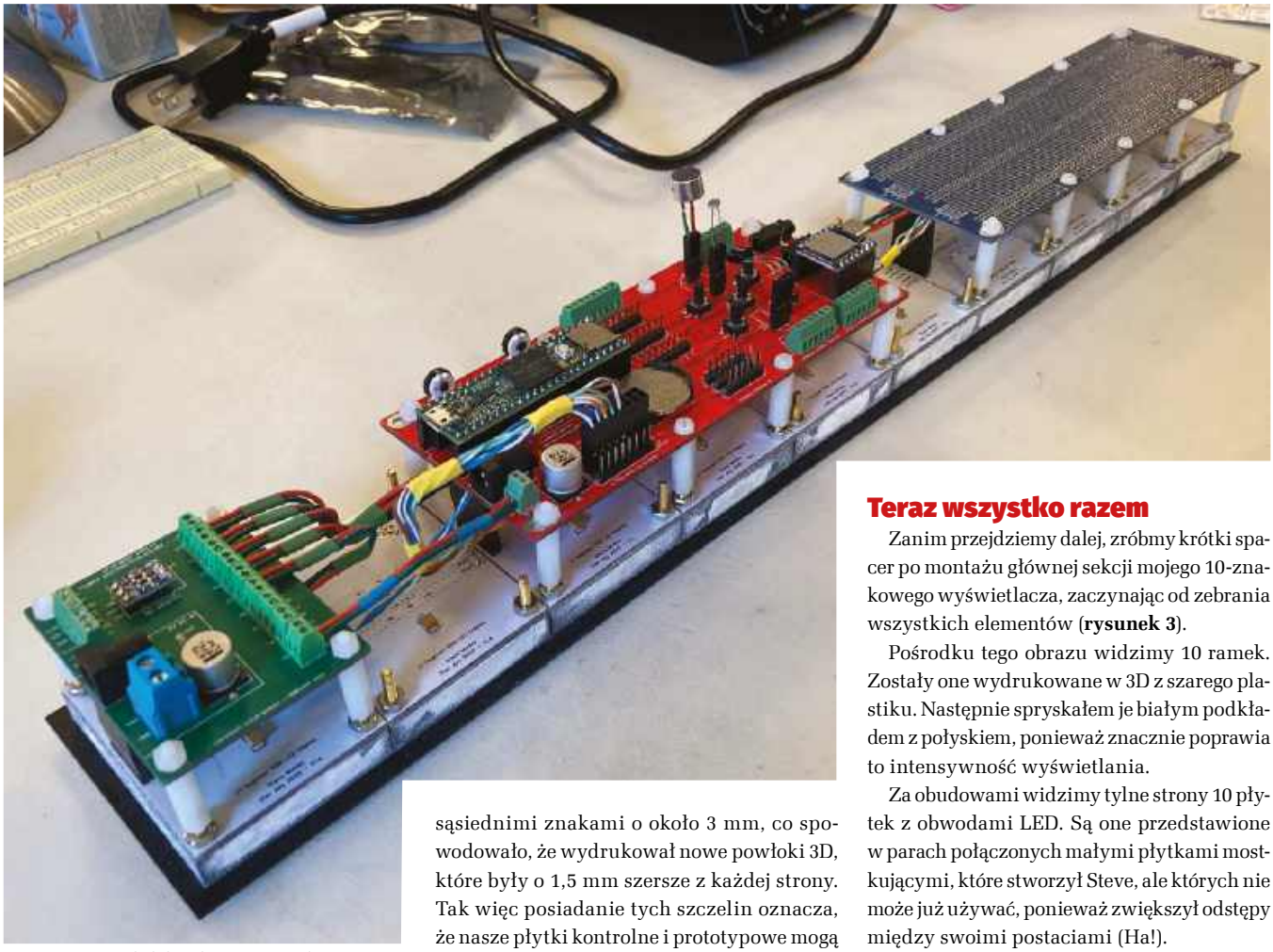
Chociaż staraliśmy się, aby nasza główna tablica kontrolna była tak wszechstronna, jak to tylko możliwe, wasz skromny narrator często pada ofiarą „scope creep", ponieważ ciągle chcę dodawać coraz więcej funkcji.

Na przykład, we wcześniejszym odcinku (EdW 8/2024) mówiłem o dodaniu jednego z 9-DOF (dziewięć stopni swobody) Fusion sensor breakout board (BOB) opartych na BNO055 firmy Adafruit (https://bit.ly/3dP8EwU) do mojej tablicy piłeczek pingpongowych 12×12, pozwalając sobie w ten sposób kontrolować „toczenie się" podświetlonego piksela poprzez wykrywanie nachylenia



Rysunek 3. Rozpoczęcie kompilacji

eprasa.pl bfa7a1d357



Rysunek 4. Podziwiaj moje okablowanie

tablicy. Cóż, w przypadku mojego 10-znakowego wiktoriańskiego wyświetlacza pomyślałem, że fajnie byłoby dodać podobną funkcję, tak aby przechylenie wyświetlacza w lewo mogło spowodować „wsunięcie" tekstu z prawej strony i odwrotnie.

Dlatego też zdecydowaliśmy się stworzyć płytkę prototypową (**rysunek 2**). Jest kilka interesujących rzeczy, na które warto zwrócić uwagę. Zacznijmy od nisko wiszących owoców w postaci otworów montażowych, z których niektóre są szczelinami. Podobny układ znajduje się na głównej płytce sterującej (EdW 2/2025). Stało się tak, ponieważ Steve postanowił zwiększyć odstęp między sąsiednimi znakami o około 3 mm, co spowodowało, że wydrukował nowe powłoki 3D, które były o 1,5 mm szersze z każdej strony. Tak więc posiadanie tych szczelin oznacza, że nasze płytki kontrolne i prototypowe mogą pomieścić oba typy powłok.

Zauważ, że w przeciwieństwie do szyn 5 V i 0 V biegnących poziomo w poprzek górnej i dolnej części płytki, co można zobaczyć na tradycyjnej płytce prototypowej, ta płytka zapewnia również szyny 3,3 V. Co więcej, dzięki przesunięciu przelotek (metalizowanych otworów przelotowych), Steve zdołał wycisnąć trio szyn 5 V, 3,3 V i 0 V biegnących przez środek płytki, zachowując jednocześnie tradycyjną 0,3-calową separację między pionowymi sygnałami komponentów na górnej i dolnej połowie płytki. W rzeczywistości istnieje wiele innych innowacyjnych funkcji związanych z tym wspaniałym pięknem, ale mamy w tym momencie inne ryby do smażenia.

Teraz wszystko razem

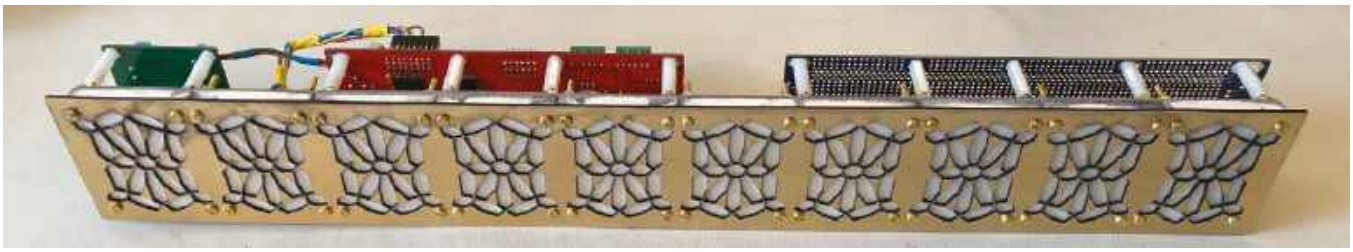
Zanim przejdziemy dalej, zróbmy krótki spacer po montażu głównej sekcji mojego 10-znakowego wyświetlacza, zaczynając od zebrania wszystkich elementów (**rysunek 3**).

Pośrodku tego obrazu widzimy 10 ramek. Zostały one wydrukowane w 3D z szarego plastiku. Następnie spryskałem je białym podkładem z połyskiem, ponieważ znacznie poprawia to intensywność wyświetlania.

Za obudowami widzimy tylne strony 10 płytek z obwodami LED. Są one przedstawione w parach połączonych małymi płytkami mostkującymi, które stworzył Steve, ale których nie może już używać, ponieważ zwiększył odstępy między swoimi postaciami (Ha!).

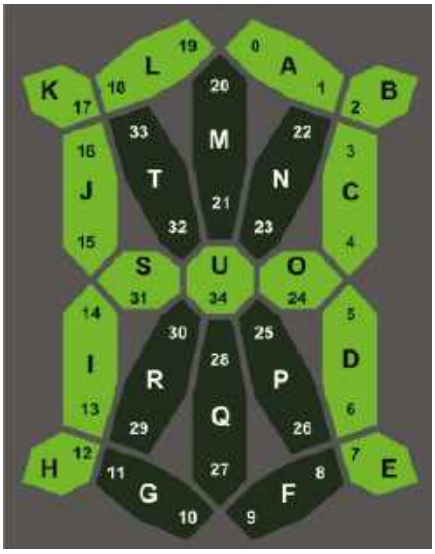
Na pierwszym planie widzimy pseudo mosiężny panel, który został wycięty dla mnie przez mojego kumpla Kevina, który jest właścicielem The Laser Hut w Wielkiej Brytanii (https://bit.ly/2RqQ1Zj). Mam niesamowite plany na obudowę, która pomieści mój wyświetlacz, ale zostawimy to na inny dzień.

Nie będę was zanudzał opisem krok po kroku tej budowy, ale powiem tylko, że okablowanie zajęło mi znacznie więcej czasu niż się spodziewałem, ponieważ nie chciałem zawieść (**rysunek 4**). Jak powiedziałem mojej żonie (Gina the Gorgeous), mógłbym podłączyć wszystko o wiele szybciej, gdybym był gotów poświęcić schludność. Problem polega na tym, że w zamierzchłych czasach, w ramach praktyk przed przejściem do działu



Rysunek 5. Montaż końcowy

eprasa.pl bfa7a1d357



Rysunek 6. Mapa segmentów (źródło obrazu: Steve Manley)

badań i rozwoju, Steve pracował w dziale elektrycznym samolotów. W rezultacie jego okablowanie zawsze wygląda niesamowicie, a ja nie chciałem być gorszy.

W moim przypadku zdecydowałem się zamontować płytkę sterującą na środku wyświetlacza, płytkę dystrybucji zasilania po lewej stronie i płytkę prototypową po prawej stronie. Zauważyliście, że te płytki mają kolory odpowiednio czerwony, zielony i niebieski? To był mały wizualny żart, który łaskotał naszą wyobraźnię. Idealnie byłoby, gdyby płytka dystrybucji zasilania była czerwona, a płytka kontrolna zielona, ale – z nieznanych powodów – fabryka płytek drukowanych (PCB), z której korzystał Steve, naliczyłaby znacznie więcej za 2 uncje miedzi wymagane przez płytkę zasilania na czerwonym podłożu, więc poszliśmy z prądem. Nie wiem jak wy, ale ja jestem pod wrażeniem tego, jak to wszystko wyszło (**rysunek 5**).

Trochę charakteru

Istnieje wiele sposobów, w jakie zamierzamy używać naszych wyświetlaczy. Jednym z nich będzie wyświetlanie informacji numerycznych, takich jak data i godzina. Innym będzie wyświetlanie wiadomości tekstowych. Aby to zrobić, musimy zdecydować, które grupy segmentów muszą być podświetlone, aby reprezentować różne znaki alfanumeryczne i symbole interpunkcyjne.

W Internecie dostępne jest niezwykle przydatne narzędzie do wizualizacji znaków (https://bit.ly/3 wYvvyn). Jest ono prezentowane na dwóch stronach, które można wybrać u góry. Strona „Produced" pozwala na wybór pomiędzy wyświetlaczami 8-, 16-, 24-, 34-, 43-, 66- i 93-segmentowymi (8-segment to tak naprawdę 7-segment z kropką dziesiętną). Dla porównania, strona „Eksperymentalne" umożliwia wybór pomiędzy wyświetlaczami 6-, 21-, 23-, 50-, 52- i 55-segmentowymi.

Zdecydowanie polecam poświęcenie czasu na odwiedzenie tego narzędzia i pobawienie się nim. Przejdź do strony „Eksperymentalne" i wybierz opcję 21-segmentową. Domyślnie wyświetlacz przełącza się między losowymi znakami, ale jeśli zaczniesz pisać, zobaczysz, że wpisywane znaki pojawiają się przed tobą. Co więcej, jeśli przesuniesz kursor myszy po wyświetlaczu, zobaczysz, że segment znajdujący się pod kursorem świeci się na biało (jeśli segment jest aktualnie wyłączony) lub różowo (jeśli segment jest aktualnie włączony). Możesz klikać różne segmenty, aby je włączać i wyłączać, aby zobaczyć, jak będą wyglądać różne kombinacje.

Wyjdź na pierwszy plan

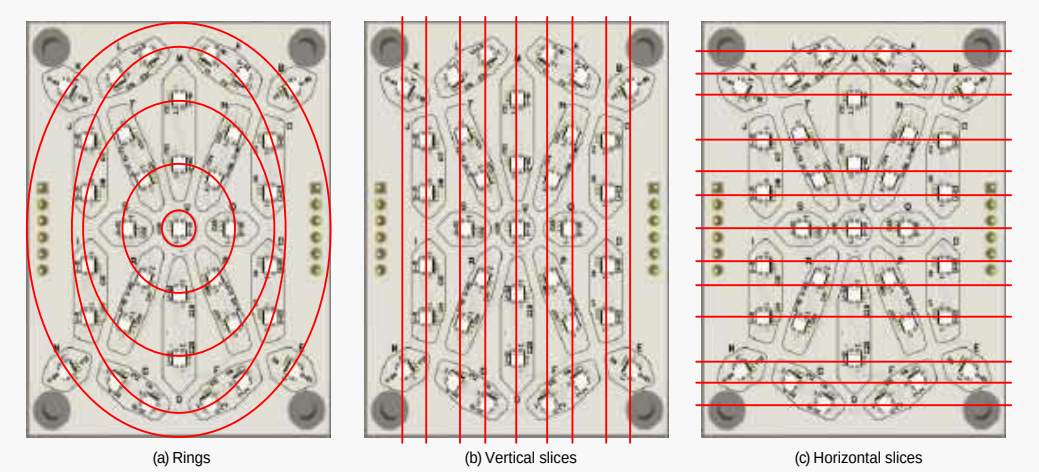
Zanim przejdziemy dalej, zatrzymajmy się, aby rozważyć naszą mapę diod LED/segmentów (**rysunek 6**). Jak widzimy, możemy myśleć o naszych 21 segmentach jako oznaczonych adnotacjami od „A" do „U", a nasze diody LED jako ponumerowane od 0 do 34. Nie będziemy tutaj zagłębiać się w nasz kod. Wystarczy powiedzieć, że mamy definicje, które diody LED odpowiadają którym segmentom i które segmenty odpowiadają którym znakom. Na przykład nasza litera „A" jest zdefiniowana jako zawierająca segmenty A, B, C, D, E, H, I, J, K, L, O, S i U.

Nasze definicje znaków są reprezentowane jako 32-bitowe wartości szesnastkowe, z których tylko 21 bitów jest używanych, gdzie każdy z tych bitów odpowiada segmentowi, a wartości 0 lub 1 są używane do określenia, czy dany segment powinien być odpowiednio wyłączony lub włączony.

Jak więc zamierzamy wyświetlać nasze znaki? Załóżmy, że chcemy wyświetlać białe znaki na czarnym tle. Najprostszym podejściem byłoby rozpoczęcie od wyłączenia wszystkich segmentów (czarny), a następnie włączenie segmentów odpowiadających „1" w naszej definicji (biały). Alternatywnie, jeśli chcemy mieć czarny tekst na białym tle, możemy zacząć od włączenia wszystkich segmentów (biały), a następnie wyczyszczenia segmentów odpowiadających „1" w naszej definicji do wyłączenia (czarny).

Bardziej wyrafinowanym podejściem – tym, którego używamy – jest koncepcja koloru pierwszego planu, koloru tła i maski. Powiedzmy, że ustawiliśmy kolor tła na czarny, a kolor pierwszego planu na biały. Nasza definicja postaci działa jak maska. W przypadku segmentów odpowiadających 0 w naszej definicji znaku, wyświetlamy kolor tła. Dla porównania, w przypadku segmentów odpowiadających 1 w naszej definicji znaku, wyświetlamy kolor pierwszego planu.

Do tej pory zakładaliśmy statyczne kolory. Zaczyna się robić naprawdę sprytnie, jeśli pozwolimy, aby zarówno tło, jak i pierwszy plan były dynamiczne. Na przykład, moglibyśmy zaprezentować stale zmieniającą się tęczę kolorów na segmentach tworzących nasze tło, podczas gdy pierwszy plan miałby statyczny biały kolor. Co więcej, każdy z segmentów tła może mieć ten sam tęczowy kolor lub tęcza może falować na ekranie.



Rysunek 7. Różne sposoby krojenia i kostkowania diod LED

Krojenie na plastry i w kostkę

Gdy już oswoisz się z koncepcją pierwszego planu i tła – w szczególności z faktem, że wszelkie wyświetlane

eprasa.pl bfa7a1d357

przez nas efekty są logicznie oddzielone od sposobu, w jaki kontrolujemy segmenty reprezentujące postacie – zaczniesz zdawać sobie sprawę, jak potężna może być ta technika.

To prowadzi nas do rozważenia różnych sposobów, w jakie możemy zdecydować się pokroić na plastry i w kostkę nasze diody LED. Na przykład, możemy myśleć o nich jako o koncentrycznych pierścieniach (**rysunek 7a**). W takim przypadku moglibyśmy zaimplementować to, co Steve i ja nazywamy efektem wybuchu gwiazdy z różnymi kolorami rozchodzącymi się od środka. Steve stworzył przykładowy film pokazujący tego typu efekt na dwóch sąsiadujących znakach (https://bit.ly/3fZTkjT). Wyobraź sobie teraz wyświetlanie daty, godziny lub tekstu z tym efektem gwiezdnego wybuchu zastosowanym do koloru tła i koloru pierwszego planu ustawionego na biały. Alternatywnie, wyobraź sobie ten efekt zastosowany do koloru pierwszego planu z kolorem tła ustawionym na czarny.

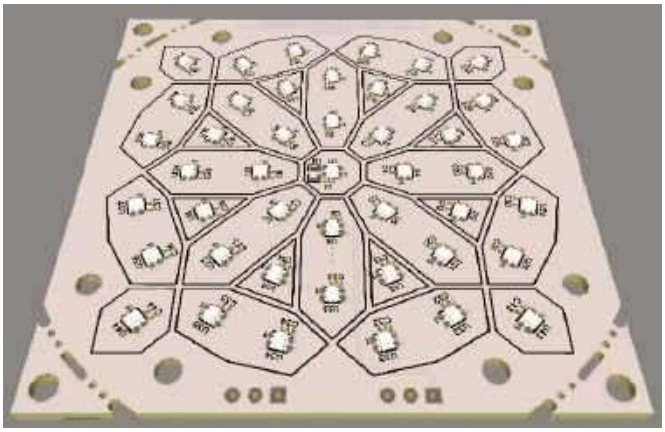
Podobnie, w przypadku niektórych efektów możemy chcieć myśleć o diodach LED zgrupowanych w pionowych kostkach (**rysunek 7b**), podczas gdy w przypadku innych efektów (np. korektora graficznego lub analizatora widma audio) możemy chcieć myśleć o diodach LED zgrupowanych w poziomych „plasterkach" (**rysunek 7c**).

Pobierz SMAD!

Mniej więcej w tym momencie napotkaliśmy pewien problem. W przyszłych felietonach chciałbym podzielić się z wami przykładami kodu, ale kod naszych wiktoriańskich wyświetlaczy jest zbyt skomplikowany, aby pokazać cokolwiek znaczącego w tej sytuacji. Jest też mało prawdopodobne, by wielu czytelników chciało zainwestować czas i wysiłek (oraz pieniądze) w zbudowanie czegoś w rodzaju naszego 10-znakowego, 21-segmentowego wiktoriańskiego wyświetlacza.

Ale odwróć tę zmarszczkę do góry nogami w uśmiech, ponieważ mamy sprytny plan. Rzeczywiście, jest to plan tak przebiegły, że moglibyśmy przypiąć mu ogon i nazwać go łasicą, jak powiedziałby Blackadder (zawsze pamiętaj, że podczas gdy orły mogą szybować, łasice rzadko są wciągane do silników odrzutowych).

To, co zrobiliśmy, to stworzenie specjalnego wcielenia naszego oryginalnego wyświetlacza, gdzie ta nowa wersja nazywa się SMAD (Steve and Max's Awesome Display). Jak widać, przypomina on wyglądem jeden z naszych wiktoriańskich wyświetlaczy, ale jest bardziej symetryczny i zawiera 45 trójkolorowych diod LED pogrupowanych w 29 segmentów (**rysunek 8**). W tym przypadku używamy urządzeń WS2812C, które zużywają maksymalnie tylko 5 mA na każdy podkanał RGB, co oznacza łącznie 3×5=15 mA na urządzenie. Oznacza to, że gdyby każda dioda LED w każdym segmencie była w pełni biała, każdy znak zużywałby tylko 15×45=675 mA lub około 0,7 A.



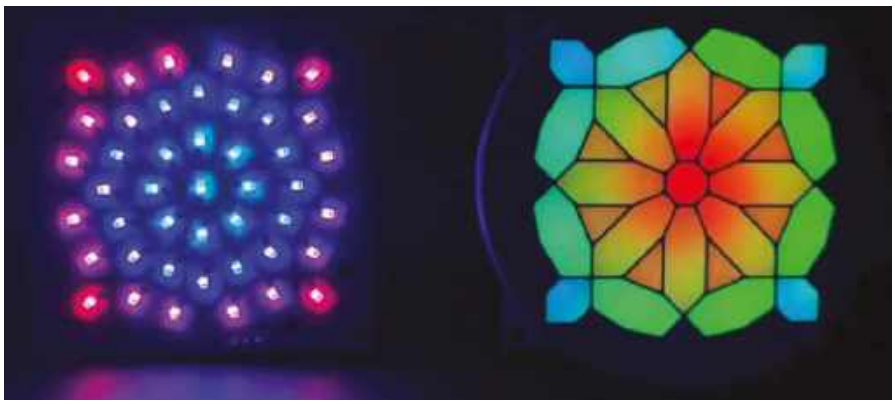
Rysunek 8. Płytka drukowana SMAD z 45 trójkolorowymi diodami LED (źródło obrazu: Steve Manley)

Naprawdę ekscytującą wiadomością jest to, że te płytki SMAD, które są skromnymi kwadratami o wymiarach 70 mm×70 mm, są dostępne w PE PCB Service (https://bit.ly/3wVUgLq) za jedyne 11,95 GBP za sztukę, co obejmuje wysyłkę w Wielkiej Brytanii (wysyłka poza Wielką Brytanię będzie wyceniana osobno). Zwróć uwagę, że na pierwszym planie tego obrazu znajdują się dwa zestawy 3-pinowych padów o rozstawie 0,1 cala. Jeden zestaw zawiera 0 V, 5 V i Data-in (legendy znajdują się z tyłu płytki); drugi zawiera 0 V, 5 V i Data-Out (do użytku, jeśli chcesz połączyć łańcuchowo wiele SMAD-ów). Należy pamiętać, że trzeba dostarczyć własne 3-pinowe złącza lub można przylutować przewody bezpośrednio do padów.

W przyszłych felietonach, oprócz rozmyślań i rozważań na temat naszych wiktoriańskich wyświetlaczy, będziemy przeglądać i zastanawiać się nad małymi programami testowymi do uruchomienia na naszych tablicach SMAD. Myślę, że w ramach jednego z naszych eksperymentów moglibyśmy sprawić, by reagowała na dźwięk w interesujący sposób. Jako kuszący zwiastun, spójrz na wideo z wczesnego testu, który Steve przeprowadził, gdy tylko płytki wróciły z produkcji i montażu (https://bit.ly/3z5xCSJ). Po lewej stronie widzimy gołą płytkę SMAD; po prawej widzimy SMAD z 29-segmentową wydrukowaną w 3D obudową i dyfuzorem (**rysunek 9**).

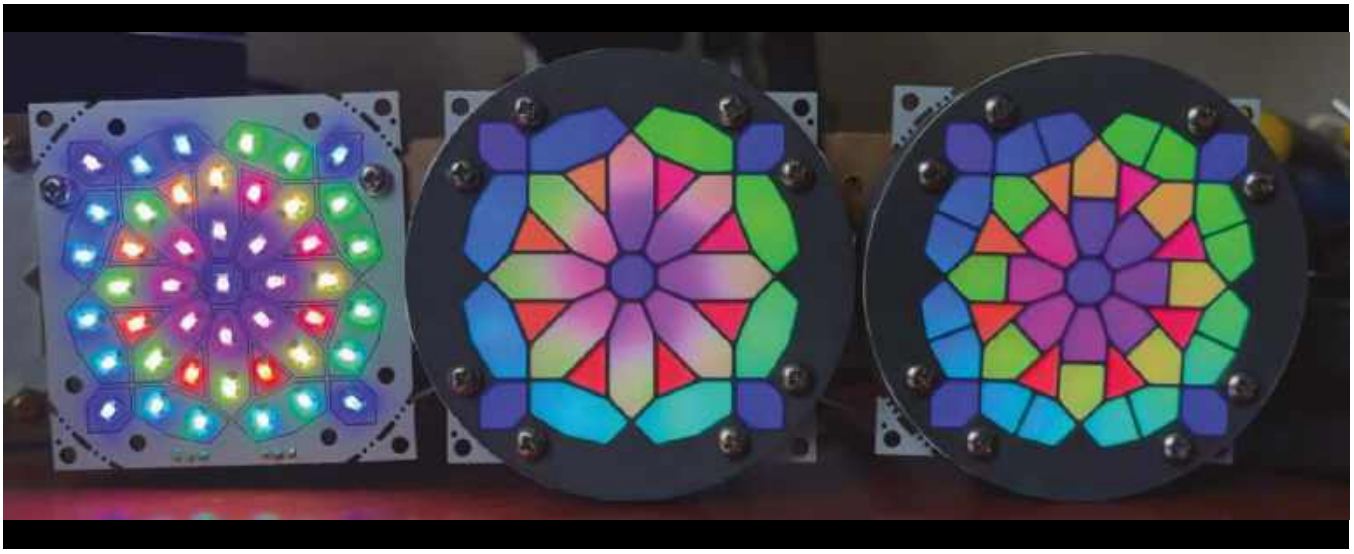
Dla naszych potrzeb stosujemy białe plastikowe arkusze separujące, które można kupić do segregatorów, takie jak białe polipropylenowe przekładki z Toner Ink Online (https://bit.ly/3inEODY). Jeśli przyjrzysz się uważnie, na prawym obrazku możesz zobaczyć rogi kwadratowej płytki drukowanej wystające zza okrągłej obudowy. Wyjaśnia to „wyłamywane" otwory i szczeliny w rogach płytki na **rysunku 8**. Jeśli odłamiesz te rogi, kontur płytki będzie pasował do konturu obudowy.

Jak się przekonasz, możemy tworzyć oszałamiające efekty „Ooh!" i „Aah!" za pomocą jednego SMAD. Teraz wyobraź sobie, co możemy zrobić z dwoma. Pamiętasz film animowany WALL-E, w którym przyjazny mały robot miał dwoje dużych oczu? Cóż, właśnie to planuję zrobić – stworzyć prostą „głowę", która ma dwa SMADy jako oczy, a następnie zobaczyć, jakie efekty mogę stworzyć, takie jak „mruganie" lub „patrzenie" w lewo,



Rysunek 9 Wczesny test: Gołe SMAD (po lewej). SMAD z powłoką i dyfuzorem (po prawej)

eprasa.pl bfa7a1d357



Rysunek 10. Gołe SMAD (po lewej), 29-segmentowa powłoka (w środku) i 45-segmentowa powłoka (po prawej)

w prawo, w górę i w dół. Być może używając kolorów, aby odzwierciedlić emocje, takie jak szczęśliwy, smutny i zły. Świat jest naszym homarem (ostrygą lub innym skorupiakiem).

29 czy 45?

Muszę przyznać, że byłem szczęśliwy – człowiek z planem (jeśli nie mamy planu, nie jesteśmy lepsi niż studenci sztuki, jak to się mówi) – dopóki ten mały łobuz Steve nie wrzucił wielkiego klucza do prac. Ten człowiek po prostu nie może przestać bawić się swoją drukarką 3D. Jak widzieliśmy na rysunku 8 i **rysunku 9**, SMAD-y były pierwotnie pomyślane jako 29-segmentowe wyświetlacze z 13 małymi segmentami zawierającymi po jednej diodzie LED i 16 długimi segmentami zawierającymi po dwie diody LED. Steve postanowił jednak sprawdzić, co by się stało, gdyby stworzył powłokę, która dzieliłaby każdy z dłuższych segmentów na dwie połowy, tworząc w ten sposób 45-segmentowy wyświetlacz.

Początkowo nie byłem fanem tego pomysłu, ponieważ lubię subtelne efekty gradientu, które można uzyskać mieszając dwa kolory w tym samym segmencie. Ale potem Steve stworzył nowy film i teraz nie jestem już taki pewien (https://bit.ly/3pqNavS). Po lewej stronie widzimy gołą płytkę SMAD, w środku widzimy SMAD z 29-segmentową powłoką i dyfuzorem wydrukowanym w 3D, a po prawej stronie widzimy SMAD z 45-segmentową powłoką i dyfuzorem wydrukowanym w 3D (**rysunek 10**).

Obecnie mamy tendencję do odnoszenia się do 29-segmentowych i 45-segmentowych wcieleń odpowiednio jako „gradientowe wypełnienie" i „witrażowe" powłoki/SMAD. Problem polega na tym, że nie mogę się zdecydować, który z nich bardziej mi się podoba. W rezultacie muszę teraz zbudować dwie głowy robotów, jedną z parą oczu wypełnionych gradientem, a drugą z parą oczu witrażowych.

Jeśli zdecydujesz się na zakup jednego lub więcej SMAD-ów i zechcesz wydrukować własne powłoki 3D, Steve uprzejmie udostępnił nam swoje pliki DXF i STL. Skompresowane pliki ZIP zawierające te pliki projektowe są dostępne na stronie PE z sierpnia 2021 r. pod adresem: https://bit.ly/3oouhbl – pliki CB-August21-01.zip i CB-August21-02.zip zawierają pliki odpowiednio dla wyświetlaczy 29-segmentowych i 45-segmentowych. Jeśli zdecydujesz się skorzystać z tych plików, zobaczysz, że obudowy składają się z trzech części: tylnej, przedniej i czołowej (lub płyty czołowej). Steve podzielił główną obudowę o grubości 10 mm na dwie przednie i tylne obudowy o grubości 5 mm, aby ułatwić ich malowanie natryskowe. Cienki arkusz białego plastikowego dyfuzora został umieszczony pomiędzy przednią obudową a płytą czołową o grubości 1 mm.

Ale czekaj, to nie wszystko... Pamiętacie, jak wcześniej w tym artykule wspominałem o moim kumplu Kevinie, który jest właścicielem The Laser Hut? Cóż, na wypadek gdybyś nie miał drukarki 3D, ale nadal chciałbyś mieć kilka obudów do swoich wyświetlaczy SMAD, Kevin może użyć swoich laserów do wycinania obudów z MDF o grubości 9 mm, wraz z okładzinami wyciętymi z czarnych lub pseudo-metalicznych (niklowych) materiałów o grubości 1 mm. W rzeczywistości Kevin przesłał mi film przedstawiający cięcie laserem pseudo-niklowej okładziny (https://bit.ly/3cn7ucu).

W chwili, gdy piszę te słowa, mam przed sobą cztery obudowy MDF – dwie 29-segmentowe i dwie 45-segmentowe. Każdej z tych obudów towarzyszą dwie płyty czołowe, jedna czarna i jedna pseudo-niklowa. Więcej na ten temat opowiem w przyszłym felietonie. Na razie powiem tylko, że Kevin zgodził się dostarczyć te maleństwa każdemu, kto je zechce (można się z nim skontaktować pod adresem pe@thelaserhut.co.uk). Jedna obudowa z płyty MDF o grubości 9 mm i jedna płyta czołowa o grubości 1 mm (do wyboru czarna lub pseudo-niklowa) będą kosztować 10 funtów, a dwie sztuki po 18 funtów. W obu przypadkach opłata pocztowa wyniesie 1,60 funta w UK (opłata pocztowa poza Wielką Brytanią będzie naliczana osobno).

W następnym odcinku

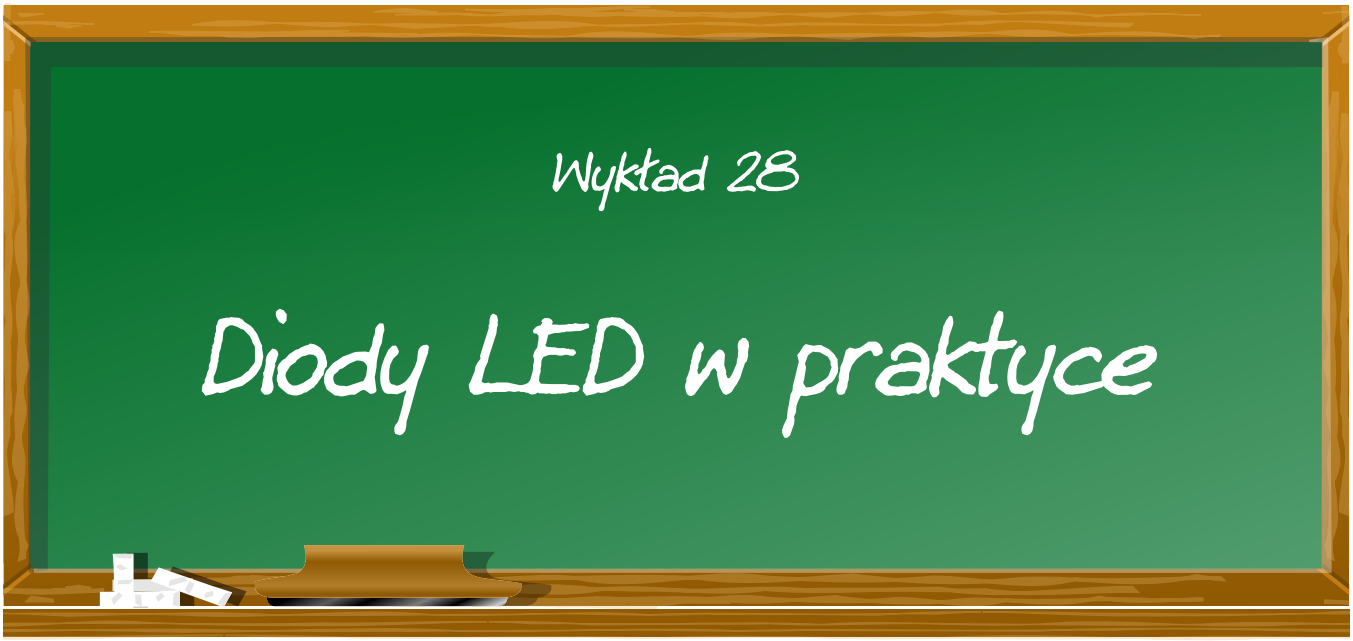
Eeek Alors! Ten odcinek z pewnością „rozrósł się w trakcie opowiadania". Aż boję się pomyśleć, co powie nasz znakomity redaktor i wydawca Matt Pulzer, gdy zobaczy, jak bardzo się rozrosła. Mam tylko nadzieję, że blask uśmiechu Matta będzie nadal rozjaśniał moje życie. W następnym odcinku zagłębimy się w sprawy związane z moim 10-znakowym, 21-segmentowym wyświetlaczem wiktoriańskim, a także zaczniemy tworzyć eksperymentalny kod i efekty do uruchomienia na naszych wyświetlaczach SMAD. Do tego pamiętnego dnia (Callooh! Callay!), jak zawsze czekam na wasze mądre komentarze, wnikliwe pytania i pomocne sugestie. ■

Clive „Max" Maxfield

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

eprasa.pl bfa7a1d357

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.



Elektronika współczesna półprzewodnikami stoi, a krzemowa rewolucja dała nam takie rzeczy, jak potężne komputery mieszczące się w dłoni. Jednakże pierwszym półprzewodnikiem, na który zwraca uwagę i chce wykorzystać każdy początkujący elektronik-amator nie jest tranzystor, wzmacniacz operacyjny czy mikrokontroler. Na tych cichych bohaterów przyjdzie czas później. Nic bowiem nie tak nie przyciąga wzroku, jak dioda LED.

Moja pierwsza wizyta w sklepie z komponentami elektronicznymi, we wczesnych latach 90tych zaczęła się i skończyła na wpatrywaniu się w tablicę demonstrującą wszystkie dostępne wtedy kolory i rozmiary diod LED. Pierwszym zaś samodzielnie wykonanym projektem było pudełko z przełącznikami i potencjometrami włączającymi i regulującymi jasność kilku diod LED w podstawowych kolorach: czerwonym, żółtym i zielonym. Niebieskie LEDy jeszcze nie były dostępne. Pierwszym samodzielnie zlutowanym i od razu zepsutym kitem była elektroniczna ruletka – przegrzałem płytkę lutownicą transformatorową. Znajomy w tym czasie zbudował „mrygacz LED" na tranzystorach, używając płyty paździerzowej, w którą powtykał komponenty oraz kawałków grubszego przewodu by wykonać połączenia po drugiej jej stronie.

Obecnie diody LED są najpowszechniej wykorzystywanymi źródłami światła na całym świecie. Wyparły niemal całkowicie zwykłą żarówkę, pokonały świetlówki kompaktowe, powoli też wypierają uliczne lampy sodowe. W elektronice konsumenckiej zastąpiły klasyczne miniaturowe żarówki i kontrolki neonowe czy wyświetlacze VFD jeszcze w latach 80. ubiegłego wieku. Niemal każdy projekt elektroniczny ma przynajmniej jedną diodę LED, zazwyczaj w roli sygnalizatora działania.

I choć diody LED otaczają nas ze wszystkich stron i cieszą się niesłabnącą popularnością, i tak co jakiś czas ktoś na forach się pyta, jak dobrać rezystor do LEDa.

Co to jest dioda LED?

Dioda elektroluminescencyjna (Light Emitting Diode – LED) to szczególny przypadek diody półprzewodnikowej, w której ubocznym skutkiem przepływu prądu przez złącze P-N jest emisja fotonów o określonej długości fali. Każde złącze półprzewodnikowe emituje światło, ale zwykle w bardzo znikomym stopniu. W przypadku diod LED poprzez dobranie odpowiednich materiałów półprzewodnikowych efekt ten jest zwielokrotniony. Warto też nadmienić, iż te same złącza półprzewodnikowe są również wrażliwe na światło. Ten efekt wykorzystuje się w fotodiodach, fototranzystorach i w ogniwach fotowoltaicznych.

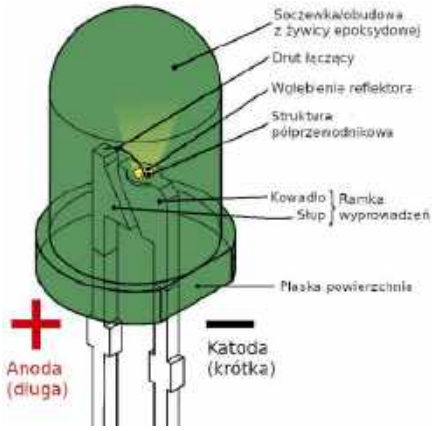
Podstawowymi parametrami każdej diody LED są jej napięcie przewodzenia U_f i prąd przewodzenia I_f. Diody LED są elementami kontrolowanymi prądem, a nie napięciem. Napięcie przewodzenia jest istotne dla poprawnego dobrania rezystora ograniczającego prąd diody. W przypadku diod kolorowych jednym z parametrów jest też długość fali emitowanego światła. Diody białe mają podaną temperaturę barwową oraz wartość CRI, czyli współczynnik oddawania kolorów. Znajdziemy też inne parametry typowe dla wszelkiej maści diod, jak prąd wsteczny, napięcie przebicia czy moc strat.

Informacje o obudowie diody LED też są bardzo istotne. Wybór na rynku jest ogromny, od tradycyjnych, okrągłych diod o średnicy 3 i 5 mm, przez diody miniaturowe SMD w różnych rozmiarach po diody mocno specjalizowane. Do tych ostatnich można zaliczyć na przykład

eprasa.pl bfa7a1d357

diodę SMD świecącą „do płytki", przez dedykowany otwór w laminacie. Dzięki temu na płaskiej stronie płytki, gdzie występują tylko ścieżki można wykonać pola stykowe dla klawiatury membranowej, a diody LED będą przez nią przeświecały zapewniając informację dla użytkownika urządzenia. Takie rozwiązanie napotkałem na płytce od laktatora Philips Avent. W ten sposób realizuje się też podświetlenie w komputerowych klawiaturach mechanicznych, z tą jednak różnicą, iż nad diodą znajduje się przełącznik z otworem dla niej lub z przeźroczystym elementem, który dioda rozświetla od spodu. Niektóre diody mają też obudowę w kolorze emitowanego światła, aby poprawić jego barwę, część diod ma też obudowę mleczną by lepiej to światło rozproszyć. Diody wielokolorowe mogą też mieć obudowę bezbarwną lub bezbarwną mleczną by lepiej rozproszyć światło. **Rysunek 1** przedstawia budowę typowej diody LED oraz oznaczenia polaryzacji, natomiast **fotografia 1** diody w najróżniejszych rozmiarach i kolorach.

Fotografia 1. Najpopularniejsze kształty i rozmiary diod LED do montażu przewlekanego



Rysunek 1. Budowa typowej diody LED 3 mm/5 mm. Czytelnik powinien zwrócić szczególną uwagę na sposób oznaczania polaryzacji

Diody LED występują też w formie gotowych modułów. Znajdziemy zatem słupki LED, wyświetlacze 7-, 9-, 14- i szesnastosegmentowe czy matryce LED 5×7 i 8×8. **Fotografie 2** i **3** pokazują wyświetlacze siedmiosegmentowe oraz gotowe, chińskie moduły wyświetlaczy ze sterownikami na płytkach drukowanych. **Rysunek 2** zaś przedstawia wygląd wyświetlaczy 7-, 9-, 14- i 16-segmentowych. Warto zwrócić uwagę na to, iż moduły te są zaprojektowane tak, by można było z łatwością złożyć wyświetlacze o większym rozmiarze – ma to szczególne znaczenie dla matryc, z których buduje się tablice informacyjne i reklamowe.

Fotografia 2. Wyświetlacze siedmiosegmentowe

Diody LED mocy bywają zbudowane z wielu mniejszych diod w konfiguracji szeregowo-równoległej, podobnie jak paski diodowe do żarówek udających tradycyjne. Ponadto w jednej obudowie może być kilka niezależnych diod o różnych kolorach, a także układy scalone, ale o tym będzie w dalszej części artykułu. Czytelnik łatwo znajdzie diodę LED na każdą okazję.

Dobieranie rezystora do diody LED

Wzór ogólny wygląda tak:

$$R = \frac{U_{CC} - U_f}{I_f}$$

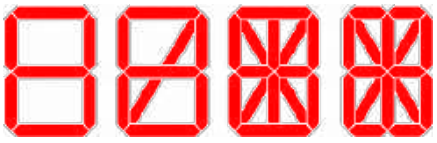
gdzie U_{CC} to napięcie zasilania, U_f to napięcie przewodzenia diody LED, a I_f to pożądany prąd przewodzenia diody. Ten ostatni parametr ma wpływ na jasność diody. Napięcie przewodzenia diody LED i jej prąd maksymalny są podane w nocie katalogowej. Można też zmierzyć napięcie przewodzenia za pomocą testu diody dostępnego w niemal każdym multimetrze. Warto tu zaznaczyć, iż niektóre diody: niebieskie, białe i ultrafioletowe wymagają wyższych napięć, których multimetr może nie dostarczyć. Możemy też przyjąć, iż maksymalny prąd diody wynosi 20 mA.

Fotografia 3. Gotowe, chińskie moduły wyświetlacza siedmiosegmentowego i matrycy LED 8×8

By ułatwić życie początkującym sporządziłem **tabelę 1**, która zawiera napięcia przewodzenia dla poszczególnych kolorów diod LED wraz z wyliczonymi wartościami rezystorów dla typowych napięć przewodzenia przy prądach 12,5 mA, 15 mA i 20 mA oraz typowych napięć zasilania 3.3 V, 5 V, 9 V, 12 V, 15 V i 24 V. Jeśli chcemy uzyskać prąd o połowę mniejszy, niż występuje w tabeli, mnożymy rezystancję przez dwa, dla prądu trzykrotnie mniejszego mnożymy przez trzy. Wartości rezystorów należy zaokrąglić do najbliższej wartości w szeregu E24. Dla 20 mA lepiej zaokrąglać w górę. Po wybraniu rezystora należy obliczyć jego moc strat wedle wzoru:

$$P = R \cdot I_f^2$$

Dla ułatwienia:
P(12,5 mA)=R·0,00015625
P(15 mA)=R·0,000225
P(20 mA)=R·0,0004



Rysunek 2. Wzory wyświetlaczy 7-, 9-, 14- i 16-segmentowych. Występują one nie tylko w wyświetlaczach LED, ale też VFD i LCD

eprasa.pl bfa7a1d357

Tabela 1. Zestawienie diod LED różnych kolorów oraz dokładne wartości rezystorów dla poszczególnych kolorów, prądów i napięć zasilania

Podczerwone: 1,9 V						
Diody stosowane głównie w pilotach do sprzętu RTV oraz jako oświetlacze dla kamer widzących w rzekomej ciemności.						
I_f (1,9 V)	3,3 V	5 V	9 V	12 V	15 V	24 V
12,5 mA	112 Ω	248 Ω	568 Ω	808 Ω	1048 Ω	1768 Ω
15 mA	93,3 Ω	206,6 Ω	473,3 Ω	673,3 Ω	873,3 Ω	1473,3 Ω
20 mA	70 Ω	155 Ω	355 Ω	505 Ω	655 Ω	1105 Ω
Czerwone: 1,6...2 V						
Jedne z pierwszych wynalezionych diod LED. Często spotykane w wyświetlaczach oraz jako kontrolki zasilania. Ten kolor nie męczy oczu w nocy i nie jest zbyt dobrze widoczny z dużej odległości.						
I_f (1,9 V)	3,3 V	5 V	9 V	12 V	15 V	24 V
12,5 mA	112 Ω	248 Ω	568 Ω	808 Ω	1048 Ω	1768 Ω
15 mA	93,3 Ω	206,6 Ω	473,3 Ω	673,3 Ω	873,3 Ω	1473,3 Ω
20 mA	70 Ω	155 Ω	355 Ω	505 Ω	655 Ω	1105 Ω
Bursztynowe/pomarańczowe: 2...2,1 V						
Kolor, który gorąco polecam do wskaźników zasilania – przypomina nieco staroświeckie neonówki i podobnie, jak czerwony nie razi w oczy.						
I_f (2,1 V)	3,3 V	5 V	9 V	12 V	15 V	24 V
12,5 mA	96 Ω	232 Ω	552 Ω	792 Ω	1032 Ω	1752 Ω
15 mA	80 Ω	193,3 Ω	460 Ω	660 Ω	860 Ω	1460 Ω
20 mA	60 Ω	145 Ω	345 Ω	495 Ω	645 Ω	1095 Ω
Żółte: 2,1...2,2 V						
Bardzo lubię ten kolor. Świetnie nadaje się do wyświetlaczy siedmiosegmentowych, które mają być czytelne zarówno w dzień, jak i w nocy, choć w ciemnościach mogą już trochę razić.						
I_f (2,1 V)	3,3 V	5 V	9 V	12 V	15 V	24 V
12,5 mA	96 Ω	232 Ω	552 Ω	792 Ω	1032 Ω	1752 Ω
15 mA	80 Ω	193,3 Ω	460 Ω	660 Ω	860 Ω	1460 Ω
20 mA	60 Ω	145 Ω	345 Ω	495 Ω	645 Ω	1095 Ω
Zielone: 1,9...4 V						
Kolor najlepiej rozróżniany przez ludzkie oko (dlatego prawdziwe noktowizory dają zielony, monochromatyczny obraz). Kolor dobrze widoczny, a przez to może być już lekko denerwujący we wskaźnikach zasilania w nocy. Wyświetlacze siedmiosegmentowe w tym kolorze nieodmiennie kojarzą mi się z kasami fiskalnymi. Szeroki rozrzut dostępnych napięć wynika z różnorodności stosowanych materiałów półprzewodnikowych do ich wyrobu.						
I_f (2,5 V)	3,3 V	5 V	9 V	12 V	15 V	24 V
12,5 mA	64 Ω	200 Ω	520 Ω	760 Ω	1000 Ω	1720 Ω
15 mA	53,3 Ω	166,6 Ω	433,3 Ω	633,3 Ω	833,3 Ω	1433,3 Ω
20 mA	40 Ω	125 Ω	325 Ω	475 Ω	625 Ω	1075 Ω
Niebieskie: 2,5...3,7 V						
Niezwykle wręcz popularny we wszelkich wskaźnikach zasilania i jako wyświetlacz siedmiosegmentowy. Nieodmiennie od lat rażą w oczy i denerwują w nocy. Używanie tego koloru diod w amatorskich konstrukcjach to dla mnie oznaka kiczu i bezguścia. Kojarzy się też z chińską tandetą.						
I_f (3 V)	3,3 V	5 V	9 V	12 V	15 V	24 V
12,5 mA	24 Ω	160 Ω	480 Ω	720 Ω	960 Ω	1680 Ω
15 mA	20 Ω	133,3 Ω	400 Ω	600 Ω	800 Ω	1400 Ω
20 mA	15 Ω	100 Ω	300 Ω	450 Ω	600 Ω	1050 Ω
Fioletowe: 2,8...4 V						
Jak na razie, spotkałem się z tą barwą diod tylko raz i zachwycony nie jestem. Nie denerwuje tak bardzo, jak niebieskie LEDy, ale nie widzę dla tych diod innego zastosowania, niż w roli „ozdobników".						
I_f (3,3 V)	3,3 V	5 V	9 V	12 V	15 V	24 V
12,5 mA	–	136 Ω	456 Ω	696 Ω	936 Ω	1656 Ω
15 mA	–	113,3 Ω	380 Ω	580 Ω	780 Ω	1380 Ω
20 mA	–	85 Ω	285 Ω	435 Ω	585 Ω	1035 Ω

eprasa.pl bfa7a1d357

Ultrafioletowe: 3,1...4,4 V						
Diody te znane są głównie z breloczków sprawdzających prawdziwość banknotów i długopisów z atramentem sympatycznym. Mogą też być alternatywną formą oświetlaczy dla kamer widzących w ciemności oraz realizować funkcje dezynfekcyjne. Budowanie stacji dezynfekujących z tymi diodami stało się dość popularnym projektem w ostatnich czasach.						
I_f (3,7 V)	3,3 V	5 V	9 V	12 V	15 V	24 V
12,5 mA	–	104 Ω	424 Ω	664 Ω	904 Ω	1624 Ω
15 mA	–	86,6 Ω	353,3 Ω	553,3 Ω	753,3 Ω	1353,3 Ω
20 mA	–	65 Ω	265 Ω	415 Ω	565 Ω	1015 Ω

Diody LED białe

W tabeli 1 nie uwzględniono istotnego koloru, jakim jest kolor biały. Nie jest to niedopatrzenie z mojej strony, lecz celowy zabieg. Trzeba bowiem najpierw odpowiedzieć na bardzo istotne pytanie: **jakiego koloru jest biała dioda LED?**

Czytelnika może to zdziwić, ale nie jest to kolor biały. W dodatku białe diody nie są w rzeczywistości białe. Kolor biały w tych diodach można uzyskać na dwa sposoby. Prostym i oczywistym sposobem użycie diod czerwonej, zielonej i niebieskiej do uzyskania białego koloru. Tak się tworzy kolor biały w kolorowych telewizorach i monitorach kineskopowych. W przypadku ekranów LCD białe światło podświetlenia jest filtrowane za pomocą matrycy złożonej z subpikseli w tych kolorach, a zmiana ich przeźroczystości tworzy wszystkie dostępne kolory. W przypadku kineskopów trzy wiązki elektronów, każda odpowiedzialna za jeden kolor, są jednocześnie modulowane informacją o kolorze, i omiatają ekran pokryty pasami luminoforów w tych podstawowych barwach, a metalowa maskownica zapewnia, za pomocą sprytnego wykorzystania geometrii, by wiązka elektronów odpowiedzialna za jeden kolor nie trafiła na luminofor koloru innego. Pod wpływem tych wiązek luminofory emitują światło widzialne w kolorze czerwonym, zielonym i niebieskim.

Zarówno w przypadku diod LED RGB, jak i dla ekranów różnego typu sprawdza się to nieźle, ale współczynnik oddawania barw może nie być najlepszy, a użycie tak uzyskanego światła białego jako oświetlenia sprawia, iż inne, naturalnie występujące kolory są przekłamane, lub całkiem niewidoczne, Dlatego do zastosowań oświetleniowych stosowany jest inny, dużo lepszy sposób. **Zatem jakiego koloru jest biała dioda LED nie oparta o mieszanie kolorów podstawowych?**

Biała dioda LED nie jest biała, lecz żółta bądź pomarańczowa. A jest żółta bądź pomarańczowa, gdyż w rzeczywistości jest niebieska lub ultrafioletowa. Jest to całkowicie logiczne. Po prostu diodę w kolorze niebieskim lub UV pokrywa się wrażliwą na te barwy mieszanką luminoforów znanych ze świetlówek, a światło białe jest rezultatem wtórnej emisji. W świetlówkach znajduje się mieszanina gazów i oparów rtęci, które pod wpływem wyładowania elektrycznego emitują światło ultrafioletowe, to światło zaś powoduje wtórną emisję światła białego przez luminofory pokrywające od środka szklaną rurkę. Analogicznie działa to w przypadku diod LED emitujących białe światło. Dlatego też diody białe należy traktować jak diody niebieskie bądź UV. Napięcie przewodzenia może wynosić 3…5 V (za notą TI SLVA130 „White LED Power Supply Design Techniques" od Texas Instruments), ale typowe diody LED mieszczą się w zakresie 3,1…3,7 V. Czytelnik może dla ułatwienia przyjąć wartości podane w tabeli 1 dla kolorów niebieskiego, fioletowego bądź UV.

Szeregowe łączenie diod LED

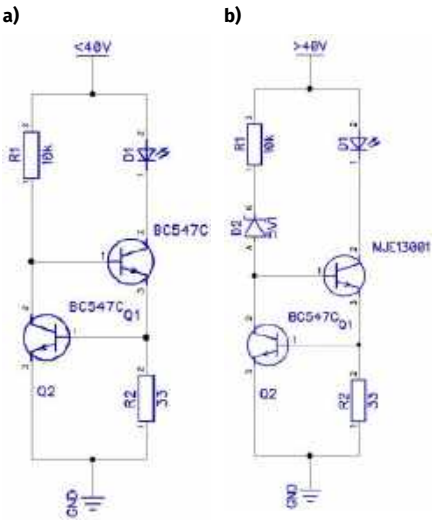
Metoda z rezystorem. Metoda ta jest prosta i tania, i opiera się na takim dobraniu liczby diod, napięcia zasilania i rezystora ograniczającego prąd, by prąd przepływający przez diody mieścił się w pożądanym zakresie. Ponieważ jednak występuje duży rozrzut napięć przewodzenia, w metodzie tej należy zakładać najniższe napięcie przewodzenia każdej diody i maksymalny pożądany prąd. Wtedy jeśli część diod ma wyższe napięcie, spadnie średni prąd płynący przez nie. Wartość rezystora oblicza się wg wzoru:

$$R = \frac{U_{CC}-(U_{f1}+U_{f2}+U_{f3}+...+U_{fn})}{I_f}$$

Wzór ten przyda się szczególnie przy łączeniu diod o różnych kolorach. Dla diod tego samego typu wzór wygląda tak:

$$R = \frac{U_{CC}-(U_{fmin}\cdot n)}{I_f}$$

gdzie n to liczba diod w szeregu. Warto też pamiętać, iż jeśli sumaryczne napięcie przewodzenia diod będzie bliskie napięciu zasilania, to część diod może wcale nie świecić. Podobnie jeśli napięcie zasilania nie jest stabilne, to jasność świecenia diod też będzie się zmieniać, a w skrajnych przypadkach tak stworzony szereg może ulec awarii. Można to zaobserwować szczególnie w przypadku tanich lampek choinkowych LED, gdzie nie ma żadnego zasilacza, a girlanda jest włączona do gniazdka praktycznie przez pojedynczą diodę prostowniczą i rezystor.



Rysunek 3. Źródło prądowe dla diod LED z napięciem zasilania do 40 V (a) i powyżej 40 V (b)

Zasilanie źródłem prądowym

Diody LED są sterowane prądowo, dlatego logicznym jest użycie źródła prądowego. Stabilizując prąd nie musimy przejmować się napięciem przewodzenia diod, z jednym wyjątkiem: sumaryczne, maksymalne napięcie przewodzenia powinno być

eprasa.pl bfa7a1d357

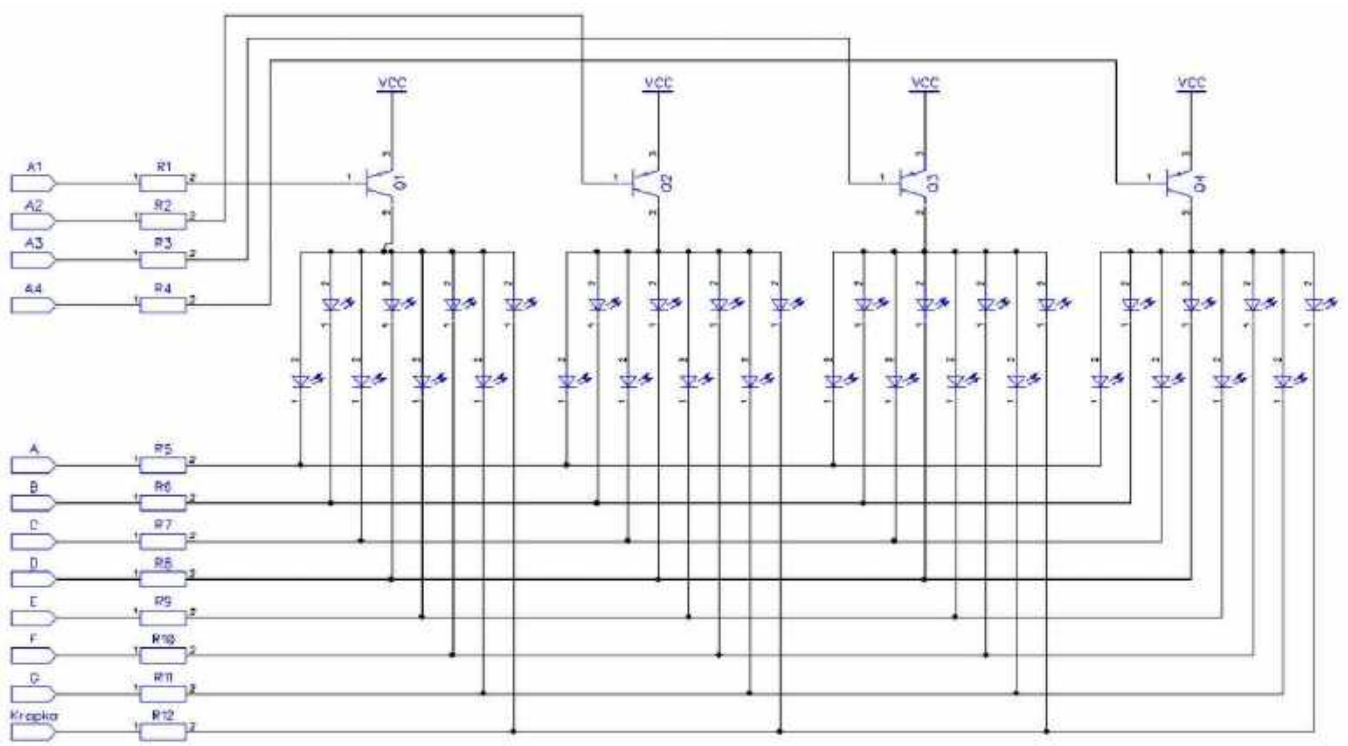
niższe od napięcia zasilania o około 1 V. Maksymalne napięcie U_{CE} tranzystorów zaś powinno być wyższe od napięcia zasilania. **Rysunek 3** przedstawia dwa rozwiązania układowe, jedno przeznaczone do zasilania napięciem do 40 V, drugie znajdujące zastosowanie przy napięciach wyższych. Zaczniemy od **rysunku 3a**, przedstawiającym klasyczny układ źródła prądowego zbudowanego na dwóch tranzystorach BC547C i dwóch rezystorach. R1 polaryzuje bazę Q1 i dostarcza napięcie na kolektor Q2. R2 mierzy prąd na emiterze Q1, i gdy ten jest wystarczająco wysoki, spadek napięcia na tym rezystorze jest wyższy niż 0,65 V, czyli napięcie U_{BE} Q2, przez co ten zaczyna przewodzić, co redukuje prąd płynący do bazy Q1, a to ogranicza prąd kolektora, co zmniejsza spadek napięcia na R2, co z kolei zmniejsza prąd płynący przez Q2. Na schemacie narysowana jest pojedyncza dioda LED, ale w jej miejscu może się znajdować się dowolna ich ilość, pod warunkiem, iż połączone są szeregowo, a sumaryczne napięcie spadku jest mniejsze o 1 V od napięcia zasilania. Jeśli chcemy kontrolować pracę diod LED za pomocą mikrokontrolera, to wystarczy R1 podłączyć do jego wyjścia zamiast do napięcia zasilania.

Dla pracy z wyższymi napięciami trzeba układ nieco zmodyfikować, co przedstawia schemat z **rysunku 3b**. Do układu dodano diodę Zenera D2, której wartość napięcia Zenera powinna być tak dobrana, by na kolektorze Q1 napięcie nie mogło przekroczyć 40 V. Drugą zmianą jest zastąpienie tranzystora Q1 tranzystorem mocy o wysokim napięciu U_{CE} – na schemacie znajduje się MJE13001, tani tranzystor o maksymalnym napięciu pracy 600 V. Dzięki temu obwód może pracować nawet z wyprostowanym napięciem sieciowym, aczkolwiek w takim przypadku **należy zachować szczególne środki ostrożności z powodu ryzyka porażenia prądem!**

Wyświetlacze i matryce LED

Wiemy już, jak dobrać rezystor do diody LED i jak zasilać cały łańcuch diod. Ba, w dość prosty sposób możemy nawet nimi sterować. Ale co zrobić, jeśli chcemy wykorzystać diody LED do czegoś więcej, niż do roli prostych kontrolek czy oświetlenia? Jak wykorzystać na przykład matrycę LED lub wyświetlacz siedmiosegmentowy do wyświetlania informacji? W teorii moglibyśmy załączać każdą diodę indywidualnie w wyświetlaczu siedmiosegmentowym, co oznacza, iż dla wyświetlania czterech cyfr potrzebne by były aż 32 linie sterujące (doliczając kropki). Zapomnieć też można o matrycach LED, z indywidualnym wyprowadzeniem dla każdej diody – nie są zwyczajnie produkowane. **Dlaczego?**

Problem sterowania wyświetlaczami rozwiązano już w czasach lamp elektronowych, a dokładniej to lamp Nixie i VFD. Lampy te mają wspólną anodę i zestaw katod, z których każda załącza jedną cyfrę lub znak w lampie Nixie albo jeden segment w lampie VFD (lub w siedmiosegmentowym wariancie Nixie pod nazwą Panaplex). Katody poszczególnych lamp są połączone ze sobą równolegle, anody zaś są załączane po kolei. Tak zbudowany wyświetlacz potrzebuje tyle linii anodowych, ile jest w nim lamp, i tyle linii katodowych, ile ma lampa z ich największą liczbą. Pojawienie się diod i wyświetlaczy LED ułatwiło sprawę, bo pozwoliło obniżyć napięcie zasilania, co z kolei uprościło układy sterujące. Dało to też nowy sposób sterowania wyświetlaczami wynikający z łączenia razem katod zamiast anod. Dla matryc diodowych anody diod w rzędzie łączone są do wspólnego wyprowadzenia, podobnie katody diod w kolumnie są połączone razem do innego, wspólnego wyprowadzenia, stąd właśnie matryca diod. O ich sterowaniu będzie w dalszej części artykułu.



Rysunek 4. Sterowanie wyświetlaczami w układzie wspólnej anody

eprasa.pl bfa7a1d357

Wspólna katoda czy wspólna anoda?

Generalnie nie ma zbyt wielkiej różnicy między sterowaniem wyświetlaczami o wspólnej anodzie i o wspólnej katodzie. Zmienia się tylko typ użytego tranzystora wybierającego wyświetlacz z zestawu oraz polaryzacja sygnałów sterujących. Niech za przykład posłuży zestaw czterech wyświetlaczy siedmiosegmentowych.

Rysunek 4 przedstawia schemat sterowania wyświetlaczy ze wspólną anodą. Rezystory R1…R4 oraz tranzystory PNP Q1…Q4 służą do selekcji jednego z czterech wyświetlaczy. Rezystory R5…R12 wybierają poszczególne katody diod do zapalenia. Ich wartości dobiera się wedle prądu I_f i napięcia U_f diod w wyświetlaczach. R1…R4 mogą mieć typową wartość 10 kΩ. Tranzystory powinny mieć dopuszczalny prąd maksymalny $8 \cdot I_f$. W tym układzie połączeń polaryzacja sygnałów jest odwrotna i na wyjściach anodowych (do R1…R4) i katodowych (R5…R12) domyślnie panuje stan wysoki.

Sekwencja sterowania wygląda więc tak:

1. Ustawiamy stan niski na R1.
2. Ustawiamy stan niski na wybranych wyjściach katodowych.
3. Czekamy.
4. Ustawiamy stan wysoki na wszystkich wyjściach katodowych.
5. Ustawiamy stan wysoki na R1.

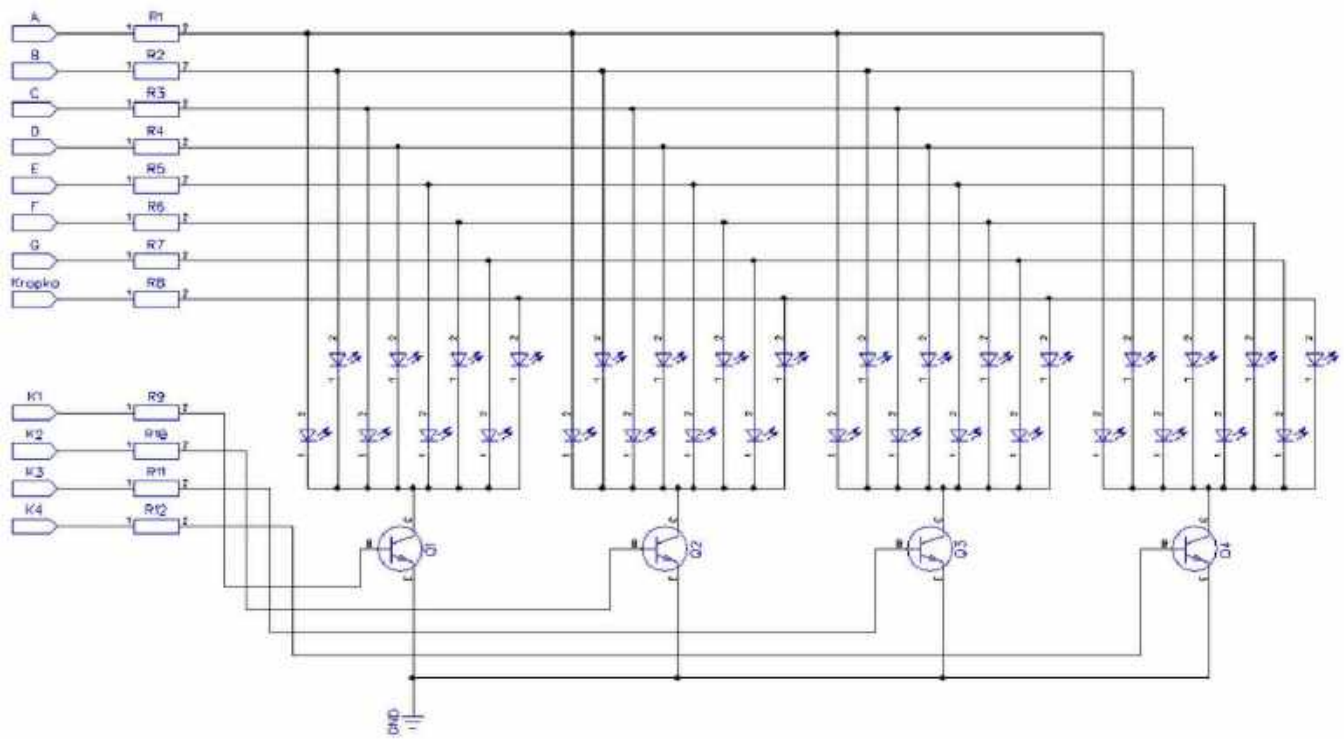
Sekwencję powtarzamy dla każdego wyjścia anodowego tak szybko, by sekwencja dla całego wyświetlacza powtórzyła się przynajmniej 20…25 razy na sekundę. Najlepiej zmiany stanów wyjść realizować w przerwaniu wywołanym przez jeden z timerów mikrokontrolera.

Rysunek 5 przedstawia schemat układu z wyświetlaczami o wspólnej katodzie. Tym razem R1…R8 wybierają anody wyświetlaczy, podczas gdy R9…R12 wybierają ich wspólne katody przez tranzystory NPN Q1…Q4. Teraz stan wysoki na wybranych wyjściach anodowych i katodowym zapala segmenty wyświetlaczy, a stan niski je gasi. Sekwencja sterująca ze strony mikrokontrolera jest praktycznie identyczna, różni się tylko polaryzacją. Dla mnie to jest preferowany sposób sterowania, przy czym zamiast tranzystorów NPN można użyć tranzystorów MOSFET-N typu logic level i o niskim $R_{DS(ON)}$, zwłaszcza gdy sterujemy nie wyświetlaczem, a matrycą wielu diod LED, o czym poniżej.

Matryca RGB z rejestrami przesuwnymi i tranzystorami MOSFET-N

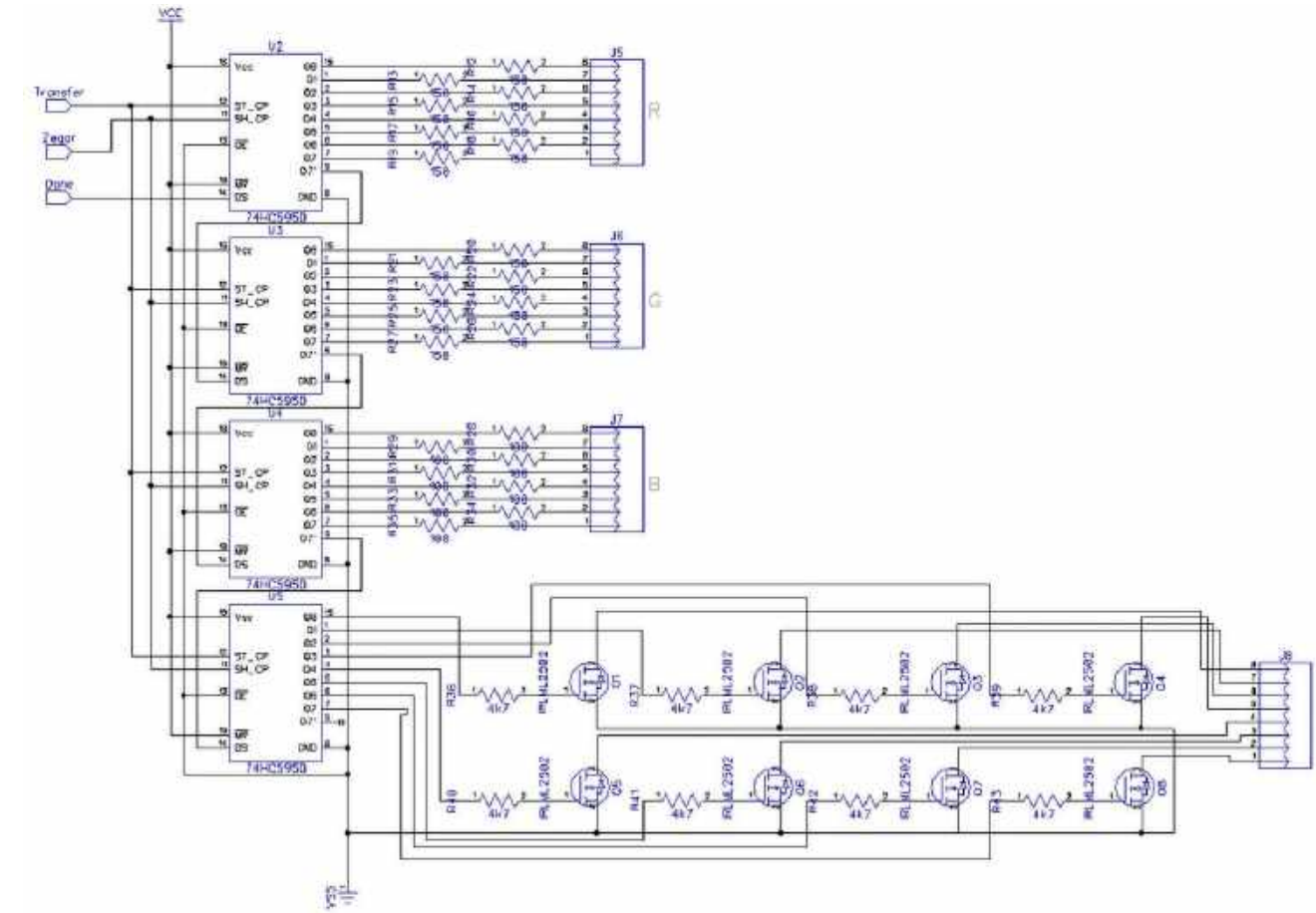
Jest to rozwiązanie dedykowane do łatwego sterowania dużymi ilościami diod LED przy minimalnej ilości pinów mikrokontrolera. Na **rysunku 6** przedstawiam fragment schematu pewnego układu, nad którym pracowałem, a dokładniej układ sterowania matrycą 64 diod RGB. Jest to matryca LED o konfiguracji 8×8, gdzie rzędy mają wspólne anody, a kolumny wspólne katody. Technicznie rzecz biorąc to matryca 24×8, gdyż każda dioda ma wspólną katodę dla kolorów czerwonego, zielonego i niebieskiego.

Mamy tu cztery rejestry przesuwne 74HC595 połączone w łańcuch. Sterowane są one trzema sygnałami: Zegar, Dane i Transfer. Za każdym razem, gdy pin Zegar przechodzi ze stanu niskiego w wysoki, bieżący stan pinu Dane jest ładowany na pozycję Q0 wewnętrznego rejestru układu 74HC595, a na wyjściu Q7S pojawia się stan z pozycji Q7 rejestru. To wyjście rejestru łączy się z wejściem



Rysunek 5. Sterowanie wyświetlaczami w układzie wspólnej katody

eprasa.pl bfa7a1d357



Rysunek 6. Przykład sterownika matrycy RGB 8×8 na rejestrach przesuwnych i tranzystorach MOSFET

następnego. Dzięki takiemu połączeniu możemy przesłać do rejestrów 32 bity jednym ciągiem. Zmiana stanu pinu Transfer z niskiego na wysoki załaduje stany rejestrów na ich wyjścia Q0…Q7. Pierwsze trzy rejestry sterują anodami czerwonymi, zielonymi i niebieskimi. Czwarty kontroluje katody przez tranzystory MOSFET-N typu logic level. Dlaczego? Bo przez każdy z nich może popłynąć prąd $24 \cdot I_f$, czyli aż 480 mA.

Stan matrycy zapisany był w pamięci w formie trzech tablic (R, G i B), po osiem bajtów na tablicę. Każdy bajt reprezentował jedną kolumnę matrycy. Co pięć milisekund (dzięki przerwaniu od timera) program składał bajt wybierający jedno z ośmiu wyjść sterujących katodami oraz trzy wartości z tablic R, G i B, po czym przesyłał je razem tak szybko, jak się da do rejestrów. Na koniec pin Transfer przechodził na moment w stan wysoki, co ładowało wczytane dane do wyjść i stosowne diody się zapalały. Przerwanie co 5 milisekund gwarantowało odświeżanie całej matrycy 25 razy na sekundę.

Czy do obsługi wyświetlacza bądź matrycy tranzystory są potrzebne?

Nie. Możemy wspólne katody bądź anody podłączyć bezpośrednio do wyjść mikrokontrolera. Warunkiem działania takiego rozwiązania jest zagwarantowanie, by na raz świeciła się tylko jedna dioda. Inaczej przeciążymy pin wspólny dla diod i uszkodzimy mikrokontroler. Większość mikrokontrolerów dopuszcza maksymalny prąd ~25 mA na pin, czym się bezwstydnie chwalą w notach katalogowych. Ponieważ na raz pali się tylko jedna dioda LED, a reszta jest zgaszona, to sumaryczna jasność całego wyświetlacza będzie znacząco niższa. Zakładając bowiem matrycę RGB 8×8, jak na przedstawionym schemacie, każda dioda będzie świecić maksymalnie przez 260 µs przy odświeżaniu 20 razy na sekundę. Dla rozwiązania z rejestrami i tranzystorami MOSFET-N dla tej matrycy i dla 20 FPS maksymalny czas świecenia pojedynczej diody wynosi **6,25 ms!** W projekcie wybrano czas świecenia 5 ms by uzyskać 25 klatek na sekundę. Przy okazji zostawiało to dużo czasu na inne zadania.

Specjalizowane układy do matryc i wyświetlaczy

Na rynku dostępne są specjalizowane układy driverów LED, zarówno dla pojedynczych diod, jak i dla wyświetlaczy i matryc LED. Rodziny układów 7400 i 4000 mają dedykowane dekodery LED z kodu binarnego lub BCD na wyświetlacze siedmiosegmentowe. Były też układy dedykowane do współpracy z lampami Nixie i VFD odporne na wysokie napięcia potrzebne do ich działania. Są one, podobnie jak same lampy, bardzo poszukiwane przez budowniczych zegarków retro. Przez to niejeden całkiem przyzwoity miernik stołowy został rozszabrowany i bezpowrotnie zniszczony.

ST Microelectronics ma na przykład układy STP08DP05 i STP16CPC05, które sposobem pracy przypominają rejestry serii 74xx595. Można je bowiem kontrolować sygnałem szeregowym i łączyć te układy szeregowo. Każde wyjście jednak przy stanie wysokim zwierane

eprasa.pl bfa7a1d357

jest do masy przez źródło prądowe, którego prąd maksymalny ustala pojedynczy rezystor zewnętrzny. Jest to zatem świetny układ do kontroli pojedynczych diod LED, ale też matryc LED. Pierwszy układ posiada osiem wejść prądowych, drugi szesnaście. Micrel z kolei oferuje podobny układ, MIC5400, który pozwala sterować szesnastoma diodami połączonymi w układzie wspólnej anody, w formie dwóch banków po osiem diod. Do pracy wymaga rezystora ograniczającego prąd i dwóch tranzystorów PNP do sterowania anodami. W zamian za to oferuje zgrubną (4 bity) i dokładną (10 bitów) regulację jasności diod. Podobnie, jak w przypadku układów ST Microelectronics, te też można łączyć szeregowo.

Microchip ma w swojej ofercie układy MM5450/-51, posiadające odpowiednio 34 lub 36 wyjść. Tych układów nie da się łączyć szeregowo, ale nie jest to konieczne w typowych zastosowaniach, gdyż w nocie znajdziemy przykład łączenia ośmiu wyświetlaczy siedmiosegmentowych do układu MM5450 z pomocą dwóch tranzystorów PNP. W teorii można kontrolować tymi układami matrycy LED 17×17 lub 18×18, czyli odpowiednio 289 lub 324 indywidualne diody. Podobnie, jak w powyższych układach prąd, a zatem jasność są ograniczone i regulowane rezystorem. Microchip zaleca potencjometr. Maxim oferuje dedykowane układy, MAX7219/MAX7221, do sterowania multipleksowanych wyświetlaczy siedmiosegmentowych i matryc LED. Obsługują one matryce 8×8 lub osiem wyświetlaczy LED za pomocą protokołu SPI i jego pochodnych. Układy te oferują wiele dodatkowych funkcji i odciążają mikrokontroler – potrzebne wartości można wysłać jako kod BCD. Na znanym, polskim portalu aukcyjnym można kupić gotowe płytki z matrycami 8x8 i wyświetlaczami używające chińskich klonów MAX7219.

Skoro już wspominamy o Chinach, to warto zwrócić uwagę na dwa układy firmy Titan Micro Electronics, które sprzedawane są głównie w gotowych modułach. Są to układy TM1637 i TM1638. TM1637 obsługuje do sześciu wyświetlaczy siedmiosegmentowych o wspólnej anodzie i jednocześnie pozwala skanować matrycę klawiszy w układzie 8×2. TM1638 obsługuje do 10 wyświetlaczy siedmiosegmentowych o wspólnej anodzie i matrycę klawiszy 8×3. Oba układy są sterowane przez dwukierunkowy interfejs szeregowy. Niestety, układy te są dostępne głównie w formie gotowych (niedrogich) modułów, więc jeśli potrzebna jest inna konfiguracja, niż to, co wymyślili chińscy inżynierowie, to trzeba będzie układ wylutować.

Dla miłośników prostych multimetrów Maxim wciąż produkuje układy serii ICL7107 i ICL7117, a Microchip robi ich odpowiedniki pod symbolem TC7107/TC7117. Wersje sterujące wyświetlaczami LCD mają oznaczenia ICL/TC7106/7116. Schematy różnych mierników i multimetrów na ich bazie znajdują się zarówno w notach katalogowych i aplikacyjnych, jak i w wielu czasopismach i zbiorach schematów. Ja znalazłem kilka w Poradniku Radioamatora z 1986 roku.

Diody LED specjalne
Diody migające

Diody migające to diody LED z wbudowanym układem scalonym i ograniczeniem prądowym. Występują w wariantach 1-, 2- i trzykolorowym. Jednokolorowe LEDy spotyka się często w prostych zestawach typu „migadełko choinkowe", gdzie diody wtyka się w tekturową kartkę z rysunkiem choinki i łączy się od drugiej strony. Dodatkowe rezystory i tranzystor pozwalają na to, by jedna dioda migająca sterowała pozostałymi. Diody dwukolorowe zapalają oba kolory naprzemiennie. Diody RGB powtarzają sekwencję wszystkich możliwych kombinacji kolorów lub sekwencję tylko kolorów głównych.

Diody płynnie zmieniające kolory

Diody RGB z wbudowanym układem scalonym, które przechodzą płynnie przez całą gamę kolorów spotykane są w budżetowych peryferiach komputerowych i w gadżetach z Chin. Ze względu na rozrzut parametrów rezonatorów użytych w strukturach tych diod każda z nich zmienia kolory w odrobinę innym tempie. Dlatego jeśli w jakimś gadżecie czy sprzęcie komputerowym jest więcej niż jedna dioda tego typu, to nie ma sposobu by wszystkie zawsze świeciły na ten sam kolor – prowadzi to do dość interesujących efektów świetlnych. Warto dodać, iż ten problem z synchronizacją dotyczy też diod migających, ale kto by chciał znosić więcej, niż jedną diodę tego typu?

Pewnym interesującym podtypem diod zmieniających kolor płynnie są LEDy emulujące światło świecy. Efekt nie jest mocno porywający i często zależy jakości (i ceny) zakupionej diody. Uzyskanie sensownego efektu może jednak wymagać użycia diod RGB i mikrokontrolera.

Lampki LED jako zamienniki miniaturowych żarówek

Produkt dość niszowy, bo przeznaczony do starszych urządzeń i pojazdów. Zamienniki miniaturowych żarówek znajdą zastosowanie przy naprawie sprzętu retro jako podświetlenie skal i wskaźników, oraz w starszych samochodach, gdzie w roli kontrolek występowały miniaturowe żaróweczki na 12…24 V. Lampki te mają ukryty w cokole układ zasilania, który często przyjmuje prąd stały i zmienny o dowolnej polaryzacji przy dość szerokim zakresie napięć. Za tę elastyczność zazwyczaj trzeba zapłacić wyższą ceną, ale prawdopodobnie taka lampka „przeżyje" sprzęt, w którym się znajdzie. Jako oświetlacze skal i wskaźników najlepiej sprawdzą się lampki białe ciepłe, chyba że oryginalnie użyto żarówek barwionych. We wskaźnikach samochodowych z wbudowanymi filtrami koloru warto sprawdzić zarówno lampki w kolorze kontrolki, jak i białe neutralne/zimne dla uzyskania optymalnej jasności. Warto nadmienić, iż zamienniki te występują w szeregu wariantów montażowych, podobnie jak żarówki, które zastępują, nie ma więc potrzeby modyfikowania urządzenia czy pojazdu.

Diody laserowe

Znane z napędów optycznych i breloczków-wskaźników te niewielkie komponenty potrafią być niebezpieczne dla zdrowia. Diody te generują światło konkretnej długości fali, gdzie wszystkie fotony „są w fazie", ale nadal wymagają soczewki do skupienia wiązki. Występują w kolorach podczerwonym, czerwonym i niebieskim. Inne kolory, jak np. zielony, są zazwyczaj uzyskiwane na drodze procesu powielania częstotliwości drgań fotonów – w tym celu używa się diod podczerwonych o mocach większych

eprasa.pl bfa7a1d357

od mocy uzyskanej wiązki światła w innym kolorze. Dostępne są też diody zielone nie używające powielania częstotliwości, a od niedawna spotyka się tez diody żółte.

Diody laserowe są nadzwyczaj delikatne – źle znoszą wyładowania elektrostatyczne, wyższą temperaturę pracy i przekroczenie dopuszczalnego prądu znamionowego. Światło co mocniejszych diod bezproblemowo uszkadza sensory optyczne cyfrowych aparatów oraz kamer, a także zwierząt i ludzi. Dlatego zabawa z diodami laserowymi nie jest zalecana dla początkujących, a dobre okulary ochronne to konieczność, a nie fanaberia. Oko nie pieczarka – nie odrośnie.

Diody laserowe zaleca się zasilać tylko i wyłącznie przez źródło prądowe, i to z prądem nieco niższym od maksymalnego. W celu ochrony przed uszkodzeniami nieużywane diody należy zewrzeć za pomocą kawałka srebrzanki lub innego drutu. Aha, wbrew powszechnej opinii zabawianie kota pogonią za plamką lasera kota nie cieszy, gdyż ten nie może na koniec dopaść i „zagryźć" tej plamki.

Diody programowalne WS2812x i WS2813

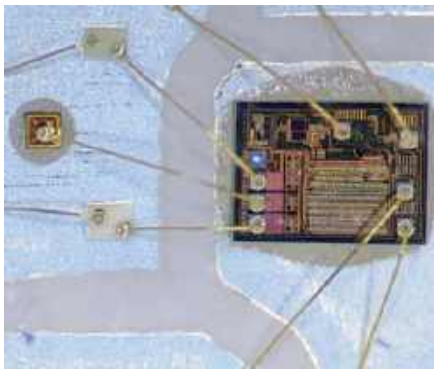
Ze wszystkich diod LED RGB rodzina WS2812x i WS2813 jest od kilku lat najpopularniejsza wśród zagranicznych hobbystów, a i w Polsce dobrze się przyjęła. Diody te są łatwo dostępne w formie taśm i modułów o różnych kształtach, z czego WS2812B jest wariantem najpopularniejszym. Ale czym są te diody i dlaczego są tak popularne?

WS2812x i WS2813 to programowalne diody RGB w obudowach SMD. Do programowania używany jest bardzo prosty interfejs szeregowy, który umożliwia łączenie diod w długie łańcuchy i kontrolowanie ich jednym pinem. Każda dioda ma wbudowany kontroler sterujący poszczególnymi kolorami R, G i B oferując 256 poziomów jasności (8 bitów), Do łańcucha diod wysyła się strumień bitów składający się z trzech wartości ośmiobitowych dla kolorów G, R i B, bez żadnych odstępów między bajtami czy pakietami. Każda kolejna dioda pobiera pierwsze trzy bajty dla siebie i zastępuje je stanem niskim, a resztę strumienia bajtów wysyła dalej. Po wysłaniu całego pakietu danych wstawia się krótką pauzę, by oznaczyć koniec transmisji i móc zacząć ją od nowa. Dokładniej protokół opiszę w dalszej części artykułu. **Fotografia 4** przedstawia kontroler diody w dużym powiększeniu – wykonano ją za pomocą mikroskopu.

Czym się różni WS2812x od WS2813?

Podstawową różnicą między tymi rodzinami diod jest obecność wejścia BIN w diodach WS2813. Wspomniałem wcześniej, iż każda dioda zastępuje pakiet wartości dla siebie stanem niskim i wysyła resztę dalej, aż do pojawienia się stanu RST. Wejście BIN robi to samo, co poprzednia dioda w łańcuchu zanim dane trafią do właściwego rejestru. To sprawia, że łącząc diody sposób pokazany na **rysunku 7** awaria jednej z diod nie przerywa transmisji danych do kolejnych diod. Dopiero awaria dwóch sąsiadujących diod przerywa łańcuch. W przypadku WS2812x awaria diody powoduje, że reszta diod w łańcuchu nie otrzymuje swoich danych i przez to nie może być kontrolowana.

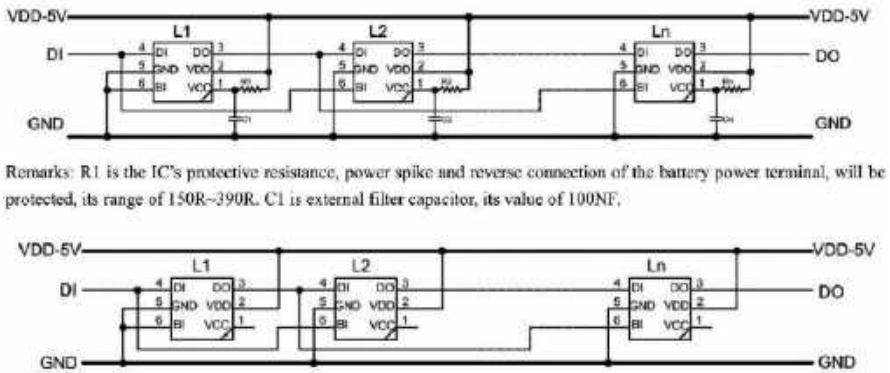
Drugą zaletą WS2813 jest wyższa częstotliwość PWM, 2 kHz, podczas gdy WS2812x ma częstotliwość PWM 400 Hz, co przy dłuższych łańcuchach i różnych dodatkowych zaprogramowanych efektach może prowadzić do nieprzyjemnego migotania. WS2813 ma też dłuższy czas dla sygnalizacji końca pakietu, bo 300 µs zamiast 50 µs dla starszej wersji – przydaje się to przy używaniu wolniejszych mikrokontrolerów. Wadą jest nieco wyższa cena i mniejsza popularność. Póki to się nie zmieni, to diody WS2812B są lepszym wyborem dla hobbysty. W razie uszkodzenia któreś diody w taśmie LED można zwykle wyciąć cały segment, wstawić nowy, odcięty od taśmy i wlutować zworki ze srebrzanki by połączyć „wstawkę" z resztą taśmy. Warto takie połączenia zabezpieczyć za pomocą lakieru izolacyjnego lub odpowiedniej powłoki konformalnej albo silikonu akwariowego, szczególnie jeśli taśma narażona jest na warunki atmosferyczne.



Fotografia 4. Zdjęcie mikroskopowe kontrolera diody WS2812B

Jak sterować diodami?

Dla środowiska Arduino dostępne są gotowe biblioteki do sterowania diodami WS2812x i podobnymi. Najpopularniejsze z nich to FastLED, Neopixel i WS2812FX. Użycie ich w środowisku niekompatybilnym z Arduino może wymagać sporych modyfikacji. Drugą opcją jest napisanie własnej biblioteki do obsługi tych diod. Ma to sens zwłaszcza wtedy, gdy nie ma biblioteki dla użytego mikrokontrolera, albo potrzebujemy mocno zoptymalizowanego kodu do uzyskania konkretnych efektów. Można też pisanie takiej biblioteki od zera potraktować jako



Rysunek 7. Dwa sposoby łączenia diod WS2813 tak, by awaria jednej z nich nie przerywała całego łańcucha

eprasa.pl bfa7a1d357

Tabela 2. Protokół WS2812			
	T_{on}	T_{off}	Tolerancja
0	350 ns	600 ns	±150 ns
1	700 ns	600 ns	±150 ns
RST	–	>50 µs	–

Tabela 3. Protokół WS2813				
	T_{onmin}	T_{onmax}	T_{offmin}	T_{offmax}
0	100 ns	450 ns	300 ns	50 µs
1	750 ns	1 µs	300 ns	100 µs
RST	–	–	>300 µs	–

ćwiczenie umiejętności programowania – zwłaszcza hobbyści z małym doświadczeniem powinni tak robić. Gotowe moduły są absurdalnie tanie, a wizualna reprezentacja efektów dobrze motywuje do samodoskonalenia.

Układy WS281xx i im podobne używają jednej linii danych z protokołem, w którym wartości binarne 0 i 1 są zakodowane czasem trwania stanu wysokiego. Czas trwania stanu niskiego jest mniej istotny, i musi tylko spełnić kryterium minimalnej długości. Wszystkie czasy dla WS2812x przedstawia **tabela 2**, a dla WS2813 **tabela 3**.

Dla WS2812B czasy T_{off} mogą osiągać 5 µs. Dane są przesyłane w formie trzech kolejnych bajtów dla kolorów zielonego, czerwonego i niebieskiego. SK6812RGBW dodaje na koniec czwarty bajt dla białej diody. Pierwsza dioda zapisuje pierwszą sekwencję do rejestru, na wyjście podając stan niski, aż zacznie się sekwencja danych dla kolejnych diod. Zakończenie transmisji sygnalizowane jest stanem niskim trwającym dłużej niż czas RST. Dopiero po jego upływie pierwsza dioda zacznie akceptować nowe dane do rejestru.

Minimalny czas wykonywania instrukcji mikrokontrolera musi wynosić przynajmniej 400 ns, by mikrokontroler mógł wysyłać „zera". Inaczej pisząc powinien móc „machać nóżką" z częstotliwością przynajmniej 2,5 MHz. Dlaczego 400 ns, a nie 450 ns, jak stoi w tabeli? A dlatego, by był jakiś margines błędu zarówno dla układów w diodach, jak i w oscylatorze mikrokontrolera. Tak czy siak oznacza to, że zbyt wolne mikrokontrolery nie poradzą sobie z obsługą WS281xx i podobnych. Na szczęście szybkich mikrokontrolerów na rynku nie brakuje.

WS2815, WS2811, SK9822, SK6812RGBW

Dioda WS2815 funkcjonalnie nie różni się niczym od WS2813, z wyjątkiem napięcia zasilania. Ten wariant zasilany jest napięciem 12 V, zaś diody w strukturze są łączone szeregowo, a nie równolegle. W przypadku długich łańcuchów wyższe napięcie zasilania sprawia, iż nie ma spadków jasności w środku łańcucha i nie trzeba dolutowywać dodatkowych przewodów zasilających co kilka metrów. W handlu dostępne są też układy WS2811, które są kontrolerami bez diod LED, i są dostępne w tanich taśmach na napięcie 12 V, gdzie każdy układ kontroluje grupę trzech diod. Sposób działania jest analogiczny do WS2812, ale układ oferuje wejście SET pozwalające ustalić częstotliwość odświeżania diod na 400 Hz lub 800 Hz.

SK9822 jest alternatywą dla diod WS2812x i oferuje lepszy protokół komunikacji. Te diody posiadają wejście i wyjście zegarowe, dzięki czemu odpada problem dbania o czasy stanów wysokich i niskich dla poszczególnych bitów. Częstotliwość transmisji danych może przez to być kilkukrotnie wyższa, niż w przypadku innych układów. Może też być dużo wolniejsza. Pakiet składa się z 32-bitowych ramek, z których pierwsza to ramka startu, a ostatnia to ramka stopu. Pozostałe zawierają dane jasności poszczególnych kolorów. Poza regulacją jasności kolorów (po 8 bitów na kolor) jest jeszcze regulacja wspólnej jasności w 32 poziomach (5 bitów). Moim zdaniem ta zgrubna regulacja została dodana po to tylko, by ramki miały 32 bity. Pod każdym innym względem układy te są analogiczne do WS2812.

SK6812RGBW to bardziej rozbudowany wariant alternatywny dla WS2812, w swojej strukturze zawiera dodatkową, białą diodę LED. Dostępne są warianty biały zimny, biały neutralny i biały ciepły. Te diody kosztują więcej i pobierają więcej prądu (w przypadku taśm trzeba dołączać dodatkowe zasilanie częściej by taśma nie traciła jasności w połowie długości), ale oferują lepszą jakość bieli, niż standardowe diody RGB. Sposób kontroli jest analogiczny do diod WS2812x, ale każdy pakiet danych zawiera 32 bity zamiast 24. Dodatkowy bajt kontroluje jasność diody białej.

Diody LED mocy

W ostatnich 20 latach diody LED mocy zyskały niezwykłą popularność. Hobbyści spotykali je najpierw w latarkach oraz jako alternatywę do lamp HPS czy CFL np. dla oświetlania akwariów z bujną roślinnością oraz w hodowlach hydroponicznych i aeroponicznych. Pierwszy raz spotkałem się z nimi gdy kolega poprosił mnie o złożenie dla niego lampy świecącej podczerwienią na potrzeby fotografii. Gotowa lampa zawierała 7 diod podczerwonych o mocy 1 W każda, fabryczny zasilacz i fabryczne soczewki skupiające światło. Test z kamkorderem z trybem noktowizyjnym dał mi zasięg ponad 30 metrów dobrej widoczności.

Do wyboru, do koloru

Podobnie, jak z diodami „tradycyjnymi", tak i w przypadku LED mocy mamy mnogość opcji. Diody białe są najpopularniejsze, ale poza nimi mamy diody kolorowe ze spektrum od podczerwieni do ultrafioletu, z oddzielną grupą diod przeznaczonych do uprawy roślin, oraz diody RGB i RGBW. Typowe moce to 1 W, 3 W, 5 W i 10 W. Są też diody większe, od 20 W do 100 W, i więcej. Diody dużej mocy spotyka się przede wszystkim w oświetleniu ulicznym, budynkowym czy też w lampach studyjnych. Posiadam w kolekcji diodę 100 W, która miała posłużyć do naprawy projektora (miała zastąpić lampę wyładowczą). **Fotografia 5** przedstawia diody 1 W na specjalnych płytkach wykonanych z aluminium, do którego przyklejono bardzo cienki laminat pełniący funkcję izolatora i zarazem elementu montażowego dla samej diody. **Fotografia 6** przedstawia diodę LED białą 100 W.

Na potrzeby napraw i modyfikacji latarek i innych urządzeń można kupić „gołe" diody. Zakupiłem kiedyś taką diodę do naprawy mojej pierwszej latarki LED, którą dwa miesiące później i tak zgubiłem. Za to wymiana chińskiej diody Cree na diodę kupioną w Polsce podniosła jasność o jakieś 30%. **Dlaczego tak się stało?** Ano dlatego, iż diody LED mocy są sortowane w fabryce pod kątem sprawności, a w przypadku diod białych także temperatury barwowej i współczynnika oddawania kolorów. Diody

eprasa.pl bfa7a1d357

„gorszego sortu" są sporo tańsze od tych najlepszych, więc są chętnie kupowane przez chińskich producentów latarek. Te lepsze znajdziemy w produktach klasy premium, z odpowiednio wyższą ceną. Warto o tym pamiętać wybierając diody do swojego projektu.

Fotografia 5. Diody 1 W na aluminiowym nośniku, który można przykręcić do radiatora

Zasilanie diod mocy

Podobnie jak zwykłe diody LED, diody mocy też są elementami prądowymi. Prądy są jednak znacząco wyższe – typowa dioda 1 W potrzebuje prądu 350 mA, podczas gdy mały LED wymaga maksymalnie 20…25 mA. Dioda 10 W może wymagać prądu 3 A. Skutkiem ubocznym tak dużych prądów jest to, że standardowe dobieranie rezystora albo budowanie ograniczenia prądowego na tranzystorach nie ma zupełnie sensu. **Dlaczego?** Bo straty mocy na rezystorze albo na obwodzie ograniczenia prądowego będą dość spore, czasem nawet większe, niż straty mocy na samej diodzie.

W praktyce do zasilania diod mocy używa się przetwornic impulsowych w konfiguracji źródła prądowego. Do zasilania sieciowego służą proste przetwornice transformatorowe, najczęściej typu flyback, forward albo RCC. Przy zasilaniu niższym napięciem popularne są przetwornice buck, boost i SEPIC. By ułatwić pracę projektantom producenci oferują szeroką gamę układów scalonych przeznaczonych do zasilania diod LED mocy. W praktyce amatorskiej projektowanie układu od zera może nie mieć sensu, gdyż gotowe moduły są relatywnie tanie. Dla przykładu za 7…15 złotych można nabyć przetwornicę typu buck na układzie LM2596S z regulacją napięcia i natężenia. Za podobną cenę można kupić moduł zasilacza LED na napięcie 230 V pozwalającego zasilić 4…7 diod LED 1 W, i mniejszy dla 1…3 diod 1 W. Dostępne są też moduły do budowy latarek LED na okrągłych płytkach o średnicy dopasowanej do współpracy z ogniwami litowymi 18650 i podobnymi.

Fotografia 6. Biała dioda LED 100 W. Składa się z wielu diod mniejszej mocy połączonych w układzie równoległych łańcuchów szeregowo łączonych diod. Całość jest zalana luminoforem i zabezpieczona tworzywem sztucznym

W notach aplikacyjnych producentów mikrokontrolerów można znaleźć przykładowe, gotowe projekty zasilaczy diod LED mocy, z gotowym programem i dokładnym opisem zasady działania. Czasami można spotkać się z opinią, iż nie powinno się budować przetwornic na mikrokontrolerach, ale jest to opinia zgoła błędna. Mikrokontrolery świetnie nadają się do budowy przetwornic, a wiele rodzin ma dedykowane zestawy wewnętrznych peryferii właśnie do tego. Zachęcam więc Czytelnika do budowy własnego zasilacza diod LED mocy opartego o mikrokontroler i którąś z popularnych topologii. Czytelnik leniwy może zadowolić się prostym rozwiązaniem, jakim jest źródło prądowe na tranzystorze mocy i wzmacniaczu operacyjnym.

Chłodzenie diod LED mocy

Diody LED mocy są dość wydajne w produkcji światła, ale mimo to 10…40% energii zmieni się w ciepło, którego trzeba się pozbyć. Przy czym im większa moc diody i im gorszy sort, tym większy procent energii zmienia się w ciepło. Dlatego diody LED wymagają jakiejś formy chłodzenia. Amatorzy hodowli roślin akwariowych i szafowych montują diody LED z „gwiazdkami" do metalowego płaskownika, i to wystarczy. W latarkach diody LED 1…10 W odprowadzają ciepło do obudowy, z różną skutecznością. Dla diody 100 W, którą posiadam zakupiłem radiator z wentylatorem dedykowany do procesorów AMD sprzed 15 lat. W studyjnych lampach LED o dużych mocach znajdziemy sporej wielkości radiatory i wentylatory wymuszające chłodzenie.

Diody LED mocy, jak każdy półprzewodnik, mogą pracować w temperaturze do 150°C. Ale w praktyce temperatury struktury powyżej 85°C negatywnie wpływają na żywotność diody. Szczególnie boleśnie „odczuwają" to diody, w których struktury są łączone w układzie szeregowo-równoległym. Te rozpoznamy po napięciu przewodzenia od 6 V wzwyż. Ich struktury mogą się zwyczajnie nagrzewać nierównomiernie. Dodatkowo w przypadku białych diod są jeszcze pokryte luminoforem, który nie przewodzi dobrze ciepła i sam może ulegać degradacji.

Soczewki

Diody mocy z reguły mają dość szeroki kąt świecenia, dlatego czasem może być potrzeba dołożenia do nich układu optycznego. Dla większości mniejszych diod o mocach od 1 W do 5…10 W możemy nabyć soczewki o szerokim zakresie kątów skupienia światła. Do budowy wspomnianego wyżej oświetlacza podczerwonego kupiłem siedem soczewek o kącie 5° by lepiej skoncentrować światło. Efekt był nadzwyczaj zadowalający. Dla diod większych mocy (np. 100 W) soczewki też występują, z reguły z dodatkowym reflektorem, ale ich ceny bywają już sporo wyższe. W tej sytuacji amator może pokusić się o soczewkę Fresnela z lampy typu PAR.

Zakończenie

Mam nadzieje, iż ten przewodnik po diodach LED okaże się przydatny i oświeci niejednego Czytelnika. Świat światła bowiem LEDami stoi, dlatego warto poznać bliżej mnogość dostępnych rozwiązań i umiejętnie z nich korzystać. Do tematu diod LED, a dokładniej ich zasilania wrócimy w przyszłości, przy okazji poznając proste przetwornice impulsowe, w tym niezwykle ciekawe układy z rodziny Joule Thief, czyli złodziei dżuli. ■

Paweł Kowalczyk

eprasa.pl bfa7a1d357

KickStart

Część 5: Poznajemy zagadnienie kompatybilności elektromagnetycznej (EMC)

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

Niniejsza, piąta część KickStartu objaśnia znaczenie kompatybilności elektromagnetycznej (EMC). Zawiera garść praktycznych wskazówek jak zredukować zakłócenia elektromagnetyczne (EMI) i podatność elektromagnetyczną (EMS) płytek drukowanych, układów i systemów.

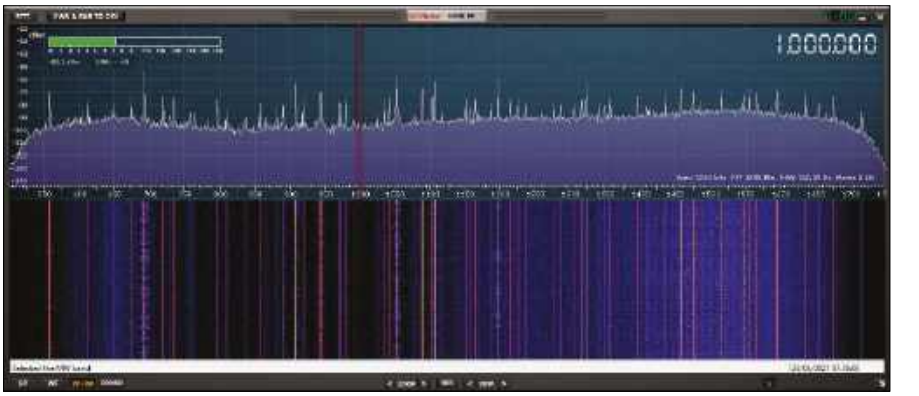
Ci z Was, którzy są tak starzy jak ja, bez wątpienia pamiętają przewijający się często w latach 50. temat smogu w Wielkiej Brytanii. „Mgła dymna" była nieprzyjemną konsekwencją wzrastającego po II wojnie światowej uzależnienia Wielkiej Brytanii od paliwa węglowego. Doprowadziło to ostatecznie w 1956 roku do wprowadzenia brytyjskiej ustawy o czystym powietrzu. Nie tak widoczny – ale równie niepożądany – jest smog elektroniczny, który towarzyszy rosnącej liczbie urządzeń elektronicznych używanych przez nas w codziennym życiu. I choć często jesteśmy błogo nieświadomi istnienia tego „elektronicznego smogu", może on mieć poważny wpływ na nasze środowisko. W związku z tym, istotnym czynnikiem przy projektowaniu i użytkowaniu dowolnego sprzętu elektronicznego lub elektrycznego stała się kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Zanim jednak zagłębimy się w ten ważny i często źle rozumiany temat, warto zbadać, co rozumiemy przez „kompatybilność elektromagnetyczną" i jak odnosi się ona do dwóch powiązanych terminów: „zakłócenia elektromagnetyczne" (EMI) i „podatność elektromagnetyczna" (EMS).

Mówiąc prostym językiem – EMS jest miarą tego, jak urządzenie reaguje na środowisko elektromagnetyczne, w którym jest używane, natomiast EMI jest wskaźnikiem tego, jak bardzo urządzenie wpływa na to środowisko.

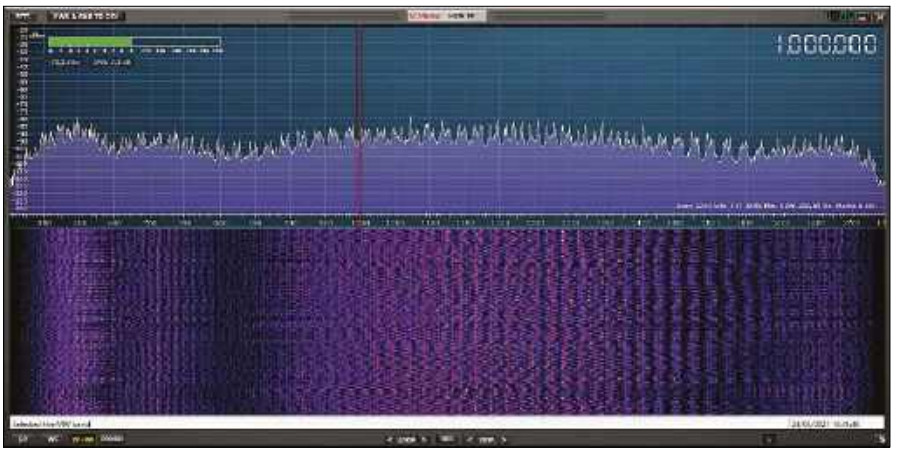
Zarówno EMI jak i EMS są istotne przy rozważaniu kompatybilności sprzętu ze środowiskiem, w którym jest używany. Prosta sprawa – projektując i konstruując sprzęt elektroniczny oraz używając go, musimy wziąć pod uwagę, w jaki sposób będzie on oddziaływał ze środowiskiem elektromagnetycznym, w którym się znajduje. Co więcej, nieprzestrzeganie środków ostrożności EMC może mieć poważne konsekwencje. W obszarze elektroniki profesjonalnej poziom emisji powodujący potencjalne zakłócenia pracy innych urządzeń jest w większości krajów (choć nie we wszystkich) ściśle uregulowany prawnie. Przepisy EMC określają zwykle limity dopuszczalnych poziomów zakłóceń, często też definiują testy, które należy przeprowadzić w celu sprawdzenia zgodności z przepisami.

Źródła zakłóceń elektromagnetycznych

W urządzeniu elektronicznym emisje elektromagnetyczne pochodzą z najróżniejszych źródeł. Mogą być wypromieniowywane w postaci

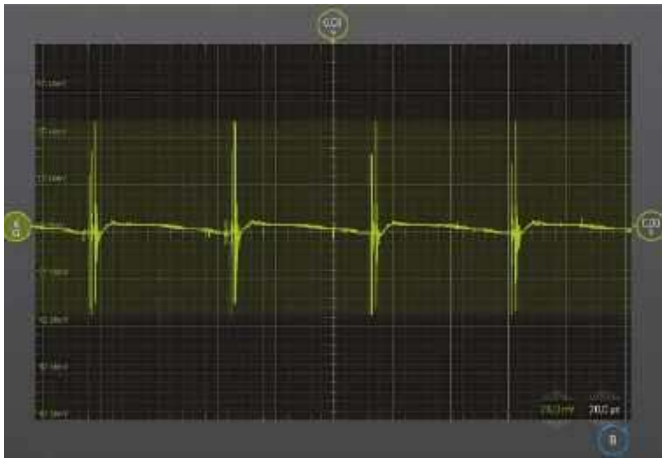


Rysunek 5.1. Widmo w paśmie średniofalowym, zmierzone w pracowni autora

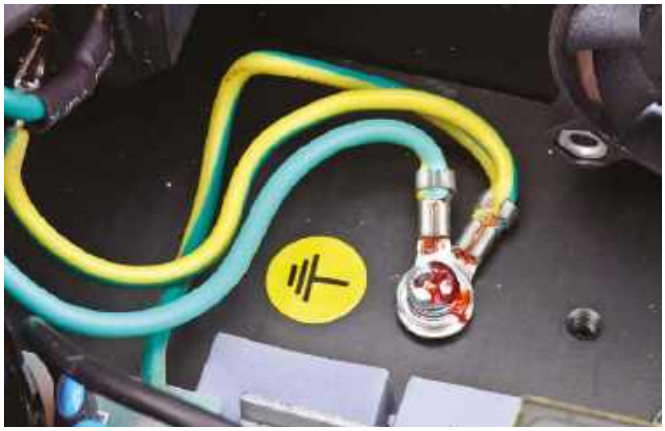


Rysunek 5.2. Widmo zmierzone przy zasilaczu impulsowym wytwarzającym zakłócenia

eprasa.pl bfa7a1d357



Rysunek 5.3. Przebieg na wyjściu zasilacza wytwarzającego zakłócenia



Rysunek 5.4. Dla zachowania zgodności z przepisami EMC decydujące może być prawidłowe uziemienie metalowej obudowy

fal elektromagnetycznych (radiowych) lub wychodzić z urządzenia po przewodach zasilających i innych liniach połączeniowych. W większości krajów organa regulacyjne określają limity tych emisji. Limity mają na celu ochronę wszystkich użytkowników widma radiowego przed skutkami szkodliwych lub uciążliwych zakłóceń, mogących pogorszyć działanie urządzeń elektronicznych. Typowe źródła EMI obejmują:

- aktywne (promieniujące) anteny i powiązane z nimi źródła sygnału, gdy są źle dopasowane lub nieodpowiednio ekranowane;
- składowe podstawowe i harmoniczne przebiegów powtarzalnych, takich jak sygnały zegarowe czy przebiegi przełączające w zasilaczach impulsowych;
- niepożądane pasożytnicze oscylacje wynikające ze złego zaprojektowania układu i/lub niekorzystnego rozmieszczenia jego elementów;
- stany nieustalone spowodowane impulsami o krótkim czasie trwania;
- szerokopasmowe zakłócenia wypromieniowywane z elementów magnetycznych.

Przedstawimy to w praktycznym kontekście. **Rysunek 5.1** pokazuje normalne widmo częstotliwości i wykres wodospadowy sygnałów radiowych w paśmie fal średnich (MW), zmierzone w pracowni autora. Wykres widma przedstawia amplitudę sygnału w zakresie od 500 kHz do 1,8 MHz, natomiast „wodospad" pokazuje, jak amplitudy sygnału zmieniają się w czasie. Wyraźnie widoczne są poszczególne stacje radiowe nadające na falach średnich. Poziom szumu wynosi około –100 dB. Porównajmy to widmo z drugim, pokazanym na **rysunku 5.2**, gdzie w pobliżu anteny analizatora widma pracował tani zasilacz impulsowy 5 V. Należy zauważyć, że poziom szumów wzrósł o około 18 dB, a szerokopasmowe składowe harmoniczne z zasilacza maskują wszystkie sygnały stacji radiowych z wyjątkiem najsilniejszych. Przebieg na wyjściu zasilacza wytwarzającego zakłócenia elektromagnetyczne pokazano na **rysunku 5.3**. Widać efekty przełączania (taktowania przetwornicy) o amplitudzie 100 mV i częstotliwości około 20 kHz. Aby poprawić parametry jakościowe zasilacza i zachować zgodność z odpowiednimi przepisami EMC, pilnie potrzebne byłoby dodatkowe filtrowanie i ekranowanie!

Szybka kontrola

Ścisłe metody badawcze EMI wymagają użycia specjalistycznego sprzętu testowego (analizatorów widma, przyrządów i skalibrowanych anten), który jest zwykle dostępny tylko w laboratoriach (patrz rozdział *Idąc dalej* w końcowej części artykułu). Można jednak przeprowadzić szybkie sprawdzenie poziomu EMI wytwarzanego przez podejrzany element sprzętu elektronicznego (np. zasilacz) przy użyciu jedynie przenośnego odbiornika radiowego AM z zakresem fal średnich. Umieszczenie odbiornika w pobliżu badanego sprzętu i przestrajanie go w paśmie średniofalowym (około 1 MHz) pozwoli ujawnić zakłócenia wypromieniowywane. Obecność zakłóceń przewodzonych wykryjemy, odsuwając odbiornik od urządzenia i prowadząc go wzdłuż kabli połączeniowych i przewodów zasilających. Metoda ta umożliwia szybką ocenę skuteczności środków poprawiających EMI (ekranowanie, uziemienie, filtrowanie).

Poprawa skuteczności EMC

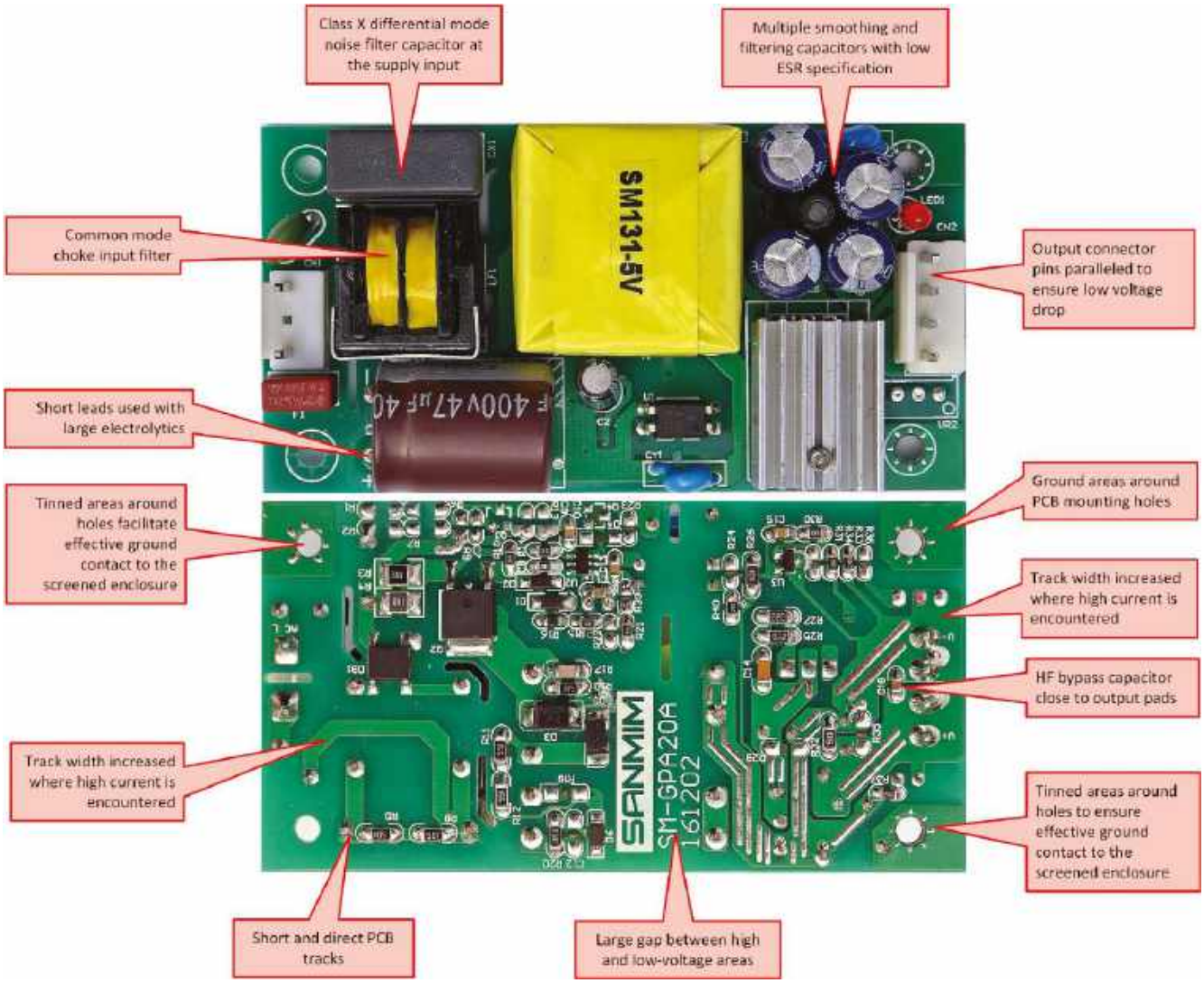
Istnieją różne sposoby poprawy skuteczności EMC, mające na celu zmniejszenie zakłóceń EMI wytwarzanych przez „hałaśliwe" elementy sprzętu elektronicznego. Stosuje się również analogiczne środki zapobiegające przedostawaniu się sygnałów do wnętrza urządzenia, zmniejszając tym samym podatność na zakłócenia elektromagnetyczne (EMS), wytwarzane przez urządzenia znajdujące się w pobliżu.

1. Ekranowanie i uziemienie

Efektywność EMC znacznie wzrasta po zastosowaniu skutecznego ekranowania i uziemienia. Środki te pomagają zmniejszyć nie tylko zakłócenia wypromieniowywane, ale i wnikanie zakłóceń do naszego układu. Warunkiem niezbędnym jest zapewnienie połączenia o małej impedancji z uziemieniem. Sprawi to, że prądy zakłócające będą odprowadzane do ziemi, przez co zmniejszy się napięcie zakłóceń między węzłem masy elektroniki a zaciskiem uziemiającym sieci zasilającej. Aby uniknąć niepożądanych pętli mas, w okablowaniu jest zwykle jeden wspólny punkt uziemienia (**rysunek 5.4**). Pozwala to uniknąć sytuacji, w której między różnymi punktami uziemienia powstają niewielkie napięcia zakłócające, przenikające następnie do torów sygnałowych.

Ekranowanie jest środkiem stosowanym w celu zapobiegania wypromieniowywaniu niepożądanych sygnałów z urządzeń. Powinno być zrealizowane w postaci ciągłej powierzchni metalowej połączonej z masą układu. Ekranem jest zwykle blacha aluminiowa, stalowa lub cynkowa o odpowiedniej grubości. Musi być dołączona do masy w kilku miejscach. Projektując ekranowanie nie należy zapominać o wentylacji – z oczywistych powodów elektronika wytwarzająca ciepło nie może być szczelnie zamknięta! Jako ekran dopuszczalna jest na ogół siatka druciana ew. blacha z małymi otworami wentylacyjnymi. Chyba że w urządzeniu występują wysokie częstotliwości – w takim wypadku niezbędne jest ekranowanie podwójne: wewnętrzne (pierwotne) oraz zewnętrzne (wtórne).

eprasa.pl bfa7a1d357



Rysunek 5.5. Przykład rozwiązań stosowanych w projekcie płytki drukowanej, zapewniających kompatybilność elektromagnetyczną

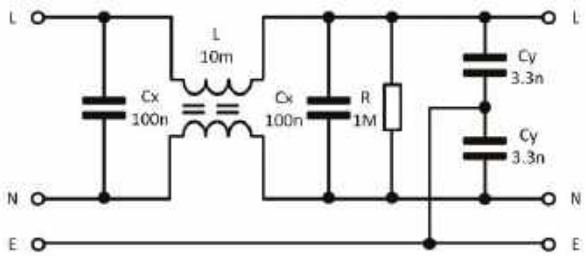
2. Projekt płytki drukowanej

Kluczowe znaczenie dla optymalizacji EMC może mieć projekt płytki drukowanej. Proces projektowania urządzenia musi to brać pod uwagę. Etapy procesu projektowania płytek zgodnego z EMC powinny obejmować następujące elementy: parametry fizyczne: rozmiar, kształt płytki oraz ilość i funkcja warstw miedzi;

- wybór i rozmieszczenie poszczególnych elementów i złączy zewnętrznych;
- układ i kształt ścieżek (szczególnie zasilających);
- prowadzenie wspólnych mas i odsprzęganie zasilań;
- ekranowanie przewodów sygnałowych i innych połączeń.

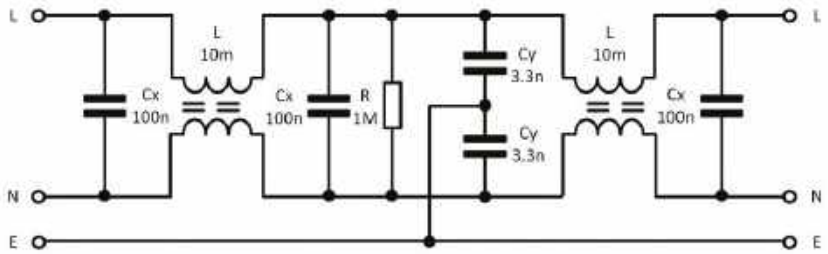
Należy zidentyfikować obszary krytyczne układu i zadbać o to, by były one zawarte w obrębie swoich bloków funkcjonalnych. Na przykład przedwzmacniacz powinien być umieszczony z dala od zasilacza, czuły detektor z dala od przetwornicy impulsowej itd. Elementy przewodzące znaczne prądy muszą się znaleźć blisko swoich linii zasilania i masy. Aby zminimalizować spadki napięcia,

Rysunek 5.6. Typowe filtry zasilania: jedno i dwustopniowy



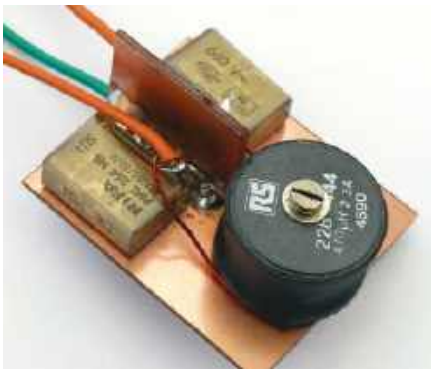
Rysunek 5.7. Schemat filtra jednostopniowego z rysunku 5.6

eprasa.pl bfa7a1d357



Rysunek 5.8. Schemat filtra dwustopniowego z rysunku 5.6

Rysunek 5.9. Złącze sieciowe IEC ze zintegrowanym filtrem EMI



Rysunek 5.10. Prosty filtr pi domowej roboty o tłumieniu 40 dB przy 1 MHz

ścieżki powinny być jak najszersze. Wokół obwodów wielkiej częstotliwości powinny się znajdować rozległe obszary miedzi połączone z masą. Przykładową płytkę zaprojektowaną z uwzględnieniem tych założeń widzimy na **rysunku 5.5**.

Techniki projektowania płytek zgodnego z wymaganiami EMC nabywa się wraz z doświadczeniem zdobywanym przy projektowaniu. Warto także badać płytki różnych urządzeń fabrycznych, które wpadną nam w ręce, podpatrując profesjonalne techniki projektowania.

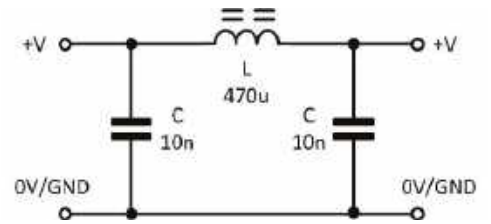
Wrażliwe obwody analogowe powinny być zawsze rozdzielone od obwodów cyfrowych, w których występują szybko zmieniające się poziomy logiczne. Obwody analogowe i cyfrowe powinny być nie tylko odseparowane fizycznie, ale także elektrycznie, a środkiem do tego jest stosowanie oddzielnych źródeł zasilania z własnymi połączeniami masy i elementami odsprzęgającymi.

Między sąsiadującymi przewodami sygnałowymi lub ścieżkami na płytce mogą występować przesłuchy. Poziom przesłuchów zależy od wspólnej reaktancji – pojemnościowej lub indukcyjnej – między dwoma torami sygnału. Przesłuch pojemnościowy zachodzi wtedy, gdy między ścieżkami występuje pojemność, natomiast przesłuch indukcyjny – gdy ścieżki są sprzężone indukcyjnością wzajemną (jak para uzwojeń transformatora). W większości przypadków oba efekty występują jednocześnie.

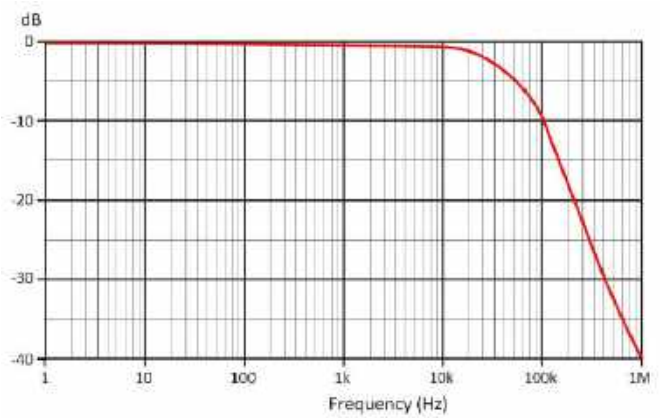
Tabela 5.1. Kolejne kroki z EMC

Temat	Źródło	Uwagi
Przepisy i dyrektywy dotyczące kompatybilności elektromagnetycznej	Brytyjskie przepisy dotyczące kompatybilności elektromagnetycznej z 2016 r. można znaleźć pod adresem https://bit.ly/pe-oct21-ks1 Dyrektywę UE w sprawie kompatybilności elektromagnetycznej (EMC) znajdziemy na stronie https://bit.ly/pe-oct21-ks2	
Filmy na YouTube	Krótkie wprowadzenie do EMC prezentuje Słoweński Instytut Jakości i Metrologii (SIQ) na stronie https://youtu.be/8SbegmFJ_WM. Szczegółowe omówienie EMC i EMI zawierają podstawy energoelektroniki na stronie https://youtu.be/C2UDpUAgoSQ. Na stronie https://youtu.be/n4tB2UqZN6c można znaleźć „przewodnik po EMC dla początkujących" Andy'ego Lawsona	Krótki filmik SIQ daje również wgląd w nowoczesne laboratorium testowe EMC W przeciwieństwie do tego filmiku obszerny wykład Andy'ego Lawsona trwa prawie godzinę
Filtry	Ogólne wprowadzenie do zastosowań układów analogowych, w tym filtrów biernych i aktywnych, zawiera Część 8 Electronics Teach-in 4 z czasopisma Practical Electronics	Przydatne informacje w formie not aplikacyjnych dotyczących projektowania filtrów LC zawiera strona internetowa firmy Coilcraft (patrz dalej)
Rdzenie ferrytowe	Przydatny przewodnik po ferrytowych rdzeniach dla kabli, używanych do EMI, zawiera strona internetowa firmy Laird Technology: https://bit.ly/pe-oct21-ks3 Przydatne wprowadzenie do problematyki cewek i dławików zawiera strona internetowa firmy Coilcraft pod adresem https://bit.ly/pe-oct2-ks4 Podobny przewodnik jest dostępny na stronie TDK: https://bit.ly/pe-oct21-ks5	Przewodnik Laird jest dobrym poradnikiem dotyczącym wyboru rdzeni ferrytowych do tłumienia zakłóceń elektromagnetycznych Przewodnik TDK przedstawia konfigurację sprzętu testowego używanego do pomiaru wydajności ferrytowych filtrów zaciskowych Szeroka gama zaciskowych rdzeni ferrytowych jest dostępna w Mouser Electronics: https://www.mouser.pl

eprasa.pl bfa7a1d357



Rysunek 5.11. Schemat filtra z rysunku 5.10



Rysunek 5.12. Pasmo przenoszenia filtra z rysunku 5.10

Efekty przesłuchów można zminimalizować poprzez zmniejszenie sprzężenia (pojemnościowego lub indukcyjnego) między przewodnikami.

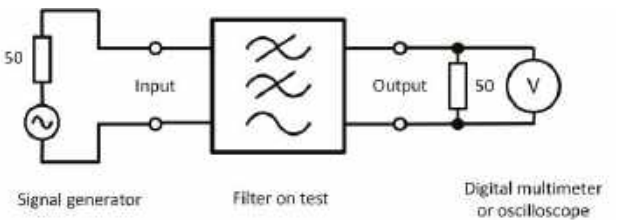
Linie transmisyjne i magistrale powinny być zawsze obustronnie dopasowane falowo i zakończone określoną impedancją charakterystyczną. Ogranicza to występowanie odbić i „dzwonienia". W przypadku urządzeń pracujących w zakresach fal ultrakrótkich (VHF i UHF) niezbędne jest na ogół umieszczenie na płytce rozległych obszarów masy. Bardzo czułe ścieżki sygnałowe i węzły układu o wielkiej impedancji należy otaczać pętlami ścieżek dołączonymi do masy, tworząc w ten sposób „obszary ochronne" i minimalizując sprzężenia pojemnościowe.

3. Filtry zasilania

Filtry zasilania są zwykle montowane na złączach zasilania lub w ich pobliżu. W niektórych przypadkach filtry te należy zamontować wewnątrz złączy sygnałowych (np. złącza Ethernet często zawierają filtry sygnału wspólnego). **Rysunek 5.6** przedstawia dwa dostępne w handlu filtry zasilania typu pi. Mniejszy filtr składa się z pojedynczej cewki z dwoma kondensatorami typu X i dwoma typu Y, co widać na schemacie na **rysunku 5.7**. Filtr większy ma dwa stopnie kaskadowe z dwiema cewkami, trzema kondensatorami X i dwoma Y. Filtr ten zawiera również rezystor 1 MΩ rozładowujący kondensatory, którego nie ma w filtrze jednostopniowym. W obu filtrach uzwojenia każdej z cewek są nawinięte w przeciwnych kierunkach, przez co cewki te mają tendencję do tłumienia prądów „wspólnych" (płynących w tym samym kierunku).

W filtrze z rysunku 5.7 zrealizowano dwie topologie układowe. Kondensatory X są przeznaczone do filtrowania zakłócających prądów różnicowych, natomiast cewka i kondensatory Y mają filtrować zakłócenia wspólne. Rezystor służy do rozładowania niebezpiecznego napięcia w kondensatorach po odłączeniu filtra od sieci. W innych układach filtrów ma on zwykle wartość 100...200 kΩ.

Pomiary przeprowadzone przez autora wykazały, że filtr jednostopniowy ma przy 1 MHz tłumienie ponad 30 dB, natomiast filtr dwustopniowy zapewnia przy tej częstotliwości tłumienie przekraczające 60 dB.



Rysunek 5.13. Układ połączeń użyty do zmierzenia charakterystyki z rysunku 5.12

Rysunek 5.9 przedstawia gniazdo sieciowe IEC z umieszczonym wewnątrz filtrem EMI. Należy zauważyć, że filtr jest całkowicie zamknięty w aluminiowej obudowie. Zgodnie z tym, co napisano wyżej, obudowa ta, aby zapewnić efektywne ekranowanie, musi zostać uziemiona.

Rysunek 5.14. Filtry zaciskowe z rdzeniem ferrytowym do mocowania na kablach

Na **rysunku 5.10** pokazano prosty filtr typu pi, skonstruowany w warunkach domowych, przeznaczony do obwodów zasilania o niskim napięciu (do 50 V przy 2 A). Schemat tego filtra przedstawia **rysunek 5.11**, a pomierzoną charakterystykę częstotliwościową – **rysunek 5.12**. Przy częstotliwości 1 MHz zmierzono tłumienie 40 dB. **Rysunek 5.13** pokazuje prosty układ połączeń użyty do pomiaru.

Promieniowanie przenoszone przez kable można znacznie zredukować poprzez zamontowanie na nich zaciskowych rdzeni ferrytowych (**rysunek 5.14**). Takie zaciskane rdzenie składają się z dwóch połówek, które można szybko, jednym ruchem, zatrzasnąć na kablu bez konieczności przecinania go lub usuwania istniejących złączy. Rdzenie zaciskowe są dostępne w różnych typach i wymiarach. Zwykle dają najlepsze rezultaty, gdy zamontowane są blisko złączy zasilających urządzeń wytwarzających zakłócenia elektromagnetyczne. Wybierając rdzeń zaciskowy do konkretnego zastosowania zaleca się sprawdzenie specyfikacji podanej w karcie katalogowej producenta, zwłaszcza zalecanego zakresu częstotliwości i charakterystyki tłumienia. Warto zauważyć, że skuteczność większości rdzeni wzrasta wraz z częstotliwością (aż do maksimum podawanego dla danego typu), oraz że tłumienie można znacznie poprawić, przepuszczając przez rdzeń nie prosty odcinek przewodu, ale kilka jego zwojów. Na przykład popularny rdzeń ferrytowy Fair-Rite wykazuje impedancję 200 Ω przy 50 MHz z przewodem poprowadzonym prosto, ale impedancja ta wzrasta do 800 Ω i 1,9 kΩ przy odpowiednio dwóch i trzech zwojach.

Idąc dalej

W tabelce wymieniono szczegółowo różne źródła, które pomogą Czytelnikowi w znalezieniu odpowiednich podzespołów. Zawierają one również szereg informacji pozwalających głębiej zrozumieć problematykę EMC i poprawić skuteczność EMI i EMS w projektach elektronicznych. Przedstawiona tabela zawiera także linki do odpowiednich przepisów i do źródeł podstawowej wiedzy. ■

Mike Tooley

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

eprasa.pl bfa7a1d357

Przełącznik sterowany temperaturą

230 V WYSOKIE NAPIĘCIE

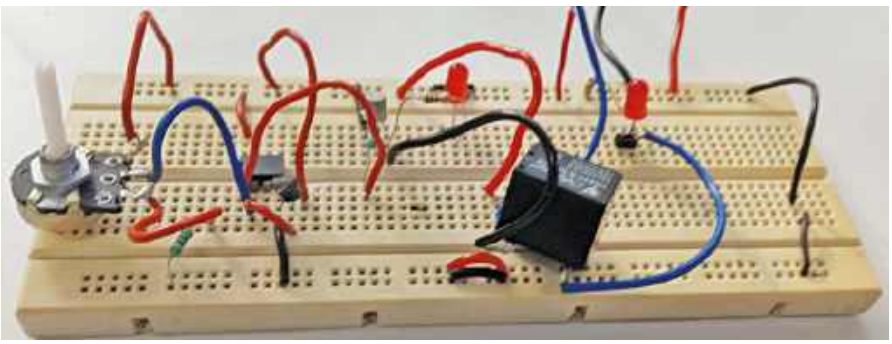
W układzie tym można wyróżnić trzy części: czujnik temperatury, układ sterujący oraz driver przekaźnika. Prototyp wykonany przez autora widzimy na fotografii 1. Układ jest zasilany z sieci 230 VAC. Dla celu demonstracji i testowania, jako obciążenie wykorzystano żarówkę. Jeśli temperatura w pomieszczeniu wzrośnie powyżej ustawionego limitu, żarówka powinna się zaświecić.

Schemat układu i jego działanie

Schemat przełącznika sterowanego czujnikiem temperatury pokazano na rysunku 2. W układzie wykorzystano transformator sieciowy obniżający napięcie 230 VAC do poziomu 9 VAC, mostek prostowniczy BR1, stabilizator napięcia +5 V typu 7805 (IC1), czujnik temperatury LM35 (IC2), wzmacniacz operacyjny LM358 (IC3), przekaźnik RL1 i ponadto niewiele prostych biernych elementów.

Za mostkiem prostowniczym BR1 zastosowano kondensator C1 w celu odzyskania napięcia stałego i minimalizacji tętnień przed stabilizatorem 7805. Stabilizator ten wytwarza właściwe zasilanie 5-cio woltowe. Zasilanie z sieci energetycznej 230 VAC należy podłączyć na pierwotne uzwojenie transformatora przez złącze CON1. Uzwojenie wtórne trafa X1 podłączono na wejście mostka Graetza na wyjściu którego panuje tętniące napięcie stałe. Stanowi ono zasilanie dla stabilizatora 7805. Zastosowano także diodę LED1 której świecenie informuje o obecności napięcia +5 VDC.

Sercem układu jest LM35. To 3-nóżkowy układ scalony w obudowie jak tranzystory. Należy podać jedynie zasilanie +VS i GND. Trzecia nóżka jest wyjściem V_{out}, gdzie napięcie jest liniową funkcją temperatury. LM35 pracuje w zakresie do 150°C. To popularny i niedrogi element stosowany powszechnie w termometrach cyfrowych.



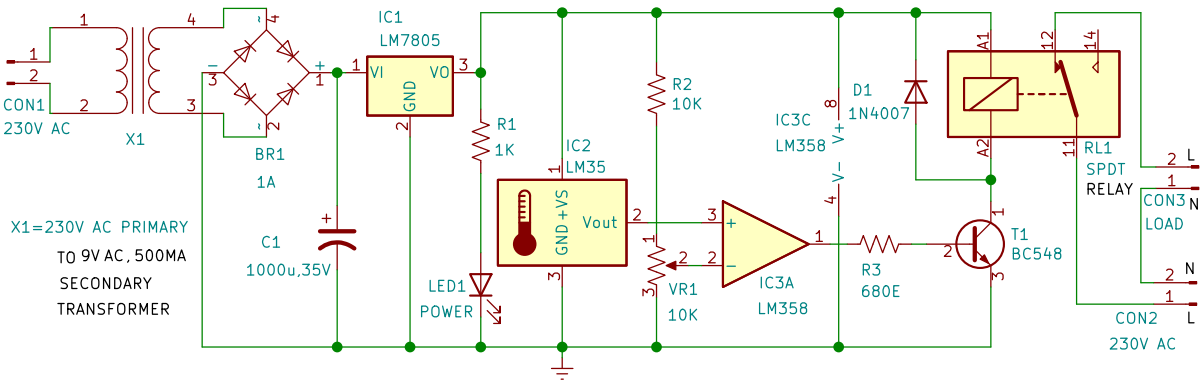
Fotografia 1. Prototyp autora zmontowany na płytce stykowej

Napięcie wyjściowe LM35 jest skalibrowane tak, że wzrost temperatury o 1 stopień (stustopniowej skali Celsjusza) skutkuje wzrostem napięcia OUT o 10 mV. Jeśli skalibrujemy zero tak aby 0°C odpowiadało napięcie 0 V, to w temperaturze 10°C powinniśmy otrzymać napięcie =100 mV. W temperaturze 25°C V_{out} powinno przyjąć wartość 250 mV.

LM35 mierzy temperaturę, natomiast sygnał ten doprowadzony jest na wejście sterownika wykonanego tu na wzmacniaczu operacyjnym LM358. Wyjście WO doprowadzone jest do bazy tranzystora T1, który jest driverem przekaźnika wykonawczego. Stan włączenia bądź wyłączenia przekaźnika zależy od temperatury zmierzonej względem wartości REF nastawionej potencjometrem. Należy dodać, iż czujnik LM35 powinien być przed użyciem skalibrowany. Chcąc ustawić próg przełączenia przy temperaturze 50°C, należy napięcie referencyjne ustawić na 0,5 V przy założeniu, iż wyjście czujnika przyjmie w tej temperaturze wartość 0,5 V. Napięcie REF podane jest na wejście odwracające (noga 2) WO LM358 pracującego jako analogowy komparator.

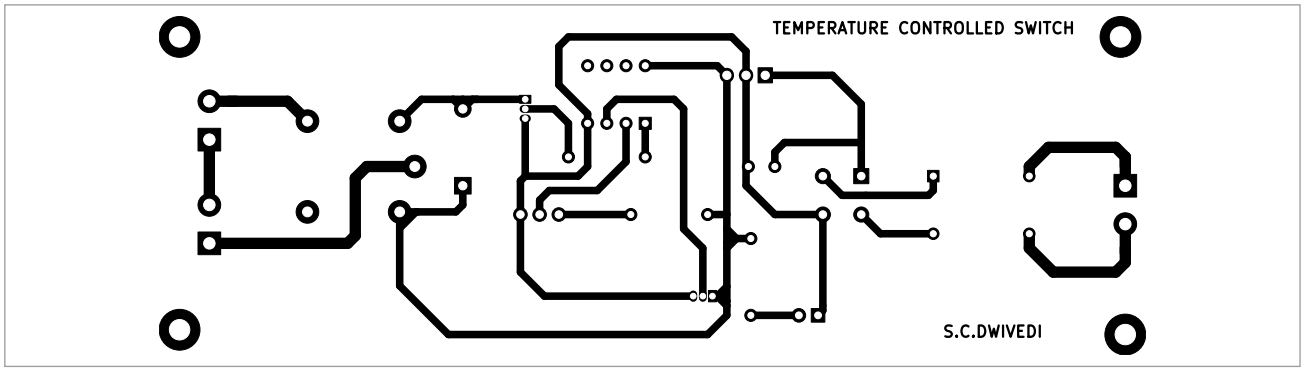
Działanie układu jest proste. Po włączeniu zasilania powinna zaświecić dioda LED1 i układ powinien być gotowy do pracy.

W pobliże czujnika LM35 należy zbliżyć źródło ciepła. W efekcie napięcie na pinie 3 IC3 będzie rosło i gdy przekroczy



Rysunek 2. Schemat ideowy układu

eprasa.pl bfa7a1d357



Rysunek 3. Projekt druku płytki PCB

wartość ustawioną na pinie 2, wyjście (pin 1) powinno przyjąć stan wysoki i cewka przekaźnika zostanie wysterowana. W rezultacie żarówka stanowiąca obciążenie zostanie odłączona od źródła 230 VAC i powinna zgasnąć (o ile użyjemy w przekaźniku styków NC – red.).

Z kolei jeśli temperaturę będziemy obniżać, napięcie na pinie 3 w pewnym momencie stanie się niższe aniżeli REF ustawione na pinie 2. Pin 3 jest wejściem nieodwracającym, a pin 2 wejściem odwracającym, więc wyjście 1 przyjmie stan niski. W tym stanie tranzystor T1 zostanie wyłączony, przekaźnik „puści" i żarówka sygnalizująca stan obciążenia zostanie podłączona do źródła 230 VAC.

W dowolnej aplikacji żarówka może być zastąpiona dowolnym urządzeniem zasilanym wprost z sieci energetycznej 230 VAC. Może to być np. wentylator lub nawet klimatyzator. Wówczas pomieszczenie będzie automatycznie schładzane, jeśli temperatura wzrośnie powyżej ustalonego limitu.

Pokazany tu „switch sterowany temperaturą" może również pracować w roli alarmu przeciwpożarowego. Poziom referencyjny należałoby ustawić wyżej, powiedzmy w okolice 100°C, a jako obciążenie podłączyć syrenę lub jakiś „elektryczny dzwon" (oczywiście w przekaźniku należy wykorzystać styki NO – red.). W przypadku obciążenia wysokoenergetycznego jak klimatyzator, należy zastosować przekaźnik o odpowiednio dużej obciążalności styków (jak również driver być może powinien być „solidniejszy" aniżeli tranzystor BC548 – red.).

Na **rysunku 3** pokazano projekt druku płytki PCB dla proponowanego tu układu. Na **rysunku 4** jest schemat montażowy ułożenia elementów na PCB. W papierowej wersji pisma rozmiary płytki powinny być w skali naturalnej 1:1. Po uzbrojeniu płytki PCB należy ją umieścić w odpowiednio przygotowanej obudowie. Diodę LED1 i złącze CON2 należy umieścić z przodu obudowy, natomiast obciążenie najlepiej ulokować od tyłu. ■

S.C. Dwivedi

Wykaz elementów:

Półprzewodniki:
IC1: LM7805 – stabilizator +5 V
IC2: LM35 – termometr
IC3: LM358 – wzmacniacz operacyjny
BR1: mostek prostowniczy 1 A
T1: BC548 – tranzystor NPN
D1: 1N4007 – dioda prostownicza

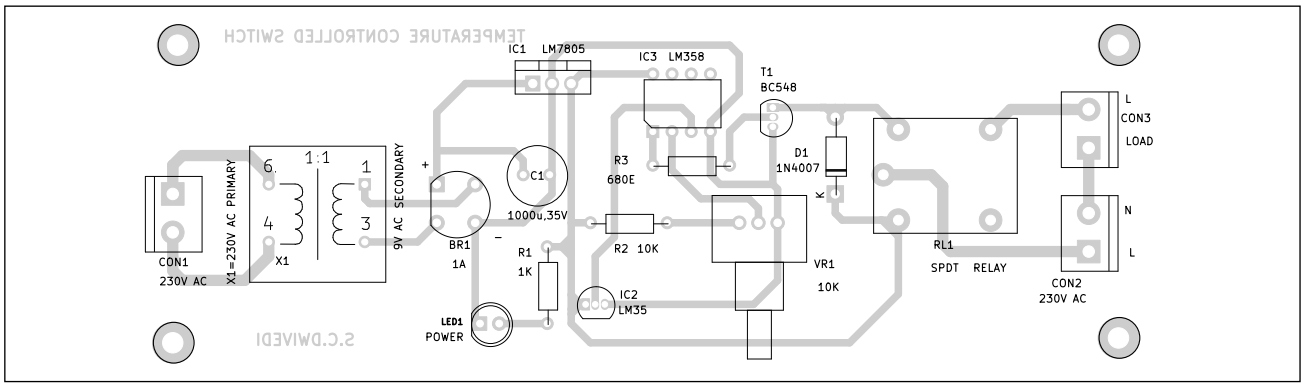
Rezystory: (wszystkie 0,25 W/±5%)
R1: 1 kΩ
R2: 10 kΩ
R3: 680 Ω
VR1: potencjometr 10 kΩ

Kondensatory:
C1: 1000 µF/35 V elektrolityczny

Inne:
Obciążenie: żarówka 230 VAC/20 W
RL1: przekaźnik SPDT 5 V
CON1-CON3: złącze 2-pinowe
X1: transformator 230 VAC/9 VAC 500 mA

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

Układ jest tak prosty, że trudno cokolwiek komentować. Również, tekst autora można by skrócić do kilku zdań. Może warto jedynie dodać, iż w takim układzie przydałaby się niewielka histereza. Niewielkie dodatnie sprzężenie zwrotne, które zabezpieczy przed niestabilnością wokół punktu komparacji wzmacniacza operacyjnego LM358. Należałoby zatem dodać stosunkowo dużej wartości rezystor między wyjście i wejście nieodwracające WO. Jego wartość należałoby odnieść względem impedancji widzianej z wejścia „+". Ale impedancja wyjściowa termometru LM35 jest niska i może wykazywać duże rozrzuty. Równocześnie impedancja wejściowa wzmacniacza jest wysoka. Zatem, należałoby dodać drugi rezystor między wyjście LM35 i wejście nieodwracające (noga 3) LM358. Jeśli ten będzie rzędu 1 kΩ, a zapętlający (pomiędzy nogą 1 i nogą 3) LM358 może być 1000-krotnie większy, łatwo oszacować, że histereza wyniesie jedynie ok. 0,5°C. To nie pogorszy precyzji



Rysunek 4. Ułożenie elementów na PCB

eprasa.pl bfa7a1d357

regulacji, nastawy temperatury progowej przy której układ ma zadziałać (włączając lub wyłączając obciążenie; w zależności czy wykorzystamy w przekaźniku styki NO czy NC). Równocześnie, tak niewielka histereza zabezpieczy obciążenie przed ciągłym przełączaniem, gdy temperatura będzie się zmieniać powoli i będzie w okolicy krytycznej (progowej). Natomiast co do precyzji regulacji, to należałoby zawęzić zakres regulacji potencjometrem do oczekiwanego przedziału. Zakres ten zgodnie ze schematem na rysunku 2, to od 0 V do 2,5 V. Termometr wykazuje charakterystykę o niewielkim nachyleniu 10 mV/°C. A to by oznaczało zakres regulacji w przedziale 250 stopni w stustopniowej skali Celsjusza (lub Kelwina). Takiego zakresu nie ma ani termometr, a oczekiwany zakres regulacji jest zapewne jeszcze dużo mniejszy. Zatem należałoby przeliczyć jakie rezystory dodać, aby pokryć zakres oczekiwany z jedynie niewielkim marginesem. Autor opisuje jak działają fragmenty układu trywialne i oczywiste. Między innymi funkcję kondensatora C1. Natomiast, przydałby się także kondensator na wyjściu stabilizatora LM7805. Autor wyróżnił kilka fragmentów układu, między innymi driver przekaźnika. Jest nim tu skromny tranzystor BC548. Takim tranzystorem można wysterować cewkę jedynie bardzo niewielkiego przekaźnika.

Pobór prądu termometru LM35 i WO LM358 jest bardzo mały, i z tego powodu nie trzeba się martwić o moc wydzielaną w stabilizatorze. Jeśli jednak cewka przekaźnika wymagałaby większego prądu, to należałoby też przeliczyć czy LM7805 nie wymaga niewielkiego radiatora. W tym miejscu także należałoby dopowiedzieć jakiej mocy powinien być transformator X1. W sumie, projekt autora można traktować jako „rzucone hasło" które należy dopracować.

Autor pisze, iż w roli „układu sterującego" wykorzystał wzmacniacz operacyjny LM358. Tu nie ma szczególnych wymagań i praktycznie mógłby pracować dowolny inny. WO pracuje tu jako komparator nie wzmacniacz. Można by więc zalecić któryś z popularnych i tanich komparatorów jak LM339 lub LM393. Nie może to być jednak „bezmyślna" zamiana. Jeśli wyjście jest typu otwarty kolektor, to należy dodać pull-up rezystor, a w przypadku znacznego różnicowego napięcia na wejściach, może zajść potrzeba zabezpieczenia wejść (np. diodami). Również szczegóły aplikacji w której omawiany układ będzie pracował mogą nakazać, iż korzystniejsza może być zamiana wejść plus i minus WO zamiast zamiany styków NO czy NC przekaźnika.

Autor wykorzystał termometr LM35. Tutaj wymagania nie są wygórowane, i prawdopodobnie sprawdziłby się też zwykły termistor. Natomiast warto zwrócić uwagę na cenne cechy układu scalonego LM35. Duża dokładność i liniowość skali. Praktycznie błąd zera i nachylenie charakterystyki skalibrowane dla wygodnego pokrycia całej skali Celsjusza od zera do stu-stopni. Zachowuje parametry w szerokim zakresie napięcia zasilania i pobiera bardzo mało prądu (poniżej 60uA), co skutkuje znikomym samonagrzewaniem nawet wersji w małej plastykowej obudowie TO-92. W zaprezentowanym projekcie niska impedancja wyjściowa nie ma większego znaczenia, natomiast w wielu innych wymagających aplikacjach może to być istotna zaleta. Równocześnie, dopuszczalny prąd czerpany z wyjścia na poziomie 1 mA, choć wydaje się niewielki, w wielu aplikacjach w zupełności wystarcza. W sumie, to ciekawy element wart bliższego poznania jeśli planujemy jakiekolwiek projekty w których potrzebny jest termometr lub element o charakterystyce „termicznie zależnej".

REKLAMA

Publikujemy dla projektantów i programistów elektroniki

ELPORTAL.pl

Znajdziesz nas również na Facebooku: facebook.com/ElportalPL

eprasa.pl bfa7a1d357

Stwórz najmniejszy na świecie laptop do etycznego hakowania i innych zastosowań

Posiadanie małego, nie rzucającego się w oczy urządzenia niezbędnego do etycznego hakowania jest w wielu przypadkach bardzo pomocne. Nie musisz nosić ze sobą pełnowymiarowego laptopa. Spróbujmy stworzyć inteligentne urządzenie do testowania bezpieczeństwa systemów za pomocą exploitów, wszelkiej maści penetrowania sieci oraz wstrzykiwania złośliwego oprogramowania i wirusów. Urządzenie powinno być równie efektywne jak klasyczny laptop, ale wystarczająco małe, aby można je było ukryć i przenieść w dowolne miejsce. Oto jak stworzyć najmniejsze na świecie urządzenie do etycznego hakowania.

Na początek musimy zdecydować o jakie funkcje użytkowe nam chodzi, abyśmy mogli odpowiednio wybrać sprzęt i system operacyjny dla naszej maszyny. Poniżej znajduje się krótkie zestawienie tych funkcji:

Urządzenie powinno:

- być tak małe jak nasza dłoń, łatwe do ukrycia i przeniesienia w dowolne miejsce,
- mieć wbudowaną klawiaturę dotykową,
- mieć wyświetlacz dotykowy ułatwiający prace hackerskie,
- mieć interfejsy Wi-Fi, BLE i Bluetooth do łączności z siecią oraz testów penetracyjnych i hakowania

W kwestii oprogramowania, Kali Linux jest obecnie uważany za najlepszy system operacyjny do etycznego hakowania, ponieważ zawiera wstępne skonfigurowane narzędzia i exploity do hakowania penetracyjnego, takie jak Metasploit, Aircrack-ng i Wireshark.

Projektowanie laptopa

Po zebraniu komponentów wymienionych w zestawieniu materiałów musimy

Red. Biorąc pod uwagę chociażby ograniczoną liczbę klawiszy dostępnych na klawiaturze dotykowej, jak również wątpliwą wygodę użytkowania całości, temat należy potraktować mocno z przymrużeniem oka. Niemniej sam pomysł wykorzystania wyświetlacza dotykowego e-ink a w roli klawiatury, jak też jej podłączenie i oprogramowanie, z pewnością ma prawo przykuć uwagę Czytelnika.

Rysunek 1. Autorski prototyp

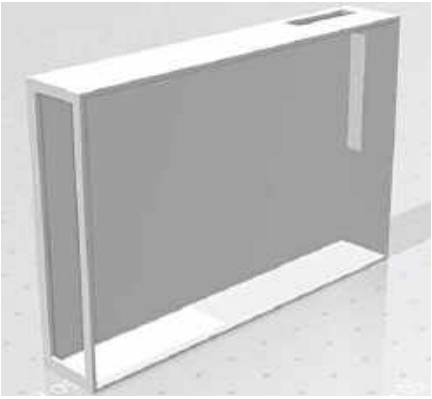
Rysunek 2. Laptop do hakowania z klawiaturą dotykową

Rysunek 3. Laptop z systemem Linux

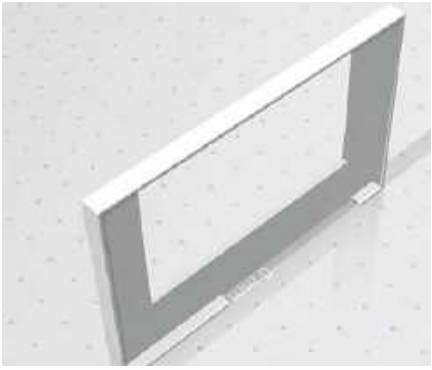
Rysunek 4. Rozmiary laptopa w porównaniu do palca u ręki

eprasa.pl bfa7a1d357

Rysunek 5. Klawiatura dotykowa laptopa

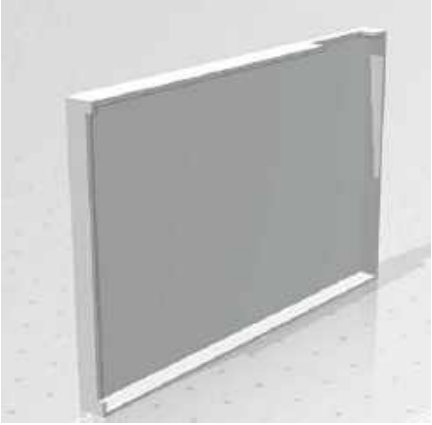


Rysunek 6. Podstawa laptopa



Rysunek 7. Pokrywa podstawy do przytrzymywania klawiatury

Rysunek 8. Panel LCD



Rysunek 9. Tylna pokrywa panelu LCD

Tabela 1. Lista materiałowa

Nazwa komponentu	Liczba	Opis
Raspberry Pi 4	1	2GB/4GB/8GB
Dotykowy wyświetlacz LCD o przekątnej 8,9 cm	1	Wyświetlacz LCD HDMI/SPI
Dotykowy wyświetlacz e-ink o przekątnej 5,43 cm	1	Dotykowy wyświetlacz e-ink
Akumulator 5 V + układ scalony do jego ładowania	1	5 V bateria litowa cienka
Części drukowane 3D do laptopa	1	Druk 3D z ABS/PLA
Przewody	30	Cienki przewód

zaprojektować obudowę laptopa, która powinna składać się z trzech części:

Pierwszą z nich jest podstawa, w której umieszczona jest płytka Raspberry Pi, bateria zasilająca i system komunikacji. W podstawie wykonujemy dwa wycięcia: jedno na złącza Ethernet i USB a drugie na wtyk do zasilania komputera i ładowania baterii.

Drugą z nich jest górna część podstawy, w której mieści się klawiatura dotykowa zbudowana w oparciu o ekran e-ink. Wykonujemy odpowiednie wycięcia mocujące, jak pokazano na **rysunku 7**.

Trzecią z nich jest oprawa panelu LCD o odpowiednich rozmiarach i grubości.

Po zaprojektowaniu wszystkich części obudowy laptopa możemy je wydrukować na drukarce 3D.

Czynności wstępne

Zanim przejdziemy dalej, musimy zorganizować Raspberry Pi oraz kartę microsd na system Kali Linux. Następnie należy za pomocą jakiegoś innego komputera wejść na oficjalną stronę Kali Linux i pobrać jego najnowszą wersję dla urządzeń opartych na ARM, takich jak Raspberry Pi. Należy też pobrać i zainstalować aplikację Raspberry Pi Disk Imager i przy jej pomocy wgrać system operacyjny na wspomnianą wcześniej kartę SD.

Obsługa wyświetlacza

Dla naszego laptopa możemy wybrać dowolny ekran o przekątnej do 8,9 cm (3,5 cala) przeznaczony do pracy z Raspberry Pi. W prototypie użyto wyświetlacza z interfejsem SPI, ponieważ został on już wcześniej zakupiony, jednak zalecane jest stosowanie wyświetlacza dotykowego z interfejsem HDMI, ponieważ klawiatura też pracuje z użyciem interfejsu SPI. Zastosowanie dwóch paneli wykorzystujących ten sam interfejs może powodować konflikt w komunikacji. Nie jest to krytyczne, gdyż w klawiaturze wykorzystywana jest funkcja dotykowa oparta na protokole I²C, więc uniknięcie konfliktu nie powinno być trudne.

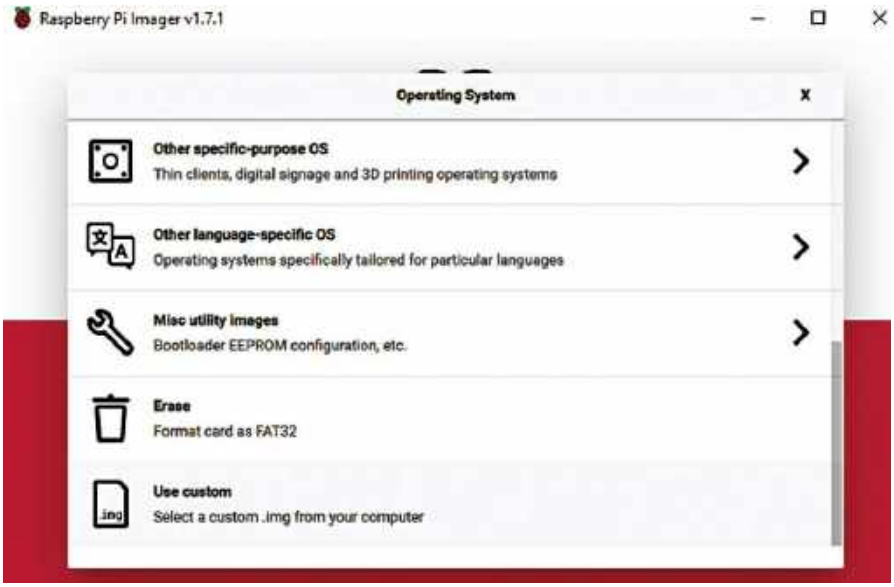
Aby skorzystać z interfejsu SPI, musimy w systemie Kali Linux zainstalować odpowiednie sterowniki i skonfigurować wyświetlacz dotykowy SPI.

Red. Autor publikacji najwyraźniej założył, że Czytelnik wie, w jaki sposób nawiązać połączenie z konsolą tekstową Raspberry Pi z uruchomionym systemem Kali Linux (bądź jakąkolwiek inną dystrybucją Linuksa), na przykład z użyciem PuTTY i protokołu SSH. I chyba miał do tego prawo, skoro treść publikacji dotyczy „ethical hackingu".

W tym celu należy otworzyć terminal i wpisać następujące polecenia:

eprasa.pl bfa7a1d357

Kity pokrewne tematycznie, dostępne na stronie: https://sklep.avt.pl:
Komputer samochodowy z wyświetlaczem LCD niebieskie znaki, KIT AVT3095/4
https://sklep.avt.pl/pl/products/komputer-samochodowy-z-wyswietlaczem-lcd-niebieskie-znaki-kit-avt3095-4-170599.html



Rysunek 10. Przygotowanie karty SD z systemem operacyjnym Kali Linux

Rysunek 11. Podłączanie wyświetlacza SPI do Raspberry Pi

Rysunek 12. Układ klawiatury na wyświetlaczu e-ink

Tabela 2. Połączenia wyświetlacza SPI

Pin No.	Symbol	Opis
1, 17	3.3 V	Zasilanie (wejście zasilania 3,3 V)
2, 4	5 V	Zasilanie (wejście zasilania 5 V)
3, 5, 7, 8, 10, 12, 13, 15, 16	NC	NC
6, 9, 14, 20, 25	GND	Uziemienie
11	TP_IRQ	Przerwanie od panelu dotykowego; niski poziom gdy panel dotykowy wykrywa dotknięcie
18	LCD_RS	Wybór rejestru instrukcji/danych
19	LCD_SI/TP_SI	Wejście danych SPI wyświetlacza LCD/panelu dotykowego
21	TP_SO	Wyjście danych SPI panelu dotykowego
22	RST	Reset
23	LCD_SCK/TP_SCK	Zegar SPI wyświetlacza dotykowego LCD
24	LCD_CS	Wybór ekranu LCD, poziom niski aktywny
26	TP_CS	Wybór panela dotykowego, poziom niski aktywny

```
git clone https://github.com/goodtft/
LCD-show.git
chmod -R 755 LCD-show
cd LCD-show/
sudo ./LCD35-show
```

Po zainstalowaniu sterowników należy podłączyć wyświetlacz SPI, jak pokazano na **rysunku 11**. Piny Raspberry Pi należy połączyć zgodnie z **tabelą 2**.

Przygotowanie systemu do obsługi klawiatury dotykowej

Do wprowadzania danych do naszego laptopa zastosowany został drugi wyświetlacz, pełniący rolę klawiatury dotykowej. Do jego poprawnej pracy niezbędne jest odpowiednie oprogramowanie. Dla utworzenia wirtualnych klawiszy należy wgrać ich obraz, mający postać wektorowego pliku graficznego. Rozmiary obrazu należy dostosować do rozmiarów wyświetlacza.

Następnie należy pobrać bibliotekę do obsługi dotykowego wyświetlacza e-ink waveshare. W tym celu należy otworzyć system Linux i wpisać następujące polecenia:

```
sudo pip3 install gpiozero
wget http://www.airspayce.com/mikem/
bcm2835/bcm2835-1.68.tar.gz
tar zxvf bcm2835-1.68.tar.gz
cd bcm2835-1.68/
sudo./configure && sudo make &&
sudo make
check && sudo make install
sudo apt-get install wiringpi
sudo apt-get update
sudo apt-get install python3-pip
```


eprasa.pl bfa7a1d357

```
#!/usr/bin/python
# -*- coding:utf-8 -*-
import sys
import os
libdir = os.path.join(os.path.dirname(os.path.
dirname(os.path.realpath(__file__))), 'lib')
if os.path.exists(libdir):
    sys.path.append(libdir)

from TP_lib import gt1151
from TP_lib import epd2in13_V2
import time
import logging
import traceback
import threading
from pynput.keyboard import Key, Controller

logging.basicConfig(level=logging.DEBUG)
flag_t = 1
keyboard = Controller()

def pthread_irq() :
    print("pthread running")
    while flag_t == 1 :
        if(gt.digital_read(gt.INT) == 0) :
            GT_Dev.Touch = 1
        else :
            GT_Dev.Touch = 0
    print("thread:exit")


try:
    logging.info("epd2in13_V2 Touch Demo")
```

Rysunek 13. Kod do wprowadzania danych z klawiatury

```
#

import RPi.GPIO as GPIO
import time
from smbus import SMBus
import spidev
import ctypes
import logging

# e-Paper
EPD_RST_PIN     = 17
EPD_DC_PIN      = 25
EPD_CS_PIN      = 8
EPD_BUSY_PIN    = 24

# TP
TRST    = 22
INT     = 27

spi     = spidev.SpiDev(1, 0)
address = 0x0
# address = 0x14
# address = 0x48
bus     = SMBus(1)
```

Rysunek 15. Zmiana numeru SPI w kodzie

```
File  Edit  Format  Run  Options  Window  Help
    t = threading.Thread(target = pthread_irq)
    t.setDaemon(True)
    t.start()
    while(1):

        gt.GT_Scan(GT_Dev, GT_Old)
        if(GT_Old.X[0] == GT_Dev.X[0] and GT_Old.Y[0] == GT_Dev.Y[0] and GT_Old.S[0] == GT_Dev.S[0]):
            continue
        if(GT_Dev.X[0] > 100 and GT_Dev.X[0] <114 and GT_Dev.Y[0] > 2 and GT_Dev.Y[0] < 37):
            keyboard.type('1')
            print('1')
        if(GT_Dev.X[0] > 100 and GT_Dev.X[0] < 114 and GT_Dev.Y[0] > 38 and GT_Dev.Y[0] < 53):
            print('2')
            keyboard.type('2')

        elif(GT_Dev.X[0] > 100 and GT_Dev.X[0] < 114 and GT_Dev.Y[0] > 52 and GT_Dev.Y[0] < 71):
            print('3')
            keyboard.type('3')
        elif(GT_Dev.X[0] > 100 and GT_Dev.X[0] < 114 and GT_Dev.Y[0] > 73 and GT_Dev.Y[0] < 109):
            print('4')
            keyboard.type('4')
        elif(GT_Dev.X[0] > 100 and GT_Dev.X[0] < 114 and GT_Dev.Y[0] > 101 and GT_Dev.Y[0] < 123):
            print('5')
            keyboard.type('5')
        elif(GT_Dev.X[0] > 100 and GT_Dev.X[0] < 114 and GT_Dev.Y[0] > 125 and GT_Dev.Y[0] < 149):
            print('6')
            keyboard.type('6')
        elif(GT_Dev.X[0] > 100 and GT_Dev.X[0] < 114 and GT_Dev.Y[0] > 150 and GT_Dev.Y[0] < 173):
            print('7')
            keyboard.type('7')
        elif(GT_Dev.X[0] > 100 and GT_Dev.X[0] < 114 and GT_Dev.Y[0] > 175 and GT_Dev.Y[0] < 197):
            print('8')
            keyboard.type('8')
        elif(GT_Dev.X[0] > 100 and GT_Dev.X[0] < 114 and GT_Dev.Y[0] > 199 and GT_Dev.Y[0] < 223):
            print('9')
            keyboard.type('9')
        elif(GT_Dev.X[0] > 100 and GT_Dev.X[0] < 114 and GT_Dev.Y[0] > 225 and GT_Dev.Y[0] < 248):
            print('10')
```

Rysunek 14. Kod identyfikujący punkty dotykane na wyświetlaczu

```
sudo apt-get install python3-pil
sudo apt-get install python3-numpy
sudo pip3 install RPi.GPIO
sudo pip3 install spidev
cd ~
git clone https://github.com/waveshare/
Touch_e-Paper_HAT
```

Wyświetlacz dotykowy e-ink należy podłączyć do pinów GPIO Raspberry Pi. W przykładowym kodzie należy zmienić „pic" na nazwę obrazu wektorowego układu klawiatury.

Tabela 3. Podłączenie wyświetlacza e-ink do Raspberry Pi

Piny e-ink	Piny BCM	Piny na płytce
VCC	3.3 V	3.3 V
GND	GND	GND
INT	27	13
SCL	SCL1	5
SDA	SDA1	3
TRST	22	15

Rysunek 17. Raspberry Pi zamontowane w obudowie

```
#uncomment to overclock the arm. 700 MHz is the default.
#arm_freq=800

# Uncomment some or all of these to enable the optional hardware interfaces
dtparam=i2c_arm=on
#dtparam=i2s=on
dtparam=spi=on
enable_uart=1
dtoverlay=spi1-3cs,cs0_pin=05,cs1_pin=06,cs2_pin=16

# Uncomment this to enable the lirc-rpi module
#dtoverlay=lirc-rpi

# Additional overlays and parameters are documented /boot/overlays/README

# Enable audio (loads snd_bcm2835)
dtparam=audio=on
dtoverlay=waveshare35a

^G Get Help   ^O Write Out  ^W Where Is   ^K Cut Text   ^J Justify    ^C Cur Pos
^X Exit       ^R Read File  ^\ Replace    ^U Uncut Text ^T To Spell   ^_ Go To Line
```

Rysunek 16. Włączanie innych interfejsów SPI na Raspberry Pi

Rysunek 18. Klawiatura dotykowa umieszczona na podstawie laptopa

eprasa.pl bfa7a1d357

Rysunek 19. Zamontowana klawiatura dotykowa

Rysunek 20. Laptop z systemem Kali Linux i z zamontowanym wyświetlaczem

Kod należy uruchomić a następnie wyłączyć zasilanie Raspberry Pi. Na wyświetlaczu powinien być nadal widoczny obraz klawiatury, pomimo braku zasilania. Wyświetlacz e-ink wykorzystuje specjalną technikę, w której cząsteczki atramentu aktywowane elektrycznie pozostają widoczne na wyświetlaczu, podobnie jak atrament drukowany na papierze.

Następnie należy utworzyć kod, który będzie identyfikował punkty dotykane na wyświetlaczu i konwertował sygnały z klawiatury na dane wejściowe dla systemu Kali Linux w Raspberry Pi. Do wprowadzenia sygnałów z wirtualnej myszy i klawiatury, bez faktycznego ich podłączania, wykorzystana została jedna z bibliotek Pythona. W celu jej wgrania do systemu należy uruchomić terminal i wydać następujące polecenie:

```
sudo pip3 install pynput
```

Następnie należy przygotować kod, który będzie wykrywał i lokalizował dotknięcia wirtualnej klawiatury i tworzył dane wyjściowe dla poszczególnych klawiszy. W tym celu należy zaimportować bibliotekę i moduły pynput służące do wirtualnego wprowadzania danych do Raspberry Pi, jak pokazano na **rysunku 13**. Na tym etapie należy sprawdzić reakcję systemu na dotykanie poszczególnych punktów wyświetlacza, używanego jako wirtualna klawiatura.

Następnie, w kodzie należy utworzyć pętlę while i zdefiniować funkcję wykorzystującą pynput do wprowadzania danych z klawiatury do Raspberry Pi, jak pokazano na **rysunku 14**.

W tym momencie należy zmienić numer portu SPI Raspberry Pi z SPI(0,0) na SPI(1,0). W tym celu należy otworzyć folder lib i w kodzie do obsługi wyświetlacza dotykowego e-ink zmienić wpis SPI(0,0) na SPI(1,0) w każdym miejscu, w którym on występuje. Następnie należy zapisać zmodyfikowany kod i włączyć drugi port SPI w Raspberry Pi. W tym celu, w pliku rozruchowym config.txt umieszczonym w katalogu głównym Raspberry Pi należy dodać linię widoczną na **rysunku 15**, zaznaczoną strzałką.

Wyświetlacz e-ink należy podłączyć do pinów Raspberry Pi zgodnie z danymi z tabeli 2. Ponieważ używamy tylko części dotykowej wyświetlacza, a kontroler dotykowy jest oparty na protokole I²C, do Raspberry Pi podłączamy tylko wybrane piny kontrolera dotykowego.

Przygotowanie laptopa

Po dokonaniu zmian w bibliotece i modułach, oraz po podłączeniu wszystkich interfejsów, cały hardware należy umieścić w obudowie laptopa, którą możemy wydrukować na drukarce 3D. Komponenty należy zamocować w sposób pokazany na **rysunkach 17...20**. Bateria i elementy systemu ładowania muszą być umieszczone wewnątrz obudowy, jednak piny 5 V i GND płytki Raspberry Pi muszą być dostępne na zewnątrz.

Testowanie

Gratulacje! Najmniejszy na świecie laptop do etycznego hakowania jest gotowy do użytku. Na tym etapie należy włączyć zasilanie laptopa i uruchomić kod obsługujący klawiaturę. Maszyna hakerska jest gotowa do pracy. Jej użyteczność, pomimo niewielkich rozmiarów, jest porównywalna z użytecznością klasycznego laptopa.

Tego laptopa można zabrać ze sobą wszędzie, w celu przeprowadzenia testów penetracyjnych, modyfikacji zabezpieczeń w sieci, a następnie przetestowania warunków jej bezpieczeństwa. Oczywiście można go również używać jak każdy inny komputer do codziennej pracy, do grania w gry, oglądania filmów lub przeglądania Internetu. Cokolwiek robisz na swoim zwykłym laptopie, ten mały laptop, w większości przypadków będzie w stanie zrobić to samo. ■

Ashwini Kumar Sinha

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

REKLAMA

eprasa.pl bfa7a1d357

Patronat!

Poniżej prezentujemy listę szkół biorących udział w programie PATRONAT AVT, który jest całkowicie bezpłatny, a szkoły objęte tym patronatem korzystają z różnych benefitów, takich jak bezpłatne prenumeraty, darmowe pakiety próbne kitów AVT, itp. Szkoły, które dopiero teraz dowiadują się o naszej akcji PATRONAT AVT, prosimy o przeczytanie listu w EdW 09/2022 (wydanie dostępne na www.ulubionykiosk.pl) i zgłoszenie akcesu do PATRONATU AVT. Zgłoszenia prosimy wysyłać na adres: prenumerata@avt.pl.

- Centrum Edukacji Zawodowej, 82-200 Malbork, De Gaulle'a 75a
- Centrum Edukacji Zawodowej i Biznesu, 66-400 Gorzów Wielkopolski, Pomorska 67
- Gminny Zespół Szkolno-Przedszkolny nr 4 w Więckach, 42-110 Popów, Więcki, Szkolna 1
- Górnośląskie Centrum Edukacyjne im. Marii Skłodowskiej-Curie w Gliwicach, 44-100 Gliwice, Okrzei 20
- Noworudzka Szkoła Techniczna w Nowej Rudzie, 57-401 Nowa Ruda, Stara Droga 4
- Regionalne Centrum Edukacji Zawodowej w Biłgoraju, 23-400 Biłgoraj, Kościuszki 98
- Regionalne Centrum Edukacji Zawodowej w Lubartowie, 21-100 Lubartów, 1 Maja 82
- Technikum nr 4 im. Marii Skłodowskiej-Curie, 41-902 Bytom, Katowicka 35
- Zespół Placówek Edukacyjno-Wychowawczych w Gołdapi, 19-500 Gołdap, Wojska Polskiego 18
- Zespół Placówek Oświatowych w Rudniku, 32-440 Sułkowice, Rudnik, Szkolna 55
- Zespół Szkolno-Przedszkolny nr 2 w Wiśle, 43-460 Wisła, Malinka 53
- Zespół Szkolno-Przedszkolny nr 3 w Gliwicach, 44-122 Gliwice, Żwirki i Wigury 85
- Zespół Szkolno-Przedszkolny nr 4 w Rybniku, 44-207 Rybnik, Komisji Edukacji Narodowej 29
- Zespół Szkolno-Przedszkolny w Choceniu, 87-850 Choceń, Sikorskiego 12
- Zespół Szkolno-Przedszkolny w Ostrożnicy, 47-280 Pawłowiczki, Ostrożnica, Kościelna 42
- Zespół Szkół Budowlano-Elektrycznych im. Jana III Sobieskiego w Świdnicy, 58-100 Świdnica Śląska, Wałbrzyska 35-37
- Zespół Szkół Centrum Kształcenia Ustawicznego w Gronowie, 87-162 Lubicz Dolny, Gronowo 128
- Zespół Szkół Elektronicznych i Telekomunikacyjnych w Olsztynie, 10-144 Olsztyn, Bałtycka 37a
- Zespół Szkół Elektronicznych im. I. Domeyki w Bolesławcu, 59-700 Bolesławiec, Tyrankiewiczów 2
- Zespół Szkół Elektronicznych w Rzeszowie, 35-078 Rzeszów, Hetmańska 120
- Zespół Szkół Elektronicznych, Elektrycznych i Mechanicznych, 43-300 Bielsko-Biała, Słowackiego 24
- Zespół Szkół Elektrycznych nr 2 w Krakowie, 31-977 Kraków, Os. Szkolne 26
- Zespół Szkół Elektrycznych w Kielcach, 25-317 Kielce, Kaczorowskiego 8
- Zespół Szkół im. Bolesława Prusa, 42-207 Częstochowa, Prusa 20
- Zespół Szkół im. ks. dra Jana Zwierza w Ropczycach, 39-100 Ropczyce, Mickiewicza 14
- Zespół Szkół im. Ks. Stanisława Staszica, 39-400 Tarnobrzeg, Kopernika 1
- Zespół Szkół nr 1 w Przysietnicy, 36-200 Brzozów, Przysietnica 198
- Zespół Szkół nr 10 im. Prof. Janusza Groszkowskiego w Zabrzu, 41-807 Zabrze, Chopina 26
- Techniczne Zakłady Naukowe w Dąbrowie Górniczej, 41-300 Dąbrowa Górnicza, Zawidzkiej 10
- Zespół Szkół nr 2 im. Eugeniusza Kwiatkowskiego w Dębicy, 39-200 Dębica, Lisa 2
- Zespół Szkół nr 2 im. Gen. Józefa Bema, 05-822 Milanówek, Wójtowska 3
- Zespół Szkół nr 2 im. Ks. Prof. Józefa Tischnera w Żorach, 44-240 Żory, Boryńska 2
- Zespół Szkół nr 2 w Pabianicach im. prof. Janusza Groszkowskiego, 95-200 Pabianice, św. Jana 27
- Zespół Szkół nr 4 w Nowym Sączu, 33-300 Nowy Sącz, Św. Ducha 6
- Zespół Szkół nr 40 im. Stefana Starzyńskiego, 03-771 Warszawa, Objazdowa 3
- Zespół Szkół Politechnicznych im. Bohaterów Monte Cassino we Wrześni, 62-300 Września, Wojska Polskiego 1
- Zespół Szkół Ponadgimnazjalnych nr 1 w Jarocinie, 63-200 Jarocin, Franciszkańska 1
- Zespół Szkół Ponadpodstawowych nr 2 im. E. Kwiatkowskiego w Jarocinie, 63-200 Jarocin, Franciszkańska 2
- Zespół Szkół Ponadpodstawowych nr 3 im. Armii Krajowej w Zamościu, 22-400 Zamość, Zamoyskiego 62
- Zespół Szkół Powiatowych im. Stanisława Staszica w Opocznie, 26-300 Opoczno, Kossaka 1a
- Zespół Szkół Publicznych w Szewnie, 27-400 Ostrowiec Świętokrzyski, Szewna, Langiewicza 3
- Zespół Szkół Spożywczych i Hotelarskich w Radomiu, 26-600 Radom, św. Brata Alberta 1
- Zespół Szkół Techniczno-Informatycznych w Elblągu, 82-300 Elbląg, Rycerska 2
- Zespół Szkół Technicznych i Licealnych w Piechowicach, 58-573 Piechowice, Przemysłowa 21
- Zespół Szkół Technicznych i Ogólnokształcących nr 3 im. E.Abramowskiego, 40-659 Katowice, Harcerzy Września 1939 2
- Zespół Szkół Technicznych im. Armii Krajowej w Skarżysku-Kamiennej, 26-110 Skarżysko-Kamienna, Tysiąclecia 22
- Zespół Szkół Technicznych im. Ignacego Mościckiego w Tarnowie, 33-101 Tarnów, E. Kwiatkowskiego 17
- Zespół Szkół Technicznych w Kolbuszowej, 36-100 Kolbuszowa, Bytnara 2
- Zespół Szkół w Błażowej, 36-030 Błażowa, Kowala 3
- Zespół Szkół w Gościnie, 78-120 Gościno, Kościuszki 5
- Zespół Szkół w Zarzeczu, 37-205 Zarzecze, św. Jana Pawła II 7
- Zespół Szkół Zawodowych nr 1 im. gen. F. Kleeberga w Dęblinie, 08-530 Dęblin, Tysiąclecia 3
- Zespół Szkół Samochodowych im. inż. Tadeusza Tańskiego, 33-300 Nowy Sącz, Rejtana 18a
- Szkoła Podstawowa im. Rodzimych Bohaterów II Wojny Światowej w Załakowie, 83-342 Kamienica Królewska, Załakowo 6

eprasa.pl bfa7a1d357

ELEKTRONIKA dla wszystkich
nr 3/2025 (9)
JUNIOR

Maciej. Młodzi Entuzjaści Elektroniki, Szkoła Podstawowa nr 86, Wrocław

Czy wiesz, że niewielkim nakładem pracy możesz zbudować własny alarm, który reaguje na wysoką temperaturę? W ramach dzisiejszych zajęć zbudujesz i uruchomisz Termo Strażaka – prosty układ, który uruchomi sygnał świetlny i dźwiękowy, gdy zrobi się zbyt gorąco! Wykorzystasz do tego zupełnie nowy komponent: termistor NTC, który zmienia swoją rezystancję w zależności od temperatury, oraz wzmacniacz operacyjny LM358 w roli komparatora, który zdecyduje, kiedy włączyć alarm. Za pomocą potencjometru będziesz mógł samodzielnie ustawić temperaturę, przy której układ zacznie sygnalizować. Gotowy na kolejną przygodę? Zatem, do dzieła!

Wzmacniacz operacyjny

W ramach piątego spotkania Juniorów EdW (EdW 11/2024, str. 83…90) zbudowaliśmy Wściekłego byka LED. Użyłeś wtedy nowego dla siebie elementu, wzmacniacza operacyjnego, a ściślej, dwóch takich wzmacniaczy zamkniętych w pojedynczej kości o symbolu LM358 (żółte trójkąty na schemacie). Nie napisałem wtedy zbyt wiele na temat samych wzmacniaczy operacyjnych. Wspominałem jedynie, że wzmacniacz operacyjny to układ elektroniczny, który wzmacnia różnicę napięć między dwoma wejściami, i który działa w sposób liniowy, z bardzo wysokim wzmocnieniem. Układ, który złożymy podczas dzisiejszych zajęć – **Termo Strażak**, dostępny w www.sklep.avt.pl pod nazwą **AVTEDU649** (**fotografia 1**) – również opiera się na tej kości.

Jest on wyjątkowo prosty i wykorzystuje zaledwie jeden z dwóch dostępnych w tej kości wzmacniaczy operacyjnych. Wzmacniacz operacyjny (żółty trójkąt na schemacie) sam w sobie jest elementem bardzo uniwersalnym, i w zależności od jego konfiguracji (sposobu dołączenia do niego zewnętrznych komponentów oraz doboru ich wartości) potrafi pełnić w układach elektronicznych bardzo różne funkcje. Kilka podstawowych konfiguracji i zastosowań wzmacniaczy operacyjnych znajdziesz na liście poniżej:

- **wzmacniacz nieodwracający** – zwiększa napięcie wejściowe bez odwracania fazy,
- **wzmacniacz odwracający** – wzmacnia napięcie wejściowe i odwraca jego fazę,
- **bufor (wtórnik napięciowy)** – zapewnia wysoką impedancję wejściową i niską impedancję wyjściową bez wzmacniania sygnału,
- **sumator** – dodaje napięcia wejściowe w odpowiednich proporcjach,
- **układ różnicowy** – odejmuje jedno napięcie wejściowe od drugiego,

Fotografia 1. Termo Strażak, kod handlowy: AVTEDU649

- **filtr aktywny** – może działać jako filtr dolnoprzepustowy, górnoprzepustowy, pasmowy lub zaporowy,
- **komparator** – porównuje dwa napięcia i zmienia stan wyjścia w zależności od ich wartości,
- **generator sygnałów** – może być wykorzystany do budowy generatora przebiegów prostokątnych, trójkątnych i innych,
- **regulator PID (Proporcjonalno-Całkująco-Różniczkujący)** – może stanowić część układu regulacji, np. w systemach automatyki.

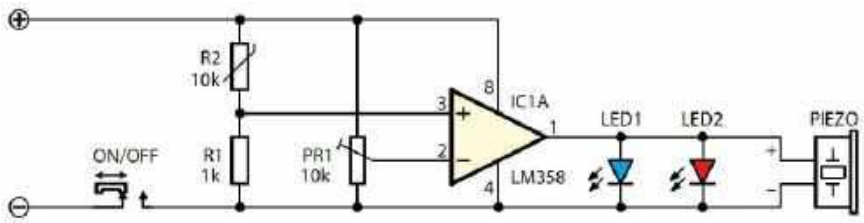
Nie będę Cię w tym momencie zamęczał omawianiem każdej z wyżej wymienionych funkcji, chcę tylko pokazać, że ten konkretny komponent elektroniczny – wzmacniacz operacyjny – może mieć przeróżne zastosowania i pełnić bardzo różne role w zależności od wybranej aplikacji (polecamy „Praktyczny kurs op-ampów" w numerach archiwalnych EdW 3…12/2023 – dostępnych na www.ulubionykiosk.pl).

Komparator

W układzie **Termo Strażaka** wzmacniacz operacyjny pełni funkcję **komparatora**, a więc **porównuje dwa napięcia i zmienia stan wyjścia w zależności od ich wartości**. Schemat układu elektronicznego przedstawiono na **rysunku 1**.

Do wyjścia wzmacniacza operacyjnego (wyprowadzenie 1 układu LM358) podłączono równolegle trzy elementy: dwie diody LED oraz buzzer aktywny. Są one załączane bezpośrednio z wyjścia wzmacniacza, co ma prawo budzić wątpliwości. Niemniej na potrzeby zabawy i dla zachowania przejrzystości można ten układ uznać za wystarczający. Należy natomiast wspomnieć (co nie

eprasa.pl bfa7a1d357



Rysunek 1. Schemat ideowy układu

wynika wprost z listy elementów zamieszczonej w instrukcji dołączonej do zestawu), że obie zastosowane diody LED to diody migające, a buzzer aktywny akceptuje napięcie stałe o wartości 12 V. Z tego też powodu wszystkie trzy elementy sterowane są bezpośrednio z wyjścia wzmacniacza operacyjnego, a w obwodach diod LED brak rezystorów szeregowych (kontrolą prądu przepływającego przez diody LED zajmuje się zintegrowany w migającej diodzie LED układ sterujący).

Elementy podłączone do wyprowadzeń 1, 2 oraz 3 tego wzmacniacza operacyjnego definiują tryb jego pracy. Wyprowadzenie 1 stanowi wyjście wzmacniacza operacyjnego, załączające diody LED i buzzer. Jak widać na schemacie z rysunku 1, nie jest ono sprzężone z żadnym z dostępnych wejść. Istnieje więc pełna separacja pomiędzy wejściami a wyjściem wzmacniacza operacyjnego. Zmiany sygnału na wyjściu wzmacniacza operacyjnego nie powodują zmian na żadnym z wejść wzmacniacza operacyjnego. Oznacza to, że układ wzmacniacza operacyjnego pracuje tu jako komparator.

Zadaniem komparatora jest porównywanie dwóch napięć podawanych na jego wejścia. Zauważ proszę, że jedno z tych wejść **oznaczone jest znakiem „+”**. W taki sposób oznaczane jest **wejście nieodwracające**. Drugie wejście **oznaczone jest znakiem „–”** i jest to **wejście odwracające**. Dlaczego oznaczone są one w różny sposób i jaka jest pomiędzy nimi różnica?

Wejście nieodwracające („+”): jeśli napięcie na tym wejściu jest wyższe niż na wejściu odwracającym („–”), to wyjście przechodzi w stan wysoki (bliski napięciu zasilania). Oznacza to, że napięcie wejściowe „+” bezpośrednio wpływa na wynik porównania – im większe, tym bardziej skłania komparator do ustawienia wyjścia na poziom wysoki.

Wejście odwracające („–”): jeśli napięcie na tym wejściu jest wyższe niż na wejściu nieodwracającym („+”), to wyjście przechodzi w stan niski (bliski 0 V). Oznacza to, że wyższe napięcie na tym wejściu powoduje „odwrócenie” wyniku – wyjście przechodzi w stan niski.

W praktyce, dla większości przypadków, na wejściu odwracającym „–” wygodnie będzie ustawić napięcie odniesienia, z którym komparator będzie porównywał napięcie podawane na wejście nieodwracające „+”.

Na schemacie z rysunku 1 można zobaczyć, że na wejście odwracające komparatora podłączony jest ślizgacz potencjometru, a więc trzecia jego elektroda, która podczas strojenia potencjometru może poruszać się po całym jego zakresie rezystancyjnym. Ten zakres dostępny jest pomiędzy dwiema pozostałymi elektrodami tego potencjometru. Są one podłączone pomiędzy „plusowy” i „minusowy” biegun zasilania. Co daje takie podłączenie potencjometru? Otóż pozwala ono ustawić na ślizgaczu potencjometru dowolne napięcie z zakresu od 0 V aż do napięcia bliskiego 9 V, dostarczanego przez zastosowaną baterię. Innymi słowy, za pomocą potencjometru PR1 jesteśmy w stanie na wejściu odwracającym wzmacniacza operacyjnego ustawić dowolne napięcie odniesienia z przedziału 0 V…9 V. Mamy więc pełną swobodę regulacji napięcia odniesienia. Spójrz teraz na schemat, by przekonać się, co jest podłączone na wejście nieodwracające.

Jak już pewnie zauważyłeś, na wejście nieodwracające wzmacniacza operacyjnego podane zostało napięcie z dzielnika złożonego z szeregowo połączonych termistora NTC o wartości 10 kΩ, oznaczonego na schemacie jako R2 oraz rezystora R1 o wartości 1 kΩ. Skrajne wyprowadzenia dzielnika, zostały wpięte, od strony termistora R2 do „plusa” zasilania, a od strony rezystora R1 do „minusa” zasilania. Termistor NTC to rodzaj rezystora, którego rezystancja zależy od temperatury otoczenia. Opowiem Ci o nim za chwilę. W tej chwili ważne jest jedynie to, abyś widział że na wejście nieodwracające wzmacniacza operacyjnego zostało podane napięcie panujące pomiędzy elementami R1 oraz R2, czyli na dzielniku napięcia utworzonego tymi elementami.

Podsumowując: za pomocą PR1 można ustawić dowolne napięcie odniesienia z przedziału od 0 V do 9 V. Gdy napięcie na dzielniku złożonym, z elementów R2 i R1 osiągnie taką samą (lub większą) wartość jak napięcie odniesienia, wyjście komparatora zostanie załączone i pojawi się na nim napięcie dodatnie względem zera i bliskie napięciu zasilania (bez obciążenia jest to około 8 V).

Sygnalizacja optyczno-akustyczna

Gdy wyjście komparatora zostanie załączone, diody LED1 oraz LED2 zaczną migać, a aktywny buzzer PIEZO zacznie generować dźwięk. Ograniczona wydajność prądowa wyjścia wzmacniacza LM358 (około 20 mA, z dużym spadkiem napięcia na wyjściu) skutkuje tym, że miganie diod LED (ich cykliczne zaświecanie się i wygaszanie) generuje skoki napicia na wyjściu wzmacniacza, które z kolei (w sposób zamierzony przez autora, bądź nie) modulują dodatkowo jednotonowy dźwięk płynący z aktywnego buzzera piezo, zmieniając generowany sygnał akustyczny w dwutonowy, co dodatkowo zwiększa atrakcyjność układu.

Regulacja temperaturowego progu załączenia alarmu

W jaki sposób skonfigurować próg zadziałania **Termo Strażaka**? Najprościej doświadczalnie, zabierając go w miejsce z temperaturą odpowiadającą progowi zadziałania układu i precyzyjnie ustawiając płaskim śrubokrętem potencjometr PR1 na pozycję, przy której układ zaczyna alarmować.

Jeśli jesteś entuzjastą wybitnym i na wskroś dociekliwym, taka odpowiedź może Ci nie wystarczyć. Z pewnością chciałbyś zapytać, jakie napięcie ustawić na ślizgaczu potencjometru PR1 (można je mierzyć multimetrem podczas dokonywania nastawy) by alarm został uruchomiony po przekroczeniu 25°C?

By odpowiedzieć na tak postawione pytanie, należy wiedzieć co nieco na temat samych termistorów i zasad ich działania.

Termistory

Pamiętasz drugie spotkanie EdW Junior, podczas którego zbudowaliśmy Zmierzchową lampkę LED (zestaw AVTEDU622)? Jeśli nie, sięgnij po EdW 8/2024, gdzie na stronie 80 odnajdziesz schemat, na którym z kolei odnajdziesz podobny jak w **Termo Strażaku** dzielnik napięcia. Jednym z elementów tego dzielnika był fotorezystor oznaczony na schemacie lampki LED jako PH1. Był to szczególny przypadek rezystora, którego rezystancja zależała od intensywności światła padającego na ten element.

eprasa.pl bfa7a1d357

Termistor jest również szczególnym przypadkiem rezystora, tyle, że nieco inaczej, niż miało to miejsce w przypadku fotorezystora, który był elementem wrażliwym na światło, termistor jest elementem wrażliwym na temperaturę. Z tego powodu bywa wykorzystywany m.in. w termometrach, termostatach, różnego rodzaju układach zabezpieczeń termicznych oraz układach kompensacji temperaturowej.

Istnieją dwa rodzaje termistorów: **termistory NTC** (Negative Temperature Coefficient) oraz **termistory PTC** (Positive Temperature Coefficient). Obie te rodziny różnią się sposobem reagowania elementu na temperaturę. W przypadku termistorów NTC opór termistora maleje wraz ze wzrostem temperatury, a w przypadku PTC jest dokładnie na odwrót, czyli opór termistora rośnie wraz ze wzrostem temperatury.

Do zestawu dołączono termistor NTC o wartości 10 kΩ. Ale co to właściwie oznacza, i dlaczego ktoś podaje wartość tego elementu, jeśli jest to element, którego wartość zależy od temperatury otoczenia?

Termistor NTC to element, którego rezystancja maleje wraz ze wzrostem temperatury. Nominalna rezystancja (w naszym wypadku równa 10 kΩ) jest podawana dla temperatury 25°C. Wzrost temperatury powoduje zmniejszanie się rezystancji tego elementu, a spadek temperatury powoduje wzrost jego rezystancji. Lista elementów dostępna w instrukcji dołączonej do zestawu nie podaje kodu producenta dołączonego do zestawu termistora NTC, więc trudno tu sięgnąć do noty katalogowej producenta, by odczytać rzeczywistą jego charakterystykę. Zamiast tego można byłoby zmierzyć rezystancję tego elementu w kilku znanych temperaturach i spróbować narysować wykres. Krzywa, która powstanie będzie charakterystyką zależności rezystancji od temperatury. Ponieważ charakterystyka termistorów nie jest liniowa, słowo „krzywa" nie jest tutaj przypadkiem.

Przykładowe zachowanie naszego termistora NTC w różnych temperaturach:

25°C ⇨ 10 kΩ
50°C ⇨ około 3…4 kΩ
75°C ⇨ około 1 kΩ
100°C ⇨ poniżej 500 Ω

Warto wspomnieć, że rzeczywiste rezystancje w różnych temperaturach będą zależały od stałej materiałowej termistora – tzw. współczynnika B.

Po tej krótkiej opowiastce na temat termistorów możemy już wrócić do pytania zadanego przez dociekliwego Juniora. Pytanie brzmi: jakie napięcie ustawić na ślizgaczu potencjometru PR1, by alarm został uruchomiony po przekroczeniu 25°C?

Teraz już wiesz, że wartość (rezystancja nominalna) termistorów podawana jest właśnie dla temperatury 25°C, zatem, by alarm uruchomił się w temperaturze 25°C, musi on zadziałać, gdy wartość termistora R2 osiągnie wartość 10 kΩ (lub mniejszą).

Teraz wystarczy sprawdzić, jakie napięcie ustali się na dzielniku złożonym z komponentów R1 i R2 (gdzie R2 jest termistorem o wartości 10 kΩ w temperaturze 25°C), a R1 rezystorem o wartości 1 kΩ, a następnie takie samo napięcie ustawić na ślizgaczu PR1. A zatem do dzieła!

Aby obliczyć jakie napięcie względem ujemnego bieguna zasilania ustali się na dzielniku złożonym z dwóch rezystorów, wpiętym pomiędzy dodatni oraz ujemny biegun zasilania, należy posłużyć się… szkolnym, znanym i lubianym wzorem na dzielnik napięcia:

$$U_{dz} = U_{zas} \cdot \frac{R_{GND}}{R_{U_{zas}} + R_{GND}}$$

gdzie:

U_{dz} – napięcie, które ustali się na dzielniku
U_{zas} – napięcie zasilania
$R_{U_{zas}}$ – wartość rezystora podłączonego do „plusowego" bieguna zasilania
R_{GND} – wartość rezystora podłączonego do „minusowego" bieguna zasilania

$$U_{dz} = U_{zas} \cdot \frac{R_{GND}}{R_{U_{zas}} + R_{GND}} =$$

$$9V \cdot \frac{1k\Omega}{10k\Omega + 1k\Omega} =$$

$$9V \cdot \frac{1k\Omega}{11k\Omega} = \frac{9}{11}V \approx 0,81V$$

Oznacza to, że jeśli ślizgacz potencjometru PR1 zostanie wyregulowany na wartość około 0,8 V względem ujemnego bieguna zasilania, wówczas po osiągnięciu przez termistor NTC o wartości znamionowej 10 kΩ, temperatury 25°C, **Termo Strażak** uruchomi sygnalizację optyczno-akustyczną.

Powyżej omówiono zasadę działania oraz procedurę kalibracji układu, pora zatem na montaż!

Montaż układu

Jak widać na **fotografiach 2** i **3** Tymek i Sebastian pracują już nad montażem swoich egzemplarzy **Termo Strażaka**. To, za co chcę ich pochwalić, to to, że zawsze samodzielnie pilnują i dbają, by podczas pracy z montażem i uruchamianiem elektroniki okulary ochronne znajdowały się dokładnie tam, gdzie będą miały szansę spełnić swoją powinność, czyli na nosie. Gdyby pozostały w woreczku, w koszyczku z innymi narzędziami, ich użyteczność byłaby zwyczajnie żadna. Tymczasem chłopaki dbają o swoje bezpieczeństwo, dzięki czemu moja czujność to już w zasadzie tylko formalność. Dzięki chłopaki!

Montaż termistora NTC

Wygląda na to, że najmniejszym komponentem do zamontowania jest tym razem

Fotografia 2. Tymek rozpakował swój zestaw, niezawodnie przywdział okulary na nos i jest gotowy do pracy. Zajęcia Młodych Entuzjastów Elektroniki, Wrocław

Fotografia 3. Sebastian czasu nie marnuje. Kilka pierwszych komponentów zostało już przylutowane. Zajęcia Młodych Entuzjastów Elektroniki, Wrocław

eprasa.pl bia7a1d

element, z którego korzystamy po raz pierwszy w ramach zajęć z cyklu EdW Junior, czyli termistor NTC. Wygląda on jak kropelka czarnego kleju, która rozpłynęła się i zastygła na dwóch metalowych wyprowadzeniach. Jeśli masz pod ręką multimetr, możesz zmierzyć wartość tego elementu w taki sam sposób, jak gdybyś mierzył zwykły rezystor. Gdybyś miał jakikolwiek problem z pomiarem rezystorów za pomocą multimetru, przypomnę, że na stronie https://elportal.pl/do-pobrania jako materiał dodatkowy do numeru EdW 11/2024 dostępna jest do pobrania instrukcja robocza: Pomiar wartości rezystorów za pomocą multimetru. Warto ją pobrać, wydrukować i postępować każdorazowo wedle zamieszczonych tam instrukcji.

Bardzo użyteczne podczas pomiaru termistora i obserwowania wpływu temperatury na wynik pomiaru są „krokodylki", które można założyć na sondy pomiarowe multimetru a następnie umieścić w nich badany element (**fotografia 4**). Jeśli pomiar wykonujesz w temperaturze pokojowej (zbliżonej do 25°C) multimetr ustawiony na funkcję omomierza powinien wskazać wartość bliską znamionowej rezystancji badanego termistora. Oznacza to, że mierząc termistor o wartości 10 kΩ na wyświetlaczu multimetru powinieneś zobaczyć wartość około 10 kΩ (fotografia 4). Spróbuj teraz ogrzać ten element palcami, bądź ostrożnie za pomocą lutownicy (nawet nie trzeba dotykać obudowy tego elementu, wystarczy rozgrzany grot lutownicy do niego zbliżyć na odległość około 3 mm). W efekcie ogrzewania termistora wynik pomiaru jego rezystancji powinien zacząć wyraźnie maleć. Po odsunięciu palców lub grota lutownicy od termistora, jego rezystancja zacznie ponownie rosnąć, i jej wartość ustabilizuje

Fotografia 4. Pomiar chwilowej wartości rezystancji termistora w temperaturze pokojowej. Wartość rezystancji dla termistora 10 kΩ w temperaturze pokojowej (ok. 25°C) powinna być bliska jego znamionowej wartości (tu 10 kΩ). Rozgrzewanie termistora sprawi, że wskazywany wynik mierzonej rezystancji zacznie maleć

Fotografia 5. Termistor jest szczególnym (wrażliwym na temperaturę) przypadkiem rezystora i tak jak w przypadku rezystora, kierunek jego montażu jest obojętny. Element ten nie posiada zdefiniowanej polaryzacji

się, w zależności od temperatury otoczenia na około 10 kΩ (zakładając, że temperatura otoczenia wynosi około 25°C i mierzymy dołączony do zestawu termistor NTC o wartości znamionowej 10 kΩ).

Pora nasz termistor zamontować na płytce PCB. Ponieważ termistor to szczególny przypadek rezystora, podobnie jak rezystor nie ma on zdefiniowanej polaryzacji, a zatem jego kierunek montażu jest obojętny. Dla wygodnego i w miarę bezpiecznego montażu, jego wyprowadzenia można przyciąć na długość około 15 mm od podstawy, a następnie przylutować do płytki. Przylutowany komponent warto przygiąć w kierunku płytki, by zanadto nie odstawał i nie przeszkadzał podczas montażu pozostałych elementów (**fotografia 5**).

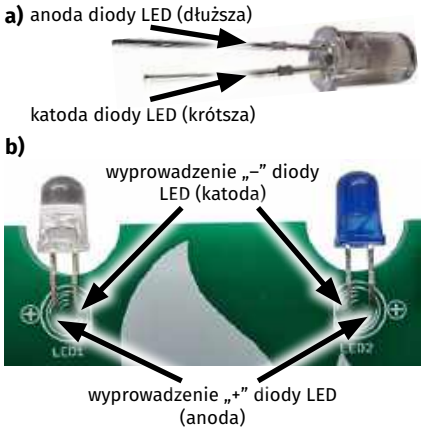
Montaż rezystora R1

Kolejnym niskim komponentem do zamontowania jest jedyny w zestawie rezystor R1. Zgodnie ze schematem i wykazem elementów powinien on mieć wartość 1 kΩ. Przed przylutowaniem do płytki warto jego rezystancję zmierzyć za pomocą multimetru, albo chociaż upewnić się co do kolorów kodu paskowego. Powinny to być paski o kolorach w następującej kolejności: brązowy, czarny, czerwony i złoty (**fotografia 6**). Rezystor jest oczywiście komponentem bez polaryzacji i można go zamontować w dowolnym kierunku.

Montaż migających diod LED

Po przylutowaniu rezystora pora na montaż diod LED. Pamiętaj, że dostarczone w zestawie diody LED to diody migające (diody LED ze zintegrowanym układem przerywającym, realizującym funkcję migania diody LED) i nie można ich zastąpić zwykłymi diodami LED. Diody należy zamontować na płytce PCB w sposób pokazany na **rysunku 2b**. Przed przylutowaniem diod LED do płytki PCB, należy, zadbać o ich właściwą polaryzację, w czym powinny pomóc **rysunki 2a** oraz **2b**. Dłuższa nóżka diody LED powinna trafić do otworu

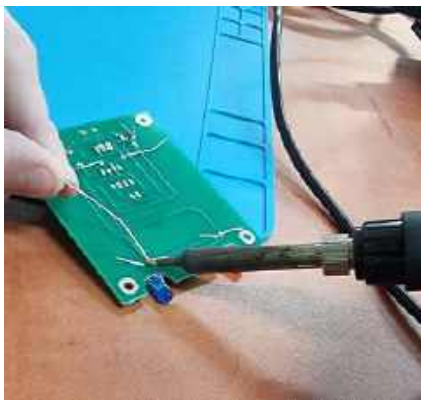
Fotografia 6. Rezystor R1 jest elementem bez polaryzacji i montujemy go na pozycji R1 w dowolnym kierunku. Jego wartość można dla pewności zmierzyć za pomocą multimetru, lub sprawdzić, czy kolejność kolorów kodu paskowego jest zgodna z powyższą fotografią



Rysunek 2a. Opis wyprowadzeń diody LED („plusowe" wyprowadzenie dłuższe, „minusowe" krótsze) oraz b) prawidłowe kierunki montażu na płytce PCB

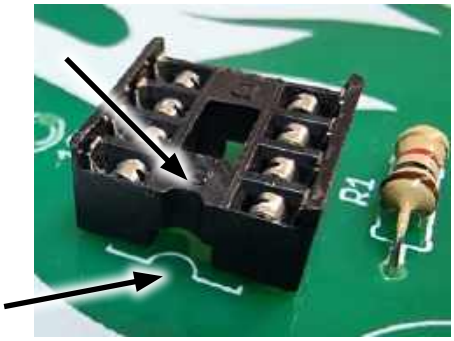
oznaczonego na płytce PCB znakiem „+". Krótsze wyprowadzenia diod powinny trafić do otworów po przeciwnej stronie. Diody należy też wygiąć pod kątem prostym, pozostawiając odpowiednio długie wyprowadzenia i umożliwiając ich montaż zgodnie z rysunkiem 2b.

Po upewnieniu się, czy kierunki montażu diod LED są prawidłowe oraz po odpowiednim wygięciu diod LED można przystąpić do ich lutowania (**fotografia 7**).



Fotografia 7. Po włożeniu migających diod LED do płytki PCB, pamiętając o zapewnieniu właściwej polaryzacji (kierunek montażu diod LED ma znaczenie!) oraz odpowiedniej długości wyprowadzeń i ich wygięciu można przystąpić do lutowania

eprasa.pl bfa7a1d357



Fotografia 8. Znacznik kierunku w obudowie podstawki musi być zamontowany zgodnie ze wskaźnikiem kierunku nadrukowanym na płytce PCB

Fotografia 9. Maciej ostrożnie i w skupieniu lutuje podstawkę pod układ scalony do płytki PCB. Młodzi Entuzjaści Elektroniki, Szkoła Podstawowa nr 86, Wrocław

Montaż podstawki pod układ scalony IC1

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 8**).

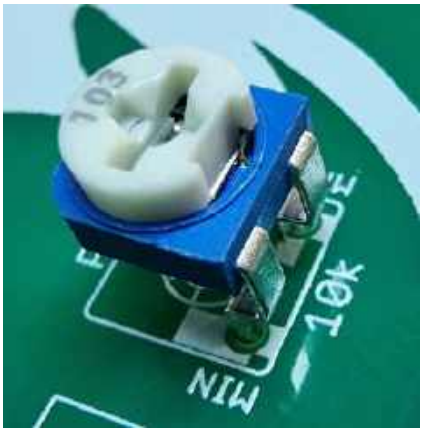
Po umieszczeniu podstawki zgodnie z wytycznymi widocznymi na fotografii 8, należy docisnąć ją palcem do płytki, pilnując, by każde z wyprowadzeń bez żadnego zagięcia przeszło przez swój otwór na płytce PCB, a następnie zagiąć jej dwa przeciwległe wyprowadzenia (np. piny 4 i 8) po stronie lutowania. W ten sposób zabezpieczymy podstawkę, by nie wypadła z płytki podczas lutowania. Następnie opieramy płytkę komponentami na blacie roboczym i ostrożnie lutujemy wszystkie osiem wyprowadzeń podstawki do płytki PCB, w taki sposób, by cyna rozpłynęła się wokół wszystkich pinów i przytwierdziła je do padów na płytce PCB, ale równocześnie w taki sposób, by na płytce nie powstały niechciane połączenia pomiędzy sąsiednimi wyprowadzeniami podstawki.

Jeśli powstaną zwarcia, najprościej jest, trzymając jedną ręką płytkę, postawić ją pod kątem prostym w kierunku blatu, a następnie podgrzać ponownie połączone pola lutownicze, i odpowiednio manewrując grotem rozgrzanej lutownicy i korzystając z ciężaru cyny i sił grawitacji, pozwolić nadmiarowi cyny spłynąć na blat, tym samym uwalniając pady podstawki od zwarć.

Montaż potencjometru PR1

Gdy podstawka została już poprawnie przylutowana można zamontować nieco wyższe komponenty. Pierwszym niech będzie potencjometr PR1. W układzie zastosowano tylko jeden potencjometr, a zatem nie ma obawy o to, że pomylimy wartości. Niemniej warto upewnić się, że do zestawu dołączono potencjometr o właściwej wartości. Na jego obudowie powinieneś odnaleźć opis „103", który oznacza wyrażoną w pojedynczych Ω („omach") wartość „dziesięć i trzy zera", czyli 10 000 Ω, czyli 10 kΩ (bo „k – kilo" znaczy 1000).

Z uwagi na niesymetryczny układ wyprowadzeń tego komponentu w zasadzie nie da się go źle zamontować. Należy osadzić go w trzech otworach na pozycji opisanej jako PR1, a następnie z wyczuciem docisnąć do płytki PCB, tak aby wszystkie trzy wyprowadzenia potencjometru przeszły przez płytkę PCB i wystawały po stronie lutowania na taką samą wysokość. Na koniec pozostaje przylutować do płytki PCB wszystkie trzy wyprowadzenia. Poprawnie zamontowany potencjometr pokazano na **fotografii 10**.



Fotografia 10. Poprawnie zamontowany potencjometr PR1

Montaż buzzera aktywnego PIEZZO

Podczas naszego ostatniego spotkania, gdzie budowałeś układ Wspomagacza wyboru (AVTEDU639) również użyłeś buzzera piezo, tyle, że był to element pasywny, pełniący rolę zwykłego głośniczka. Generowaniem dźwięku zajmował się mikrokontroler. W akapicie „Montaż buzzera piezo" na stronie 86 EdW 2/2025 wspomniałem, że generalnie, w przypadku pasywnych buzzerów piezo polaryzacja (zazwyczaj) nie ma żadnego znaczenia. W przypadku wykorzystanego w układzie **Termo Strażaka** buzzera aktywnego jest zupełnie inaczej.

Fotografia 11a. Nadrukowany białą farbą na płytce PCB znak „+" wskazuje otwór w który należy zamontować „plusowe" wyprowadzenie buzzera aktywnego; b) znak „+" wskazujący lokalizację „plusowego" wyprowadzenia jest również wytłoczony w obudowie buzzera aktywnego, dołączonego do zestawu. Na powyższych fotografiach oznaczenia bieguna „plusowego" wskazane zostały strzałką

eprasa.pl bfa7a1d357

Fotografia 12. Naklejka zabezpieczająca na czas transportu i montażu wnętrze buzzera przed zanieczyszczeniami. Należy ją odkleić, w przeciwnym razie generowany dźwięk będzie mocno zagłuszony

Ten rodzaj buzzera piezo (buzzer aktywny) to piezo zintegrowane z elektroniką generującą dźwięk zamknięte w jednej obudowie. By elektronika zawarta wewnątrz buzzera mogła zadziałać, wymagane jest dostarczenie zasilania o prawidłowej polaryzacji. Wyprowadzenie buzzera zlokalizowane w pobliżu oznaczenia „+" widocznego na **fotografii 11b** musi trafić do otworu na płytce PCB oznaczonego tym samym znakiem (**fotografia 11a**).

W nowo zakupionych buzzerach, zarówno aktywnych, jak i pasywnych, otwory emitujące dźwięk zaklejane są specjalną naklejką, która zabezpiecza wnętrze buzzera przed zanieczyszczeniami, które mogłyby się tam przedostać podczas transportu lub w trakcie montażu (**fotografia 12**).

Naklejkę tę należy odkleić, w przeciwnym razie generowany dźwięk będzie mocno zagłuszony, o ile w ogóle będzie cokolwiek słychać.

Montaż przełącznika ON/OFF

Pora na zamontowanie włącznika zasilania opisanego na schemacie i PCB jako ON/OFF. Przełącznik łączy swój pin środkowy z jednym z dwóch skrajnych, w którego kierunku jest w danym momencie skierowany hebelek przełącznika. Z uwagi na taką konstrukcję, kierunek montażu tego elementu nie ma żadnego znaczenia. Podczas montażu warto przylutować środkowy pin do płytki PCB, a, po upewnieniu się czy komponent dobrze leży na płytce, przylutować dwa pozostałe. Poprawnie zamontowany przełącznik ON/OFF pokazano na **fotografii 13**.

Montaż złącza baterii 9 V

Na koniec pozostaje przylutować do płytki PCB kabelki od dołączonego do zestawu złącza baterii 9 V (tzw. kijanka). Podobnie jak w przypadku pozostałych zestawów serii AVTEDU, kabelki najpierw przeciągamy

Fotografia 13. Poprawnie zamontowany przełącznik oraz sposób podłączenia kabelków od złącza baterii. Czerwony kabelek należy zamontować do otworu oznaczonego znakiem „+". Czarny kabelek należy zamontować do otworu oznaczonego znakiem „–"

Fotografia 14. Kabelki złącza baterii należy przeprowadzić w otwory pomocnicze od strony lutowania a następnie odizolowane końcówki przewodów należy umieścić w otworach zgodnie z fotografią 13 i przylutować

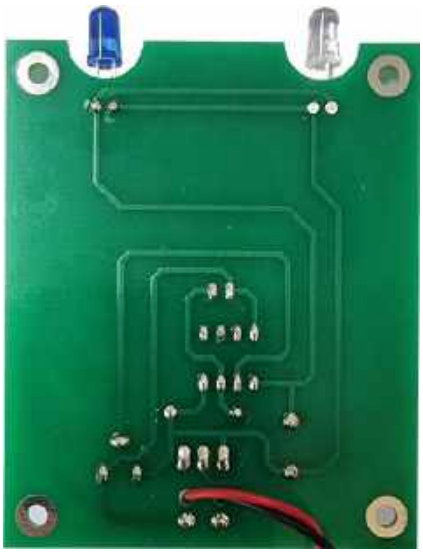
przez otwory pomocnicze, pełniące funkcję stabilizującą przewody w miejscu zamocowania. Dzięki takiemu rozwiązaniu połączenie będzie miało lepszą wytrzymałość mechaniczną i kabelki nie oderwą się tak szybko od płytki. Przewody należy wprowadzić w te otwory od strony lutowania (**fotografia 14**) a pozbawione izolacji, uprzednio skręcone i pocynowane końcówki powinny następnie trafić do odpowiednich otworów. Czerwony kabelek powinien trafić do otworu oznaczonego znakiem „+", natomiast czarny kabelek należy zamontować do otworu oznaczonego znakiem „–" (fotografia 13). Wystające po stronie lutowania wyprowadzenia kabelków należy następnie przylutować do płytki PCB.

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 połączone. Poprawnie zmontowany układ powinien wyglądać jak na **fotografii 15a** i **b**.

Na fotografii 15a, w podstawce widać już zamontowany układ scalony, Ty jeszcze tego nie rób. Celem kształtowania dobrych nawyków inżynierskich, zanim cokolwiek włożysz do podstawki, sprawdź proszę, czy na odpowiednich pinach znajduje się poprawne napięcie zasilania. Na schemacie z rysunku 1 widać, że nasz układ scalony (wzmacniacz operacyjny LM358) powinien być zasilony z baterii 9 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 16**).



Fotografia 15. Poprawnie zmontowany układ Termo Strażaka. Widok płytki a) od strony komponentów, b) od strony lutowania

eprasa.pl bfa7a1d357

Fotografia 16. Poprawne podłączenie kabli na przykładzie multimetru DT-830B ustawionego na funkcję woltomierza napięć stałych

Fotografia 17. Pomiar na zaciskach 8 („plus") i 4 („minus") podstawki pod wzmacniacz operacyjny LM358 wykazał poprawne napięcie baterii (bez znaku „–", który sugerowałby błędną polaryzację). Można odłączyć zasilanie i zamontować układ scalony wzmacniacza w podstawce

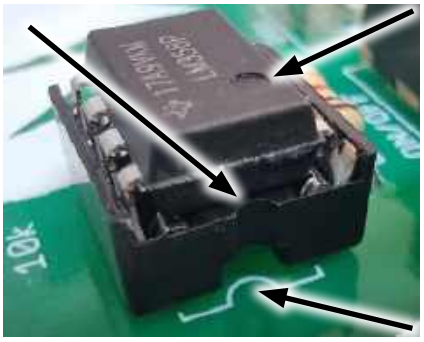
Teraz podłącz baterię, ustaw przełącznik ON/OFF w pozycji ON, a następnie przyłóż sondy pomiarowe, czerwoną do pinu numer 8 podstawki a czarną do pinu numer 4 podstawki. Na wyświetlaczu miernika powinno ukazać się napięcie o wartości około 9 V (**fotografia 17**).

Gdyby na pierwszej pozycji wyświetlacza pojawił się znak „–" oznaczałoby to, że gdzieś podczas montażu popełniliśmy błąd. Na przykład na odwrót podłączyliśmy kabelki od baterii. Gdyby na wyświetlaczu pojawiła się wyłącznie cyfra „1" oznacza to, że przyrząd „nie widzi" pomiędzy mierzonymi pinami żadnego napięcia, więc albo przycisk ON/OFF znajduje się w pozycji OFF, albo bateria nie jest podłączona do układu, lub też gdzieś na skutek słabego montażu (zimne luty, zerwane pady) wystąpiła przerwa w obwodzie i trzeba usterkę odnaleźć i naprawić. Gdyby natomiast na wyświetlaczu multimetru pokazały się trzy zera, oznacza to, że linie zasilania zostały zwarte i trzeba od układu odłączyć szybko baterię (by jej bez potrzeby nie rozładować) a następnie zlokalizować zwarcie na płytce i je usunąć.

Zakładam jednak, że u Ciebie sytuacja wygląda tak jak na fotografii 17, i jeśli tak właśnie jest, możesz ustawić przełącznik ON/OFF w pozycji OFF, i ewentualnie dodatkowo odłączyć baterię oraz zamontować układ scalony w podstawce.

Montaż układu scalonego w podstawce

Osadzenie układu w podstawce jest rzeczą raczej prostą. Należy tylko przypilnować, by kropka lub wycięcie na układzie scalonym, wskazujące kierunek montażu, pokrywało się z pozostałymi znacznikami w podstawce oraz na warstwie opisowej PCB (**fotografia 18**). Gdy lokalizacja znacznika na układzie scalonym zgadza się z pozostałymi, należy już tylko upewnić się, że każda nóżka układu trafiła w swoje gniazdo w podstawce, a następnie z wyczuciem wcisnąć układ w podstawkę, pilnując jednocześnie, by żadne z wyprowadzeń układu się nie zagięło.



Fotografia 18. Przed zamontowaniem układu scalonego w podstawce należy upewnić się, że znacznik kierunku montażu na płytce, w podstawce i na układzie scalonym znajdują się w tej samej pozycji

Po podłączeniu baterii oraz załączenia przełącznika ON/OFF w pozycję ON należy wyregulować potencjometr PR1 (patrz akapit *Regulacja temperaturowego progu załączenia alarmu*) za pomocą płaskiego śrubokręta, w taki sposób, by śruba regulacyjna znalazła się w pozycji, przy której dźwiękowo-akustyczny alarm jeszcze się nie uruchamia, ale jest praktycznie na granicy uruchomienia. Przy tak wyregulowanym układzie ogrzanie termistora palcem, lub lutownicą (patrz opis części teoretycznej na początku artykułu) wywoła po chwili załączenie alarmu, który wyłączy się ponownie, gdy termistor się ostudzi.

Układ jest na tyle prosty, że jego montaż i uruchomienie nie powinny przysporzyć żadnych problemów. Wszystkie układy złożone podczas zajęć stacjonarnych zadziałały poprawnie. Gdyby ktoś chciał złożyć podobny układ z własnych elementów (na przykład na płytce uniwersalnej typu breadboard) należy jedynie pamiętać o tym, że w układzie zastosowano migające diody LED.

To Twoja kolejna, jak mniemam, samodzielnie złożona zabawka elektroniczna (mam tylko nadzieję, że pod okiem dorosłego i z goglami ochronnymi na nosie), a zatem i kolejny Twój sukces. Poznałeś też nowy, bardzo ciekawy element elektroniczny (termistor), który może się przydać do realizacji wszelkiego typu układów elektronicznych reagujących na temperaturę otoczenia.

Na tę chwilę to tyle. W przyszłym miesiącu czeka Cię kolejna przygoda! ■

Mariusz Ciszewski

Fotografia 19. Kornel sprawdza znacznik kierunku montażu na obudowie układu scalonego przed zamontowaniem go w podstawce. Młodzi Entuzjaści Elektroniki, Szkoła Podstawowa nr 86, Wrocław

eprasa.pl bia7a1d35

Galeria Juniorów EdW

W EdW 7/2024 opublikowaliśmy pierwszy odcinek cyklu EdW Junior. Z tej okazji przygotowaliśmy dla naszych najmłodszych Czytelników prezent w postaci płytki PCB, z użyciem której można zbudować serduszko zaprezentowane w pierwszym odcinku cyklu. Serduszka powędrowały w Polskę, a fotorelację z montażu jednego z nich publikujemy poniżej.

Gdy lutownica czeka, a płytka ucieka... Pomocna dłoń taty bywa wskazana

Lutowanie było super, a zmontowane serduszko, nie dość że działa, to jeszcze mieni się wszystkimi kolorami tęczy!

Jednocześnie chcielibyśmy zachęcić Rodziców naszych najmłodszych Czytelników, jak również nieco bardziej sędziwych nastolatków, do nadsyłania fotorelacji z montażu układów budowanych w ramach cyklu EdW Junior w Waszych domowych zaciszach. Chętnie opublikujemy zmagania Waszych pociech z wskrzeszaną do działania elektroniką.

Montaż elektroniki sam w sobie jest wielką frajdą, czego autor cyklu doświadcza każdorazowo podczas pracy z uczestnikami zajęć stacjonarnych. Możliwość zaprezentowania swojej pracy na łamach gazety to nie tylko szansa na miłą pamiątkę. To także szansa na splendor i prestiż pośród kolegów i koleżanek, a także piękny sposób na pielęgnowanie i zachęcanie rówieśników do zainteresowania się naszym konstruktywnym hobby, jakim bez wątpienia jest elektronika.

Jeśli ktokolwiek ma ochotę dołączyć do naszej galerii Juniorów EdW, zapraszamy!

Fotografie prezentujące pracę **Franka** (9 lat) podesłał tata **Przemysław Kamiński**.

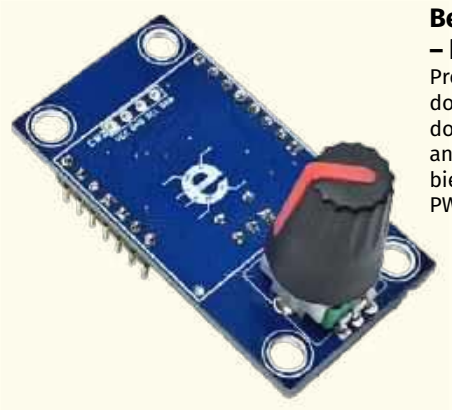
Bez wątpienia pięknie i konstruktywnie spędzony czas taty i syna. Pozdrawiamy! ■

REKLAMA

numery archiwalne • prenumerata • książki
www.UlubionyKiosk.pl

eprasa.pl bfa7a1d357

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.



Bezprzewodowy nadajnik ściemniacza LED 434 MHz – kompatybilny z Arduino

Prezentowany projekt to bezprzewodowy nadajnik 434 MHz do ściemniacza LED, zbudowany wokół mikrokontrolera ATmega328 Arduino. Potencjometr jest podłączony do pinu analogowego ADC A1 układu ATmega328. Mikrokontroler odczytuje wartość analogową potencjometru i przesyła dane przez moduł RF 434 MHz. Dane te są odbierane na końcu odbiornika, który steruje intensywnością LED za pomocą sygnału PWM (modulacja szerokości impulsu).

Analogowy miernik VU z wyświetlaczem OLED – kompatybilny z Arduino

Jest to analogowy miernik VU z wyświetlaczem OLED 0,96". Projekt zbudowany z wykorzystaniem wyświetlacza OLED 0,96", mikrokontrolera Atmega328, gniazda audio EP 3,5 mm do wejścia sygnału audio. Ten kompatybilny z Arduino sprzęt można zaprogramować za pomocą Arduino IDE. Zasilanie 5 V DC.

Niektóre projekty aktualnie dostępne tylko dla prenumeratorów EdW w rubryce DIY PLUS na www.elportal.pl:

1. Sterowanie prędkością, kierunkiem i zatrzymaniem silnika DC z modułem RF NRF24L01
2. Nadajnik zdalnego sterowania z pojedynczym joystickiem wykorzystujący NRF24L01
3. 8-kanałowy zdalny nadajnik RF z protokołami: Holtek i szeregowym
4. 8-kanałowy zdalny odbiornik RF z protokołami: Holtek i szeregowym
5. Pojemnościowy czujnik wilgotności do konwertera wyjścia analogowego
6. Mostek H dla wysokiej mocy szczotkowego silnika prądu stałego z czujnikiem prądu
7. Przetwornica DC-DC buck 12...75 V na 10 V na wyjściu
8. Czujnik prądu low-side 10 µA...10 mA
9. Kontroler ramienia robota z bezprzewodowym pilotem PS3
10. Termiczny czujnik masowego przepływu powietrza – anemometr stałotemperaturowy
11. Precyzyjny wzmacniacz transimpedancyjny z przełączanym integratorem
12. Kontroler pełnego mostka z przesunięciem fazowym i prostowaniem synchronicznym wykorzystujący UCC28950
13. Wysokowydajny monofoniczny wzmacniacz audio klasy D o mocy 20 W
14. Monitorowanie poziomu cieczy za pomocą czujnika ciśnienia – wyświetlacz słupkowy
15. Sterowanie silnikiem DC za pomocą joysticka
16. 16-kanałowy sterownik serwomechanizmów RC z interfejsem I²C
17. Programowalny kondycjoner sygnału z czujnika rezystancyjnego mostkowego
18. Choinka z Arduino i pikselowymi diodami
19. 20-segmentowy wyświetlacz słupkowy w rozmiarze jumbo
20. Stacja pogodowa lilygo ttgo t5-4.7 z wyświetlaczem typu e-papier
21. Półprzewodnikowy przekaźnik mocy DC z prądowym sprzężeniem zwrotnym
22. Wyłącznik nadprądowy – przekaźnik wyłączający nadprądowy
23. TinyML – Rozpoznawanie ruchu przy pomocy RPi Pico
24. Uniwersalny konwerter napięcia AC – wyjście 18 V DC z wejścia 85...265 V AC
25. Moduł procesora echa głosu – urządzenie opóźniające do efektów dźwiękowych, echo, reverb
26. Sterownik silnika krokowego z joystickiem
27. RPi – stacja pogodowa IoT
28. Niskobudżetowy monitor jakości powietrza IoT oparty o RaspberryPi 4
29. Automatyczny system ogrodniczy z NodeMCU i Blynk, ArduFarmBot 2
30. Wzmacniacz piezoelektryczny do gitary i skrzypiec
31. Wysokowydajny i niezawodny sterownik bipolarnego silnika krokowego
32. Sonarowy theremin MIDI
33. Sterownik silnika prądu stałego z wykorzystaniem przekaźnika i mosfetu – interfejs Arduino
34. Super prosty czuły wykrywacz metali
35. Najlepszy sposób na próbkowanie dźwięku za pomocą ESP32

Miesięcznik „**Elektronika dla Wszystkich**”
(12 numerów w roku) jest wydawany we współpracy z kilkoma redakcjami zagranicznymi

Wydawnictwo:
AVTKorporacja Sp. z o.o.
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
tel. 22 257 84 99, e-mail: avt@avt.pl

Wydawca:
Wiesław Marciniak

Redaktor naczelny:
Mariusz Ciszewski
mariusz.ciszewski@elportal.pl

Adres redakcji:
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
e-mail: edw@elportal.pl, www.elportal.pl

Dział reklamy:
Katarzyna Gugała
katarzyna.gugala@elportal.pl, tel. 22 257 84 64

Szef Pracowni Konstrukcyjnej:
Jakub Sobański
jakub.sobanski@elportal.pl

Sekretarz redakcji:
Dariusz Welik
dariusz.welik@elportal.pl

DTP, 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 bfa7a1d357

Elektor Bestsellers

SAVE UP TO 26% NOW!

www.elektor.com/sale/deals

Elektor SUMMER SALE

elektor
design > share > earn

eprasa.pl bfa7a1d357