Edukacja w EdW dla szkół i uczelni:
Wykład 29 – multimetry analogowe

JUNIOR



strona 79

ELEKTRONIKA dla wszystkich

DIY PLUS tylko dla prenumeratorów

nr 5/2025 (352) • maj • www.elportal.pl

PROJEKTY dla elektroników

- Wysokiej klasy aktywne głośniki monitorujące z subwooferem, część 1
- Bezpieczny zdalny wyłącznik główny, część 1
- Programowalne obciążenie DC sterowane przez Wi-Fi, część 2

DIY dla wszystkich

- Moduł sterujący odświeżaczem powietrza i oświetleniem
- Prędkościomierz GPS do samochodów i rowerów
- Bezprzewodowy „radar” ultradźwiękowy z wyświetlaczem TFT

TUTORIALE

- Migające diody LED i śliniący się inżynierowie, część 20
- Audio OUT: Wyciszacz – nowa odsłona starego układu
- Chirurgia obwodowa: Napięcie niezrównoważenia wzmacniacza operacyjnego, część 2
- KickStart, część 7: łatwe początki z I²C



Aktywne głośniki monitorujące z subwooferem

Bezpieczny zdalny wyłącznik główny

ISSN 1425-1698 Indeks 33362X
9 771425 169252 05
18,90 zł (w tym 8% VAT)

Pomocna dłoń

automatykaB2B.pl

EP.com.pl
Największy portal dla elektroników konstruktorów

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

OLED
artronic
OPTOELEKTRONIKA
www.artronic.pl

eprasa.pl 514c4ae44

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



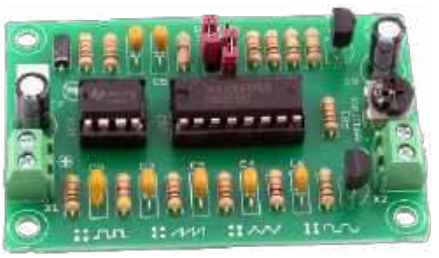
AVT5540 Radio FM z RDS
https://sklep.avt.pl/avt5540.html



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



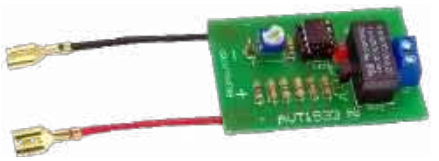
AVT1459 Uniwersalny układ czasowy
https://sklep.avt.pl/avt1459.html



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 514c4ae447

–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

Maj 2025 • 5 (352)



8



22



28



76

Projekty dla elektroników:

Wysokiej klasy aktywne głośniki monitorujące z subwooferem, część 1 8
Bezpieczny zdalny wyłącznik główny, część 1 22
Programowalne obciążenie DC sterowane przez Wi-Fi, część 2 28

Tutoriale:

Audio OUT: Wyciszacz – nowa odsłona starego układu 40
Chirurgia obwodowa: Napięcie niezrównoważenia wzmacniacza operacyjnego, część 2 45
KickStart część 7: łatwe początki z I²C 50
Ekscytacje Maxa: Migające diody LED i śliniący się inżynierowie, część 20 55
Edukacja w EdW dla szkół i uczelni. Wykład 29: Multimetry analogowe 60

DIY dla wszystkich:

Bezprzewodowy „radar” ultradźwiękowy z wyświetlaczem TFT 69
Moduł sterujący odświeżaczem powietrza i oświetleniem 73
Prędkościomierz GPS do samochodów i rowerów 76

Elektronika dla Wszystkich – Junior:

Jedenaste spotkanie z najmłodszymi pasjonatami elektroniki 79

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

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

Lampa sufitowa LED z czujnikiem ruchu PIR – kompatybilna z Arduino 91
Arduino Nano – włączanie/wyłączanie urządzeń za pomocą pilota na podczerwień (dwa kanały) 91

Rubryki stałe:

Prenumerata 3
Od redakcji 5
Poczta 6

eprasa.pl 514c4ae447

A za miesiąc w czerwcowym EdW



- **Laboratoryjny zasilacz 0...30 V/2 A, część 1**
  Solidna podstawa każdego warsztatu elektronicznego – ten zasilacz to idealne połączenie funkcjonalności, prostoty i niezawodności. Regulacja napięcia od zera, ograniczenie prądowe do 2 A, przełącznik obciążenia, termiczne zabezpieczenie i czytelny wskaźnik pracy – wszystko to zamknięte w przemyślanej konstrukcji opartej na sprawdzonym układzie LM317 z dodatkowym tranzystorem mocy. Czyste napięcie, stabilna praca i pełna kontrola nad zasilaniem – czego chcieć więcej?
- **Bezpieczny zdalny wyłącznik zasilania, część 2**
  W drugiej części artykułu dowiesz się, jak zbudować kompletny zestaw do bezpiecznego zdalnego sterowania zasilaniem – od montażu nadajnika i odbiornika, przez synchronizację pilotów, aż po testy działania. Poznasz możliwości systemu rolling-code, sposoby konfiguracji oraz praktyczne aspekty ochrony przed nieautoryzowanym dostępem. Ten projekt nie tylko zwiększy wygodę, ale też zagwarantuje spokój dzięki solidnym zabezpieczeniom i odporności na zakłócenia.
- **Aktywne głośniki z subwooferem. Sprzęt audio klasy Hi-Fi, część 2**
  W drugiej części artykułu skupimy się na montażu profesjonalnego zestawu wzmacniaczy, aktywnego crossovera i zasilacza – wszystko zostanie starannie zamontowane w obudowie typu rack. Gotowy układ to cztery kanały o mocy 50 W oraz dedykowane wyjścia liniowe dla subwoofera, zapewniające pełną kontrolę nad podziałem pasma oraz optymalną ochronę głośników. W artykule znajdziesz szczegółowy przewodnik dotyczący montażu mechaniki i elektryki, a także cenne wskazówki kalibracyjne, które pozwolą Ci uzyskać dźwięk o wyśmienitej jakości.
- **Wartościowe Tutoriale**
- **Projekty DIY**
- **Juniorzy EdW złożą kolejny zestaw z serii AVTEDU**

W kioskach od 28 maja

W maju jak w gaju? U nas także, a jakże!



Maj to ten moment w roku, kiedy wszystko budzi się do życia – nie tylko w przyrodzie, ale i w naszych pracowniach. Trawy się zielenią, kwiaty rozkwitają, a w głowach pasjonatów elektroniki kiełkują nowe pomysły. Wiosna to czas eksperymentów, małych i dużych projektów, które długo czekały w szufladzie „do zrobienia, gdy będzie więcej światła i chęci". A teraz światła jest pod dostatkiem, dni dłuższe, energia rośnie – pora działać!

W majowym numerze naszego czasopisma znajdziesz wszystko, co potrzebne, by ten wiosenny zapał dobrze wykorzystać. Zaczynamy dźwięcznie – od projektu aktywnych głośników z subwooferem. Nie budujemy tu jednak pozłacanego potwora ani audiofilskiej świątyni wymagającej zaciągnięcia stosownego kredytu. Zamiast tego proponujemy rozwiązanie przemyślane, nowoczesne i skuteczne – sprzęt audio wysokiej klasy, który nie idzie na kompromisy, ale też nie przesadza z formą. Składamy system, który realnie poprawi jakość brzmienia w Twoim domu, nie zamieniając jednocześnie salonu w laboratorium NASA. Głośniki zagrają czysto, dynamicznie i przestrzennie, dając Ci mnóstwo radości z każdej wybrzmiałej nuty.

To jednak nie koniec „grających" tematów, ponieważ w numerze znajdziesz też artykuł przedstawiający praktyczne podejście do eliminowania zakłóceń dźwiękowych przy włączaniu i wyłączaniu układów audio. Bazując na ewolucji autorskiego układu autor w przystępny sposób wyjaśnia działanie kolejnych wersji układu, podając konkretne przykłady modernizacji, takie jak zastosowanie układów FET i optymalizację zużycia prądu. Szczególnie cenne są porady dotyczące praktycznej budowy oraz przemyślenia dotyczące niezawodności i ochrony elementów. Tekst stanowi interesującą lekturę zarówno dla hobbystów, jak i zaawansowanych konstruktorów audio.

Ale nie samym dźwiękiem żyje człowiek. Każdy majsterkowicz wie, że równie ważne jak to, co słychać, jest to, co działa… i jak działa. Dlatego w tym numerze znajdziesz również drugą część opisu bezpiecznego zdalnego wyłącznika zasilania. To urządzenie, które może znaleźć miejsce wszędzie tam, gdzie liczy się niezawodność i ochrona – w warsztacie, w domu, w systemach automatyki. Dzięki szyfrowanej transmisji radiowej nie musisz się obawiać nieautoryzowanych komend, a obsługa wysokoprądowych obciążeń pozwala sterować naprawdę poważnymi urządzeniami. Dodatkowy bonus? Możliwość przypisania aż 16 niezależnych pilotów i wbudowany timer, który czyni z wyłącznika niemal małe centrum zarządzania energią.

Kontynuujemy również naszą wyprawę w świat programowalnego obciążenia DC. W drugiej części artykułu skupiamy się na tym, co najważniejsze z punktu widzenia praktyka: składaniu płytek, montażu całości, dopasowaniu obudowy oraz testach końcowych. Kalibracja, sprawdzenie funkcji, wykorzystanie pełnego potencjału układu – wszystko to, co daje najwięcej satysfakcji. To projekt, który nie tylko działa, ale uczy: planowania, precyzji i cierpliwości. A efekt końcowy? Bardzo użyteczne narzędzie, które można wykorzystać do testowania zasilaczy, ładowarek, akumulatorów i wielu innych urządzeń.

Na zakończenie – coś lżejszego, ale nie mniej efektownego. Dwukolorowy kwiatek LED AVT EDU643 to idealna propozycja na wiosenny projekt: prosty, efektowny i edukacyjny i... trochę sentymentalny. Bo kto z nas nie pamięta czasów, kiedy pierwsze kroki w elektronice stawiało się, lutując generator astabilny do migania diodami LED? Dwukolorowy kwiatek LED AVT EDU643 to idealna propozycja na wiosenne popołudnie z młodszym rodzeństwem, dziećmi, wnukami – albo po prostu z samym sobą, jeśli masz ochotę na chwilę czystej, kolorowej radości z tworzenia. To też świetny sposób na wprowadzenie kogoś nowego w świat elektroniki: bez stresu, bez skomplikowanych układów, za to z natychmiastowym efektem. Jeśli chcesz zachęcić młodszych do wspólnego lutowania lub po prostu rozświetlić swój kącik roboczy czymś miłym dla oka – to będzie idealny wybór. W końcu kto powiedział, że elektronika nie może być dekoracyjna?

Maj to nie tylko miesiąc zieleni i kwiatów, ale też okazja do odkurzenia starych projektów, rozpoczęcia nowych i zanurzenia się na nowo w świecie, który potrafi zaskakiwać i dawać prawdziwą frajdę. W tym numerze znajdziesz wszystko, co potrzebne, by rozruszać swój warsztat i umysł – niezależnie od tego, czy jesteś weteranem lutownicy, czy dopiero zaczynasz swoją przygodę.

Życzymy inspirujących chwil i wielu udanych projektów – nie tylko w maju, ale i przez cały sezon!

Mariusz Ciszewski

eprasa.pl 514c4ae447

Poczta

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



Od początku z wami!

Szanowna redakcjo EDW,

To już prawie 30 lat wspaniałej przygody z elektroniką w Waszym wydaniu. Gdy zaczynałem przygodę z elektroniką czerpałem wiedzę z takich czasopism jak „Elektronik Hobby” czy „Praktyczny Elektronik”. To były czasopisma, w których pełno było ciekawych projektów. Ale prawdziwa eksplozja nastąpiła w 1996 roku, gdy na rynku wydawniczym pojawiło się EdW. Oprócz ciekawych projektów była to też kopalnia wiedzy o ogromnej wartości teoretycznej i praktycznej. Na waszych łamach przewinęło się wielu entuzjastów elektroniki prezentujących swoje pomysły w postaci praktycznych projektów, cyklu artykułów o wyszukanej tematyce albo uczestniczących w wieloletniej Szkole Konstruktorów. Obecna inicjatywa skierowana dla juniorów również pokazuje, że Wasze czasopismo nadąża za zmieniającymi się potrzebami czytelników i wciąż zaskakuje pomysłowością w przekazywaniu wiedzy. Sądzę, że zapewni to dalsze lata świetności i zapisze się w historii polskiej edukacji dla kolejnych pokoleń młodych ludzi. Gratuluję konsekwencji i wytrwałości w tym jakże szczytnym przedsięwzięciu jakim jest krzewienie wiedzy wśród młodych, i nie tylko, adeptów elektroniki.

Po przeczytaniu wstępniaka z ostatniego numeru postanowiłem zerknąć do materiałów zgromadzonych gdzieś w kącie, a to co znalazłem prezentuję na załączonej fotografii. Z satysfakcją mogę napisać, że jestem z Wami od samego początku! I z niecierpliwością oczekuję na kolejne numery EdW.

Z wyrazami szacunku

Łukasz Ligęza

Red. Drogi Czytelniku, ogromnie dziękujemy za ten pełen ciepła i entuzjazmu list! To dla nas prawdziwa radość i wzruszenie czytać słowa osoby, która towarzyszy Elektronice dla Wszystkich od samego początku, od pamiętnego roku 1996. Cieszymy się, że przez te wszystkie lata nasze czasopismo było nie tylko źródłem inspiracji i wiedzy, ale także wiernym towarzyszem w Pana elektronicznej przygodzie.

Wspomniane przez Pana tytuły – Elektronik Hobby, Praktyczny Elektronik – to dla wielu z nas również ważne punkty w historycznej mapie naszych pasji, która nie zna granic wieku. Tym bardziej cieszy nas, że EdW znalazła swoje miejsce w tym szeregu i przez tyle lat udaje się nam utrzymać ten wyjątkowy klimat – połączenie konkretu, praktyki i radości z tworzenia.

Z dumą patrzymy na zdjęcie, które Pan załączył – to wspaniała pamiątka i jednocześnie dowód na to, że to, co robimy, ma sens i naprawdę zapada w pamięć naszym Czytelnikom. Pana słowa są dla nas najlepszą motywacją do dalszej pracy – zarówno nad projektami dla tych młodszych, jak i tych „młodych duchem”.

Dziękujemy za gratulacje, za pamięć i za to, że jest Pan z nami. Dołożymy wszelkich starań, by każdy kolejny numer EdW nadal dostarczał wartościowych treści i inspirujących pomysłów. Prosimy śledzić kolejne wydania – mamy jeszcze wiele dobrego w zanadrzu!

Z serdecznymi pozdrowieniami

Redakcja „Elektroniki dla Wszystkich”

EdW – i wszystko jasne

Mam na imię Kuba i mam 14 lat. Od pół roku interesuję się elektroniką, a Wasze czasopismo polecił mi tata, który sam kiedyś lutował różne rzeczy z książek i gazet. Teraz czytamy razem – ja uczę się nowych rzeczy, a on wspomina, że „kiedyś to były czasy”.

Dzięki Waszemu artykułowi o „MigoLEDkach” zrobiłem pierwszy układ, który naprawdę działał! Potem był wzmacniacz do słuchawek, a teraz próbuję zrozumieć, jak działa przetwornica – jeszcze trochę czarna magia, ale powoli się rozjaśnia.

Dziękuję za cykl specjalnie dla początkujących, gdzie wszystko jest wyjaśniane od zera, krok po kroku – nie tylko co lutować, ale też dlaczego tak, a nie inaczej. Super jest to, że do każdego układu są dokładne rysunki i zdjęcia, bo czasem nie wiem, czy dobrze coś rozumiem a zdjęcia zawsze pokazują wszystko.

Dziękuję za super pismo i za to, że nawet ktoś taki jak ja może zacząć od zera i się wciągnąć. Trzymam kciuki za kolejne numery i może kiedyś też coś napiszę – tylko najpierw muszę jeszcze poćwiczyć!

Pozdrawiam serdecznie

Kuba, Tarnowskie Góry

Red. Drogi Kubo, bardzo dziękujemy za Twój list – sprawił nam ogromną radość! Cieszymy się, że nasze artykuły okazały się pomocne i że „MigoLEDki” były Twoim pierwszym działającym projektem. Każdy z nas pamięta ten moment, kiedy coś po raz pierwszy „zadziałało” – błysk diody, dźwięk z głośnika, radość większa niż z niejednej piątki w szkole!

To fantastyczne, że elektroniką zainteresował Cię tata i że wspólnie czytacie nasze pismo. Elektronika to nie tylko rezystory i schematy – to też świetny sposób na spędzanie czasu z bliskimi i rozwijanie pasji, która może zostać z Tobą na całe życie.

Ogromnie nas cieszy, że doceniasz cykl dla początkujących. Właśnie po to go tworzymy – żeby każdy, kto zaczyna, mógł poczuć się pewnie i nie zgubić się w gąszczu tajemniczych symboli. A Twoje słowa tylko utwierdzają nas w przekonaniu, że to dobra droga.

Trzymamy mocno kciuki za Twoje dalsze projekty i naukę. A jeśli kiedyś zdecydujesz się coś napisać – pamiętaj, że nasza redakcja zawsze chętnie zagląda do skrzynki z napisem „Poczta”. Kto wie, może za kilka lat to Ty będziesz autorem artykułów dla początkujących?

Serdecznie Cię pozdrawiamy – i Tobie, i Tacie życzymy wielu wspólnych chwil z lutownicą w dłoni i radości z kolejnych działających układów!

Z elektroniką w sercu

Redakcja

eprasa.pl 514c4ae447

Elektor Bestsellers

SAVE UP TO 26% NOW!

















www.elektor.com/sale/deals

Elektor SUMMER SALE

eprasa.pl 514c4ae447

elektor design > share > earn



Gotowe głośniki z subwooferem i odtwarzaczem CD Philips. Głośniki można zamontować na statywach o wysokości 80 cm, jak pokazano tutaj, ustawiając je na wysokości uszu w pozycji siedzącej (patrz wykaz elementów)

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

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

Wysokiej klasy aktywne głośniki monitorujące z subwooferem, część 1

Opisany w artykule system Hi-Fi przyjmuje podejście „bez kompromisów", ponieważ założeniem jest zbudowanie naprawdę doskonałego systemu dźwiękowego, który będzie odpowiedni do nowoczesnego salonu. Wykorzystujemy wysokiej klasy komponenty, które są łatwo dostępne, unikając jednocześnie wpadania w otchłań zbyt drogich, pozłacanych części. Użyte komponenty nie są tanie, ale ten system nadal będzie w zasięgu wielu osób.

Nasz nowy, wysokiej klasy system Hi-Fi zostanie zaprezentowany w trzech częściach. W pierwszej części szczegółowo omówimy projekt i konstrukcję kompaktowych głośników głównych (lewego i prawego), które zapewniają doskonałą jakość dźwięku bez nadmiernego rzucania się w oczy.

Ponieważ są to głośniki aktywne, wymagają wzmacniacza, który integruje elektroniczną zwrotnicę, i na tym skupimy się w drugim artykule. Elektronika, w tym wszystkie obwody wzmacniające, kondycjonujące sygnał i zasilające, zostały umieszczone w atrakcyjnej obudowie typu rack (2RU) w kolorze czarnym.

W trzeciej części artykułu zostanie przedstawiony wysokiej jakości aktywny subwoofer, który uzupełni system. Idealnie nadaje się on do połączenia z prezentowanymi tutaj głośnikami, zapewniając pełnozakresowy system dźwiękowy. Jednak nic nie stoi na przeszkodzie, by subwoofer ten użyć w połączeniu z innymi głośnikami. Stanowi on świetny dodatek do prawie każdego zestawu grającego.

Chociaż kolumny te można zbudować bez subwoofera, myślę, że prawie każdy, kto zada sobie trud ich zbudowania, będzie chciał rozszerzyć basy aż do 20 Hz.

Zasadniczo wszystkie trzy części są przeznaczone do połączenia w jeden doskonały system dźwiękowy. Mimo to, przyjąłem podejście modułowe, pozwalając Ci wybrać, które elementy zestawu chcesz zbudować.

Byłem trochę nieelegancki we wstępie, kiedy powiedziałem, że nie ma kompromisów. Zawsze są kompromisy – w tym przypadku jednym z nich jest to, że system jest trochę drogi.

Podczas gdy większość naszych ostatnich systemów głośnikowych miała na celu być

eprasa.pl 514c4ae447

Cechy i specyfikacja:

- Niewielkie głośniki monitorujące z podwójnym wzmocnieniem oraz subwoofer.
- Pasmo przenoszenia: 25 Hz...20 kHz, ±3 dB (20 Hz...20 kHz, +3, –12 dB – **rysunek 8** i następny artykuł na temat aktywnego subwoofera).
- Zniekształcenia: <1%, 20 Hz...10 kHz (typowo <0,3% dla normalnych poziomów – **rysunek 9**).
- Łączna moc ponad 400 W (2×50 W głośniki wysokotonowe + 2×50 W głośniki niskotonowe + 1×200 W subwoofer).
- Aktywna zwrotnica przy 2,7 kHz (głośnik niskotonowy/wysokotonowy) i 90 Hz (subwoofer/głośnik niskotonowy).
- Wysokiej klasy głośniki Satori zastosowane w całym zestawie.
- Dobre wyrównanie czasowe między głośnikami niskotonowymi i wysokotonowymi.
- Doskonała odpowiedź poza osią.

systemami „dobrej jakości" o doskonałej jakości dźwięku, ten był bardziej po stronie najwyższej wierności. Wynik finansowy był nieco na drugim miejscu.

Nie mówimy jednak o czymś szalenie drogim. Cztery głośniki do naszych aktywnych głośników monitorujących kosztują łącznie nieco poniżej 1000 USD, podczas gdy głośnik subwoofera to kolejne 339 USD. Dodając do tego wszystkie inne elementy, można zbudować zestaw za nieco ponad 1500 dolarów.

Biorąc pod uwagę elektronikę, trzeba liczyć się z wydatkiem nieco ponad 2000 USD, co nie jest wygórowaną kwotą za wysokiej klasy głośniki i wzmacniacz.

Kolejnym kompromisem, na który często decydujemy się w naszych systemach głośnikowych, jest wybór większych obudów. Umożliwia to uzyskanie doskonałej jakości dźwięku w rozsądnej cenie. Niemniej jednak w przypadku tego systemu założyłem, że wiele osób może nie chcieć mieć ogromnych głośników w swoich wnętrzach.

Starałem się więc zachować nowoczesną zasadę utrzymywania głośników tak małych, jak to możliwe, bez rujnowania jakości dźwięku. Jest to jeden z powodów, dla których są one nieco droższe. Ma to jednak tę istotną zaletę, że jest znacznie mniej prawdopodobne, że zostaną zakwestionowane przez decyzyjne osoby, które mogłyby powiedzieć „nie"!

Lista głośników

Do tego systemu wybrałem głośniki z serii SB Acoustics Satori, ich linii produktów premium. Nasze aktywne głośniki monitorujące wykorzystują:

Głośnik nisko-średniotonowy Satori MW16P-8: 165-milimetrowy (6,5-calowy) głośnik wykorzystujący włókna papirusowe w membranie z gumową otoczką i miedzianą tuleją na nabiegunniku. Tuleja ta pomaga zredukować zmiany indukcyjności w zależności od położenia membrany oraz zmniejsza modulację strumienia i zniekształcenia. W tym projekcie działa on do 90 Hz w aktywnej implementacji i ok. 40 Hz bez subwoofera.

Głośnik wysokotonowy Satori TW29R-B: 29-milimetrowy radiator pierścieniowy o paśmie przenoszenia ±2 dB w zakresie 1 kHz...20 kHz. Ma niską częstotliwość rezonansową 600 Hz i bardzo sprawnie zachowującą się impedancję. Zniekształcenia w interesującym nas zakresie częstotliwości są bardzo niskie.

Czy to brzmi dobrze? Chwileczkę, w tym równaniu brakuje całej oktawy, ale jest ona obsługiwana przez aktywny subwoofer SB34SWNRX-S75-6. Jest to 12-calowy głośnik, choć w rzeczywistości jego średnica wynosi 346 mm. Wyposażony jest w 3-calową (75 mm) cewkę drgającą – jeden z rzeczywistych wskaźników zdolności głośnika do ciągłego przenoszenia dużej mocy.

Jego częstotliwość rezonansowa wynosi 19 Hz, a liniowy skok membrany 22 mm. W 80-litrowej obudowie dostrojonej do 25 Hz, głośnik ten zapewnia solidny bas do 25 Hz (–3 dB) i działa w swoim liniowym obszarze aż do 20 Hz przy mocy do 200 W.

Wszystkie elementy tworzą system stereo najwyższej jakości. Odzwierciedlają to zarówno moje pomiary, jak i testy odsłuchowe.

Konfiguracja elektroniczna tego systemu została przedstawiona na **rysunku 1**. Po zbudowaniu wystarczy podłączyć go do przedwzmacniacza i gotowe.

Zwróćmy teraz uwagę na aktywne głośniki monitorujące, które są przedmiotem tego artykułu. Stanowią one idealny duet z aktywnym wzmacniaczem zwrotnicy, który zostanie zaprezentowany w następnym odcinku. Używając głośników aktywnych, rezygnujemy z kosztów i złożoności elementów pasywnych zwrotnicy. Korzystamy również ze wzmacniacza bezpośrednio sterującego każdy głośnik i kontroli, jaką zapewnia.

W przypadku korzystania z aktywnych głośników monitorujących bez subwoofera, można uzyskać odcięcie niskich częstotliwości na poziomie około 45 Hz, ale należy pamiętać, że w tym celu trzeba będzie wyregulować aktywną zwrotnicę. 45 Hz jest wartością dobrą, ale dodając aktywny subwoofer, doświadczysz całego słyszalnego spektrum od około 20 Hz do 20 kHz. Niewiele głośników jest w stanie sprostać takiemu zadaniu, przy jednoczesnym zachowaniu niskich zniekształceń.

Głośniki są bardzo wysokiej jakości i, jak widać, ich możliwości są znakomite. Cena nie jest mała. Jakość tych komponentów przekłada się na to, że koszt budowy tego systemu jest stosunkowo wysoki.

Zastosowane głośniki mają doskonałą charakterystykę częstotliwościową i są dobrze oceniane pod względem subiektywnych osiągów. Uwagi o projekcie są zebrane w sekcji „Subiektywna a obiektywna wydajność".

Pracując nad systemem głośnikowym, którego budowa kosztuje tysiące dolarów,



Fotografia 1 i 2. Głośnik wysokotonowy SB Acoustics (po lewej) i średnio-niskotonowy głośnik niskotonowy (po prawej) zastosowane w aktywnych głośnikach monitorujących. Są to wysokiej jakości modele o szerokim zakresie częstotliwości, co daje nam wiele możliwości wyboru pasma podziału częstotliwości zwrotnicy i nachylenia.
Należy pamiętać, że zdjęcia nie zachowują skali

eprasa.pl 514c4ae447

czuję, że jestem zobowiązany do zastosowania zarówno naukowego, jak i analitycznego podejścia. Ale muszę również użyć nieco subiektywnej i emocjonalnej oceny, aby dostroić ostateczny wynik. Oba podejścia mają swoje miejsce w tym ćwiczeniu.

Na **fotografiach 1** i **2** pokazano dwa głośniki zastosowane w aktywnych głośnikach monitorujących, a na **rysunkach 2** i **3** zamieszczono wykresy ich indywidualnych odpowiedzi częstotliwościowych w zamkniętej obudowie w odległości 1 metra.

Liczby te pokazują, że pod względem prostej charakterystyki częstotliwościowej istnieje bardzo szeroki obszar zwrotnicy, w którym zarówno głośnik niskotonowy, jak i wysokotonowy mają płaską odpowiedź i nie wykazują niepożądanych zachowań, takich jak zrywanie, niemożliwe do opanowania rezonanse, trzaski i tym podobne. Z tego punktu widzenia głośniki te dobrze do siebie pasują.

Pomiar pod kątem 30° osi dostarczony przez producenta pokazuje, że dla częstotliwości podziału zwrotnicy równej 2…3 kHz oba głośniki pozostają dobrze dopasowane i zapewniają dobrą charakterystykę kierunkową poza osią.

Uwaga: dobra reakcja poza osią jest istotną cechą głośnika Hi-Fi, chyba że słuchasz tylko z jednego punktu w pomieszczeniu!

Głośnik „woofer" faktycznie radzi sobie bardzo dobrze do 10 kHz, patrząc tylko na amplitudę, ale wykazuje oznaki zerwania w obszarze 4,5 kHz...5 kHz.

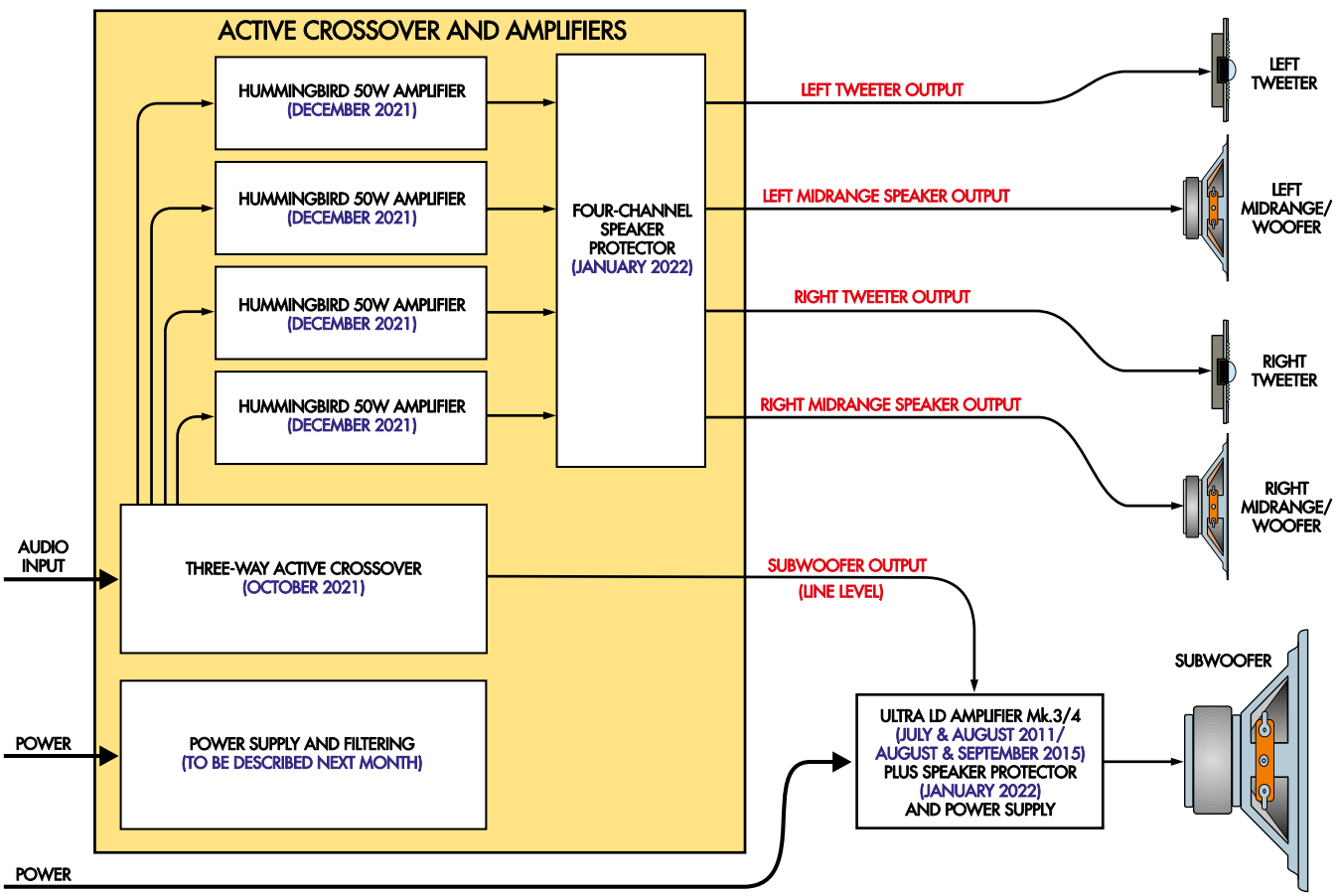
Charakterystyka głośnika wysokotonowego rozciąga się znacznie powyżej 20 kHz. Rezonanse membrany nie pojawiają się aż do częstotliwości powyżej 20 kHz i są dobrze kontrolowane. Przejście z głośnika niskotonowego na głośnik wysokotonowy w obszarze 2…3 kHz:

1. zapewni w miarę ciągły zasięg poziomy od głośnika
2. umożliwi uzyskanie bardzo płaskiej charakterystyki częstotliwościowej
3. nie wzbudzi trybów zrywania w głośniku niskotonowym
4. wymusi ustawienie głośnika wysokotonowego kilka oktaw powyżej rezonansu (600 Hz).

Głośnik niskotonowy MW16P-8

Głośniki te mają stożkowe membrany papierowe oraz magnesy neodymowe, a ich jakość wykonania jest znakomita. Widać to wyraźnie na przykładzie dwóch głośników pokazanych na **rysunku 4**. Modelowanie wskazuje, że obudowa o objętości 21 litrów, strojona w zakresie od 29 Hz do 35 Hz, odpowiada zestrojeniom typu Butterwortha–Czebyszewa. Charakterystyka Butterwortha zapewnia pasmo przepustowe bez tętnień, natomiast Czebyszewa dopuszcza niewielkie tętnienia w zamian za szybszy spadek charakterystyki poza pasmem.

Zmniejszenie objętości obudowy do 18 litrów i jej solidne wytłumienie pozwala utrzymać gabaryty konstrukcji pod kontrolą – kosztem przesunięcia punktu –3 dB o kilka herców w górę, do 44 Hz. Biorąc pod uwagę, że projektujemy system z subwooferem, nie ma to większego znaczenia. Taka niewielka redukcja objętości pozwala jednocześnie utrzymać głębokość obudowy w rozsądnych granicach.



Rysunek 1. Schemat blokowy przedstawia konfigurację systemu głośników. W pojedynczej obudowie typu rack znajduje się zasilacz, cztery wzmacniacze dla aktywnych głośników monitorujących, osłona głośników i aktywna zwrotnica. Wyjście liniowe subwoofera steruje aktywnym subwooferem, który ma wewnętrzny zasilacz i wzmacniacz

eprasa.pl 514c4ae447

Wyrównanie promieniowania wiązki akustycznej

Wzajemne rozmieszczenie głośników wysokotonowego i niskotonowego ma kluczowe znaczenie dla działania całego zestawu, zwłaszcza w zakresie częstotliwości pracy zwrotnicy. Oprócz oczywistej funkcji filtrowania sygnałów dla poszczególnych głośników, zwrotnica musi robić to tak, aby uzyskać możliwie najpłynniejszą charakterystykę częstotliwościową w swoim zakresie działania.

Istnieje istotna zależność między rozmieszczeniem głośników a działaniem zwrotnicy, co zilustrowano na **rysunku 5**. Niewspółosiowość akustycznych środków głośnika wysokotonowego i niskotonowego powoduje przekrzywienie wiązki promieniowania w dół (o około 5° w naszym przypadku) oraz minimum (tzw. „null") przy częstotliwości podziału, występujące około 5° powyżej poziomu.

Efekty te występują dla częstotliwości sygnału w obszarze pracy zwrotnicy i powodują spadek charakterystyki częstotliwościowej głośnika. Jeśli nie jesteś tego świadomy, projektowanie zwrotnicy może szybko stać się źródłem wielu nieporozumień!

Istnieje kilka sposobów na rozwiązanie tego problemu. Najbardziej bezpośrednim jest zwiększenie mocy wyjściowej w tym obszarze pracy zwrotnicy poprzez zabawę jej częstotliwościami i przesunięcie fazy w zwrotnicy poprzez obniżenie częstotliwości pasma podziału zwrotnicy dla głośnika wysokotonowego.

Takie podejście może się sprawdzić, ale skutkuje większym promieniowaniem energii do pomieszczenia pod kątem – poza główną osią.

Uwaga redakcyjna: raz jeszcze podkreślam, że minimalne zmiany jakości dźwięku i charakterystyki częstotliwościowej poza osią są bardzo pożądane.

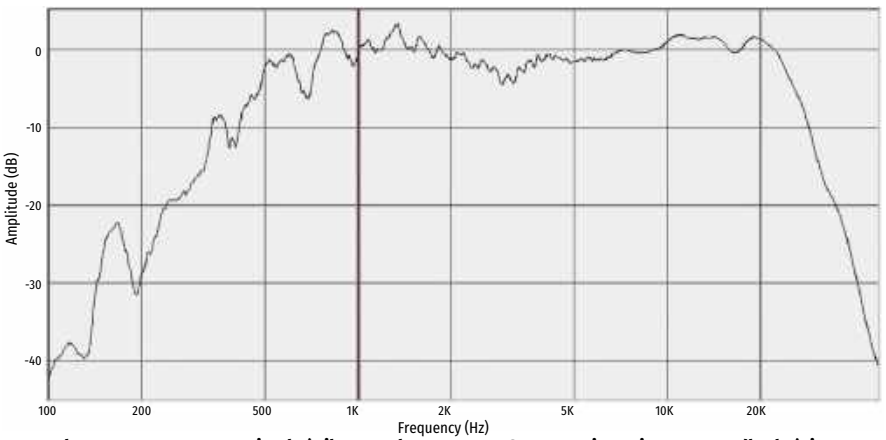
Innym podejściem jest przesunięcie głośników. Jest na to kilka sposobów; słynnym przykładem są głośniki Duntech z lat dziewięćdziesiątych, w których zastosowano stopniowane przegrody i obróbkę akustyczną w celu zmniejszenia dyfrakcji na krawędzi.

Moje rozwiązanie jest mieszanką tych dwóch podejść. Jeśli brzmi to tak, jakbym się zabezpieczał, to w pewnym sensie tak jest. Zdecydowałem się na delikatnie nachyloną przegrodę, która nieco odsuwa głośnik wysokotonowy od głośnika niskotonowego (**rysunek 6**). Głośnik wysokotonowy został też delikatnie zagłębiony, co korzystnie wpływa na redukcję dyfrakcji w miejscu styku jego frontu z obudową.

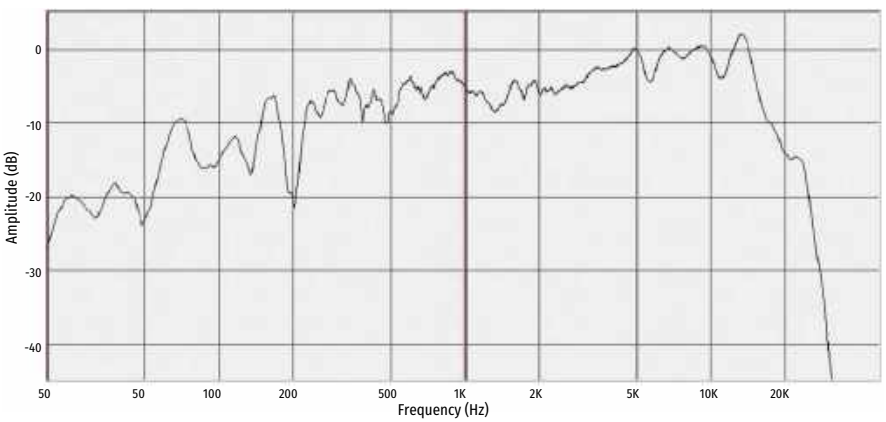
Głośnik niskotonowy nie został zagłębiony – zamiast tego, zastosowałem wokół niego filc, aby zmniejszyć zarówno wizualny, jak i akustyczny wpływ takiego rozwiązania.

W przeciwnym razie konieczne byłoby odchylenie panelu przedniego o 8°, aby uzyskać idealne przesunięcie między głośnikiem wysokotonowym a niskotonowym.

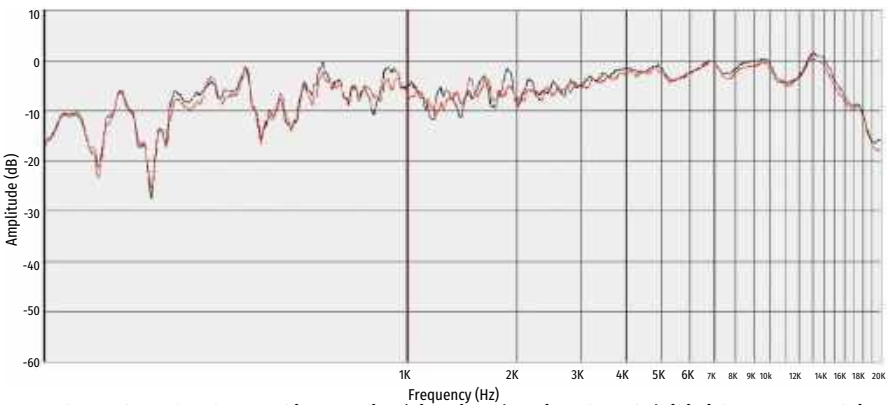
Moje testy pokazują, że rezultat jest całkiem dobry. Dzięki zagłębieniu głośnika wysokotonowego udało się uzyskać łagodne nachylenie płyty przedniej o 5° przy jednoczesnym zachowaniu wyrównania czasowego głośników. Moim zdaniem pochylony front stanowi miłą odmianę od klasycznej, prostokątnej formy głośnika. Mimo to, efekt jest na tyle subtelny, że na wielu zdjęciach trudno zauważyć nachylenie płyty przedniej.



Rysunek 2. Pasmo przenoszenia głośnika wysokotonowego SB Acoustics, mierzone w odległości 1 m. Spadek charakterystyki w górnej części pasma przenoszenia wynika z filtrowania w obwodzie wejściowym przetwornika ADC użytego do wykonania tych pomiarów



Rysunek 3. Pasmo przenoszenia głośnika średnio-niskotonowego SB Acoustics w zamkniętej obudowie, mierzone w odległości 1 m. Góra pasma powyżej około 5 kHz wygląda dobrze, ale w tym obszarze występuje załamanie. Spadek poniżej około 200 Hz jest spowodowany przez obudowę, natomiast wahania w zakresie niskich tonów wynikają z charakterystyki pomieszczenia. Nie podjęto żadnych starań, aby wykres był ładny lub gładki. Odpowiedź w zakresie 200 Hz...3 kHz jest doskonała



Rysunek 4. Wykres charakterystyki częstotliwościowej porównujący dwa głośniki niskotonowe. Podejrzewam, że część różnicy wynika z tego, że stoję zbyt blisko systemu pomiarowego! Bardzo przyjemnie jest również zauważyć, że pasmo przenoszenia jest niezwykle gładkie i płaskie. Zafalowania widoczne poniżej około 1 kHz są całkowicie związane z charakterystyki pomieszczenia

eprasa.pl 514c4ae447

Zwrotnica

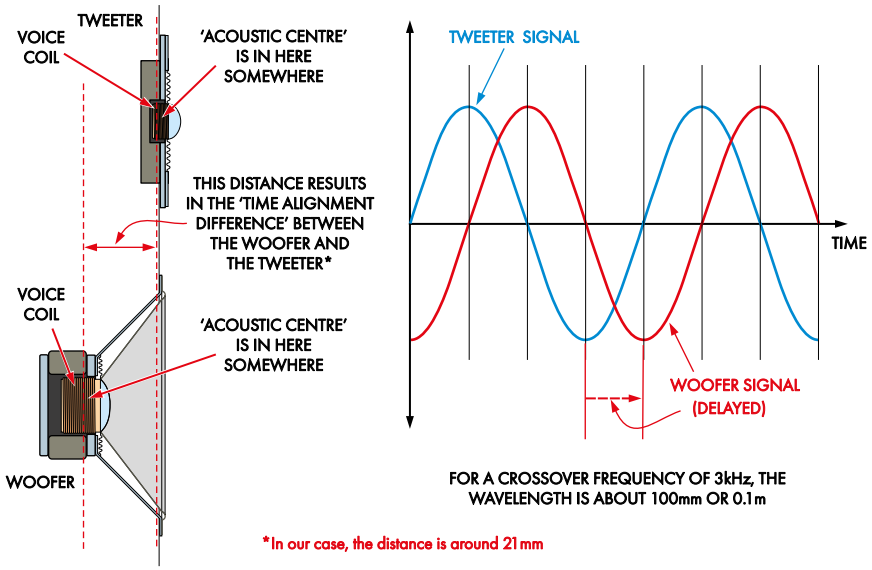
Częstotliwość podziału zaimplementowanej wewnątrz wzmacniacza zwrotnicy aktywnej ustawiłem na 2,7 kHz. Wzmacniacz uwzględnia również korekcję kroku przegrody, kompensującą przejście promieniowania akustycznego głośnika od wszechkierunkowego w zakresie niskich częstotliwości do kierunkowego przy wysokich.

Częstotliwość, przy której zachodzi przejście, zależy od samego głośnika i jego umiejscowienia na przednim panelu. Choć krok może wynieść nawet 6 dB, u nas dobrze działa łagodne podbicie o 3 dB poniżej 250 Hz.

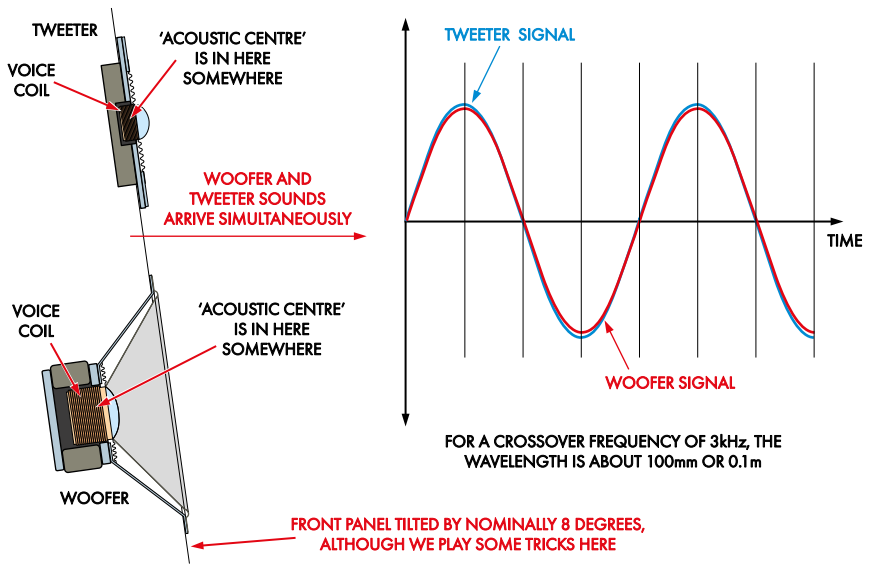
Ponieważ każdy z głośników ma oddzielne wyprowadzenie ze swojego wzmacniacza, są one sterowane niezależnie. Jednakże jako ostatnią linię obrony przed ewentualnymi uszkodzeniami lub błędnym podłączeniem przewodów, dołączyłem duży kondensator separujący 100 µF (Jaycar, kat. RY6920) szeregowo z głośnikami wysokotonowymi.

Kondensator ten nie wpływa na normalną pracę układu, ale może uratować sprzęt, jeśli do głośników wysokotonowych przedostaną się sygnały niskoczęstotliwościowe lub składowa stała.

W przypadku jego wymiany należy zadbać o to, by został zastosowany kondensator na odpowiednio wysokie napięcie pracy i mógł przewodzić duży prąd. Wiele małych kondensatorów elektrolitycznych bez polaryzacji (tzw. bipolarnych) o napięciu znamionowym 50 V nie ma wystarczającego prądu tętnienia, by bezpiecznie pracować w takim zastosowaniu.



Rysunek 5. Głośniki mają różne głębokości, więc ich „centra akustyczne" nie są wyrównane po zamontowaniu na płaskiej płycie. Wokół pasma podziału częstotliwości zwrotnicy oba głośniki wytwarzają sygnały, a przesunięcie fazowe wynikające z jego niewspółosiowości powoduje niepożądane wzmocnienie i wygaszanie w różnych miejscach w pomieszczeniu



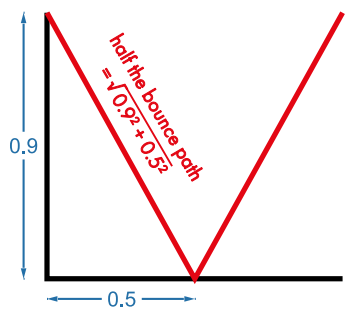
Rysunek 6. Przechylając panel przedni i stosując kilka innych sztuczek, doprowadzamy „centra akustyczne" do wyrównania poziomego, dzięki czemu sygnały wokół częstotliwości podziału pasma zwrotnicy pokrywają się, a my unikamy konstruktywnych i destrukcyjnych zakłóceń

Osiągi

Pomiar ogólnej charakterystyki częstotliwościowej systemu był ćwiczeniem mającym na celu zminimalizowanie odbić w pomieszczeniu. Końcowy wykres (**rysunek 7**) jest złożeniem dwóch pomiarów, jeden z głośnikiem na statywie i mierzony w odległości 1 m, drugi wykres z głośnikiem skierowanym do góry. Oba wykresy zostały wygładzone w zakresie jednej trzeciej oktawy, aby ograniczyć typowe „zaszumienie", jakie często pojawia się na takich charakterystykach.

Można odnieść wrażenie, że wykres jest nieco nierówny, ale systemy głośnikowe są generalnie trudne do scharakteryzowania w ten sposób. Jeśli chodzi o głośniki, to w rzeczywistości ich charakterystyki są wyjątkowo płaskie podczas pomiarów w pomieszczeniach, średnio od około 25 Hz do 20 kHz.

Na **rysunku 8** zamieszczono zmierzony wykres częstotliwości wykonany na zewnątrz – na trawie w pobliżu szopy. Dla statywu o wysokości 80 cm i w odległości 1 metra od mikrofonu (z membraną głośnika na wysokości około 0,9 m), „ścieżka odbicia" wynosi 2,06 m ($2\cdot\sqrt{(0{,}9\ m^2 + 0{,}5\ m^2)}$). Bezpośrednia ścieżka wynosi 1,0 m, a różnica to 1,05 m. Ponieważ jest to pomiar w otwartej przestrzeni, punkt –3 dB jest wyświetlany przy 35 Hz, a nie 25 Hz, jak podano powyżej.



Dla dźwięku poruszającego się z prędkością około 343 m/s, częstotliwość odpowiadająca połowie długości fali wynosi 163 Hz, co jest zbliżone do spadku przebiegu na tym rysunku. Potwierdza to, że jest to zjawisko związane z konfiguracją testową, a nie z głośnikami.

Montaż aktywnych głośników monitorujących

Wybór materiału na obudowę zależy od pożądanego wykończenia, umiejętności obróbki drewna i środków. Zalecam użycie płyty MDF,

eprasa.pl 514c4ae447

sklejki lub płyty wiórowej. Wszystkie te materiały sprawdzą się w przypadku aktywnych głośników monitorujących.

Osobiście wolę płyty MDF niż sklejkę. Płyta MDF jest gęstsza i ma opinię „bardziej martwego" materiału niż płyta wiórowa. Należy jednak pamiętać, że jest ona również cięższa i wytwarza wyjątkowo dużo pyłu podczas cięcia i frezowania. Podczas pracy z MDF-em należy nosić maskę. Wdychanie tego pyłu może być szkodliwe dla zdrowia.

Moje umiejętności obróbki drewna są skromne, a budując prototypy, celowo trzymałem się narzędzi, które miałaby większość ludzi. Zalecane przeze mnie narzędzia to:

1. **Piła tarczowa z kątem cięcia regulowanym do 5°**. Użyłem akumulatorowej piły tarczowej, która sprawdziła się świetnie. Moja stara, zasilana sieciowo pilarka również poradziłaby sobie z tym zadaniem. Młodsza lub wykwalifikowana osoba mogłaby wykonać te cięcia piłą ręczną, ale nie byłyby one tak czyste i dokładne.
2. **Wyrzynarka**. Używana do kilku cięć, szczególnie w usztywnieniach. Zamiast tego można użyć małej piły ręcznej, ale byłoby to ciężkie zadanie.
3. **Akumulatorowa wiertarko-wkrętarka**. Potrzebne będą również różne wiertła i końcówka Philips nr 2 do wkrętów.
4. **Frezarka i bity oraz przyrząd do wycinania okręgów**. Potrzebny będzie okrągły bit 10 mm (lub podobny rozmiar), okrągły bit 6 mm (lub podobny rozmiar) i prosty bit 16 mm.
5. **Zaciski**. Będziesz potrzebował co najmniej dwóch. Znacznie więcej, jeśli zdecydujesz się tylko przykleić obudowy (a nie montować je na klej i śruby).
6. **Tarcza szlifierska z papierem o ziarnistości 120**. Zostanie wykorzystana do wygładzenia krawędzi przed frezowaniem. Można to zrobić ręcznie, jeśli montaż jest czysty.
7. **Papier ścierny o ziarnistości 120…400 i blok**. Kup dużo papieru ściernego o ziarnistości 120, 240 i 400 (można go kupić w rolkach o długości 5 m). Często zmieniaj papier, co zmniejszy nakład pracy.
8. **Uszczelniacz (szpachla)**. Do wygładzania szczelin.
9. **Wałek 100 mm**. Do nakładania podkładu akrylowego.

Wskazówki dotyczące montażu

Jeśli to możliwe, użyj odkurzacza. Jeśli tego nie zrobisz, nie mów, że Cię nie ostrzegałem! Ważne jest również, aby

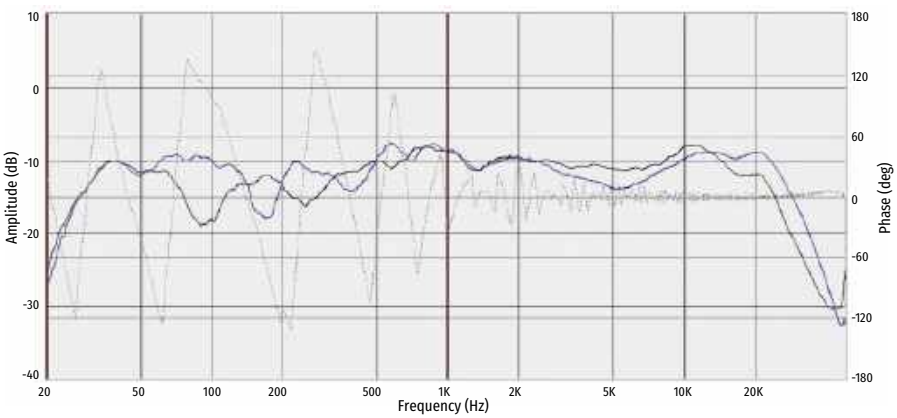
Osiągi subiektywne vs obiektywne

Inżynier we mnie zawsze myśli: „jeśli nie możesz tego zmierzyć, to nie możesz tego usłyszeć". Ostatecznie jest to prawda. Ale pytanie brzmi: co dokładnie musimy zmierzyć, aby określić, co sprawia, że jeden głośnik brzmi lepiej niż inny?

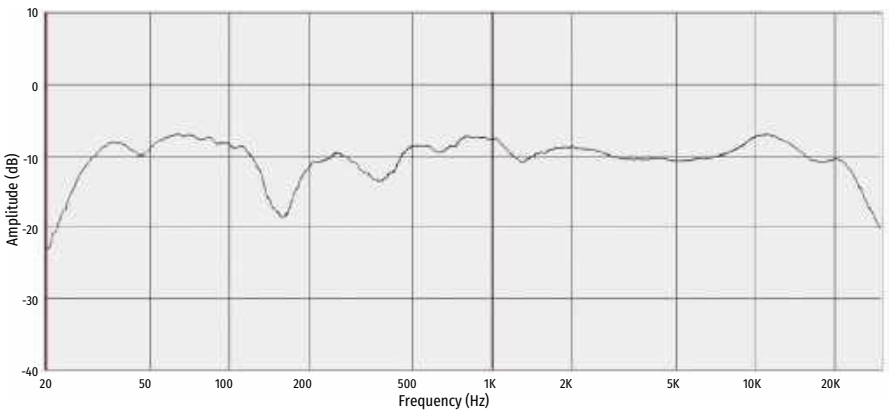
Przeprowadziłem testy, aby sprawdzić, co mogę usłyszeć w porównaniu z tym, co mogę zmierzyć. Byłem zaskoczony wynikami, dochodząc do wniosku, że na „charakter" głośnika składa się nie tylko pasmo przenoszenia, ale także mniej jawne parametry, takie jak energia zmagazynowana w głośniku, jego tryby rozpadu i profil zniekształceń.

Wnioski, jakie płyną z mojego doświadczenia dla aktywnych głośników monitorujących są następujące:

- Powinniśmy pracować w liniowych zakresach charakterystyk układów sterujących głośnikami.
- Zwróciłem uwagę na opinie zaufanych recenzentów na temat głośników.
- Rozważyłem zmagazynowaną energię (wykresy wodospadowe) głośników.
- Starałem się dopasować wiązki głośników za pomocą zwrotnicy.
- Tam, gdzie jest to możliwe, preferuję wyższe współczynniki krosowania.
- Trzymałem się głośników z kilkoma trybami rezonansowymi i zdecydowanie unikałem ich wzbudzania.
- Po zaprojektowaniu systemu przy użyciu odpowiednich zasad inżynieryjnych, nadal musiałem słuchać efektu, a następnie dostroić go lub poprawić, aż będę zadowolony z dźwięku.
- Nie powinienem bać się dostrajać głośnika, ale powinienem zastanowić się, dlaczego wprowadzam daną zmianę.



Rysunek 7. Dwa wykresy charakterystyki częstotliwościowej całego systemu. W zależności od tego, gdzie i jak głośnik jest umieszczony, możemy przesunąć spadek niskich częstotliwości i zwykle ustalić, co go powoduje. Jedynym sposobem na całkowite uniknięcie tego zjawiska byłoby umieszczenie głośnika na wysokiej drabinie, ale to trochę niewygodne! Dlatego najlepiej jest zignorować dół pasma przenoszenia



Rysunek 8. Pomiar charakterystyki częstotliwościowej systemu głośników na otwartej przestrzeni porośniętej trawą. Spadek przy 159 Hz wynika z faktu, że pomiary zostały wykonane na zewnątrz z arbitralnie umieszczonym subwooferem

eprasa.pl 514c4ae447

pracować w dobrze wentylowanym miejscu, aby zapobiec wdychaniu trocin.

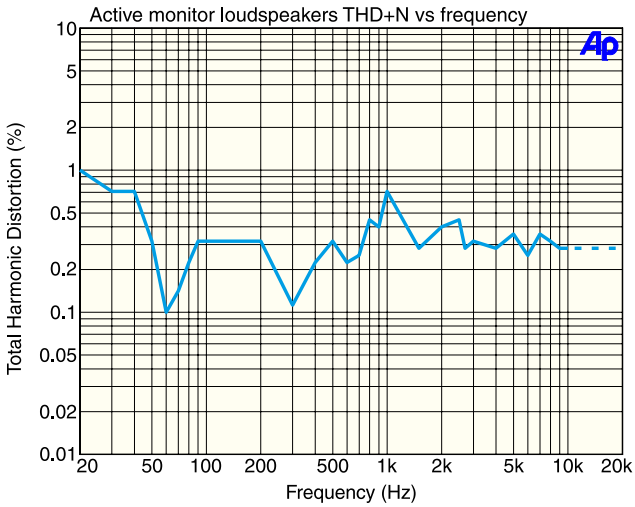
Przed rozpoczęciem prac należy ustalić, jaki ma być ostateczny efekt końcowy. Wpłynie to na metodę budowy i planowanie. Ja zdecydowałem się na gładkie, malowane wykończenie. Wybór ten był podyktowany kosztami, moim istniejącym wystrojem i pozwolił mi zademonstrować, że można uzyskać dobre wykończenie głośników w warunkach domowych, bez specjalnych narzędzi.

Zdecydowałem się na połączenia wręgowe, które umożliwiają sklejenie i zaciśnięcie lub sklejenie i skręcenie obudowy. Wymaga to precyzyjnego frezowania, ale po odpowiednim ustawieniu przyrządu można to łatwo osiągnąć. Jeśli nie masz frezarki, nie przejmuj się tym. Zmień wymiary płyt, aby użyć połączeń doczołowych i przykręć je do krawędzi końcowych (z wstępnie wywierconymi otworami!).

Na **rysunku 10** pokazano cięcia dla arkusza MDF o wymiarach 2400 mm × 1200 mm i grubości 16 mm (albo dwóch lub trzech mniejszych arkuszy). Poprosiłem sympatycznych sprzedawców w lokalnym markecie budowlanym o wycięcie dwóch pasów o szerokości 188 mm, dwóch o szerokości 210 mm i dwóch o szerokości 358 mm. Dodatkową część wziąłem jako naddatek.

Całość z łatwością zmieściła się do VW golfa hatchbacka, a wszystko, łącznie z cięciem, kosztowało 50 dolarów – cięcia były darmowe. W życiu nie ma wielu darmowych rzeczy, więc równie dobrze możesz wziąć to, co możesz dostać!

Na **rysunkach 11**, **12** i **13** zostały przedstawione szczegóły różnych płyt, które składają się na obudowy aktywnych



Rysunek 9. Wykres zniekształceń dla całego systemu. Poziomy są bardzo niskie dla systemu głośnikowego, dla którego wynik 0,5% jest uważany za dobry. Jest on doskonały w zakresie od 50 Hz do 1 kHz, przy zniekształceniach generalnie poniżej 0,33%. Zniekształcenia dotyczą głównie drugiej harmonicznej; trzecia harmoniczna jest bardzo niska, dlatego głośniki brzmią tak dobrze

głośników monitorujących. Wycinanie płyt z dłuższych pasów jest stosunkowo proste. Należy tylko pamiętać, że dokładność w tym miejscu zaprocentuje w końcowym montażu. Należy pamiętać o kilku rzeczach:

- płyta przednia i usztywnienie wewnętrzne są nachylone do tyłu pod kątem 5°. Ustawiłem piłę tarczową na kąt 5° i przyznaję, że użyłem trochę szpachli do wygładzenia tego połączenia podczas montażu;
- wszystkie wręgi są frezowane na głębokość 5 mm. Wykonaj próbne cięcie lub dwa i zrób to poprawnie. Nie tnij zbyt głęboko, ponieważ płyty będą wymagały przycięcia w celu dopasowania;
- jeśli musisz przyciąć płytę, wyrównaj ją lub użyj szlifierki tarczowej – nie chcesz odcinać dużych kawałków drewna;
- obserwuj lewą i prawą płytę, ponieważ mają one cięcia po przeciwnych stronach!



Fotografia 3. Mój prosty przyrząd pozwala na szybkie i powtarzalne cięcie pod kątem 90° (i pod innymi kątami) oraz wykonywanie linii trasujących. Zaoszczędziło to wielu godzin majstrowania przy zaciskach kosztem kilku ścinków drewna. Można go używać z piłą lub frezarką, ale należy być przygotowanym na wyrzucanie „krawędzi wyrównującej" przy każdej zmianie kąta

Do wykonania prostych cięć pod kątem prostym i pod kątem 5° oraz trasowania linii użyłem niezwykle prostego przyrządu, który pokazano na **fotografii 3**.

Po przycięciu płyt na wymiar, zaznacz i poprowadź wgłębienie na głośnik wysokotonowy o średnicy 104 mm i głębokości 5 mm. Sprawdź, czy głośnik wysokotonowy pasuje do okręgu, wykonując wycięcie.

Następnie należy wyciąć otwory na głośnik wysokotonowy i niskotonowy, zwracając uwagę, że w wycięciu na głośnik wysokotonowy znajdują się dwa wycięcia na zaciski połączeniowe. Gdy panel przedni jest już gotowy, można wyciąć otwory w usztywnieniu. Zaznaczyłem je, a następnie użyłem wyrzynarki. Nie ma nic szczególnego w wymiarach tych wycięć, ale należy pozostawić wystarczającą ilość materiału, aby wzmocnić obudowę.

Na koniec należy wyciąć otwór na zacisk głośnika. Ponownie, wyrzynarka jest przydatna, ale nie jest niezbędna. Wykonaj również wycięcia na zaciski wejściowe i port głośnikowy na tylnej płycie.

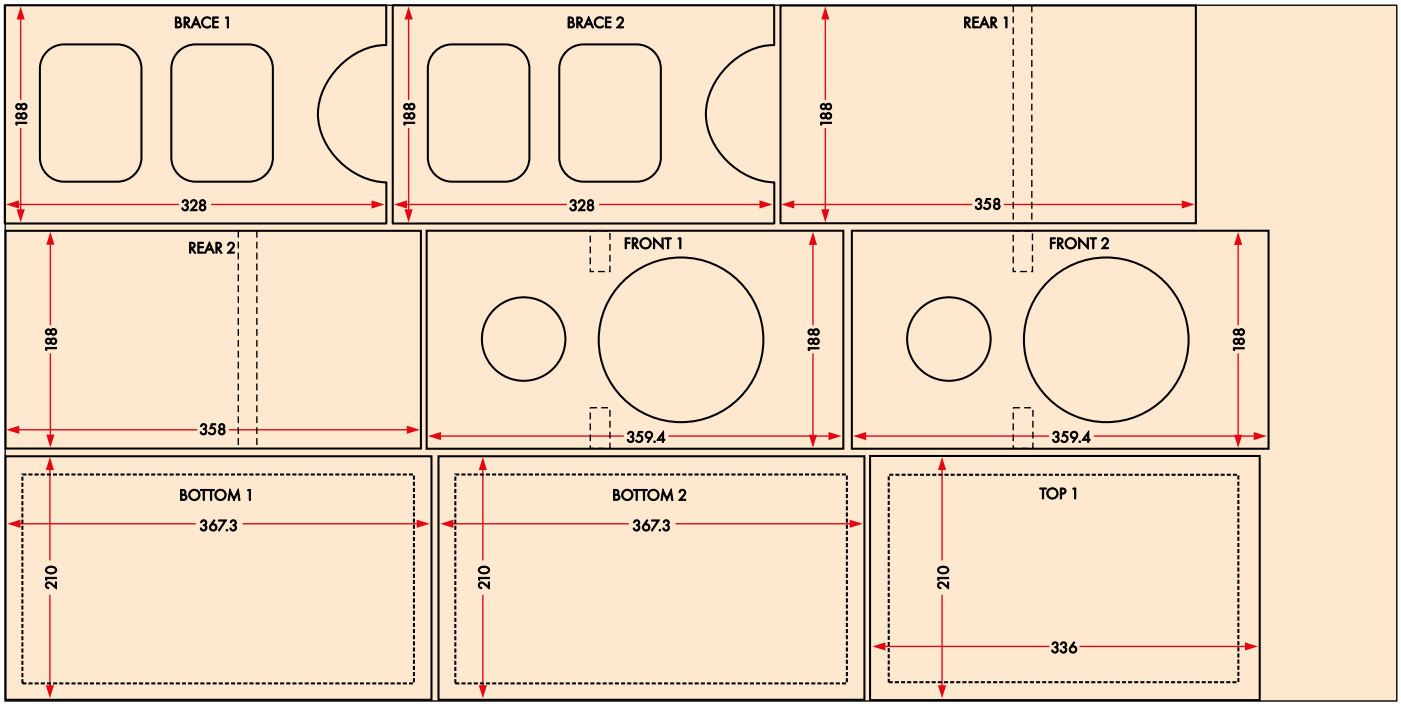
Teraz wytrasuj wszystkie wręgi. Zalecam ustawienie przyrządu, ponieważ zaoszczędzi to dużo czasu i zapewni spójne położenie linii trasującej.

Montaż obudowy

Niezależnie od tego, czy planujesz obudowę skleić i zacisnąć, czy przykleić i przykręcić, wykonaj próbny montaż „na sucho" w celu sprawdzenia czy wszystkie połączenia są gładkie i prawidłowo dopasowane. Dokonaj teraz wszelkich korekt, aby wszystko wyrównać.

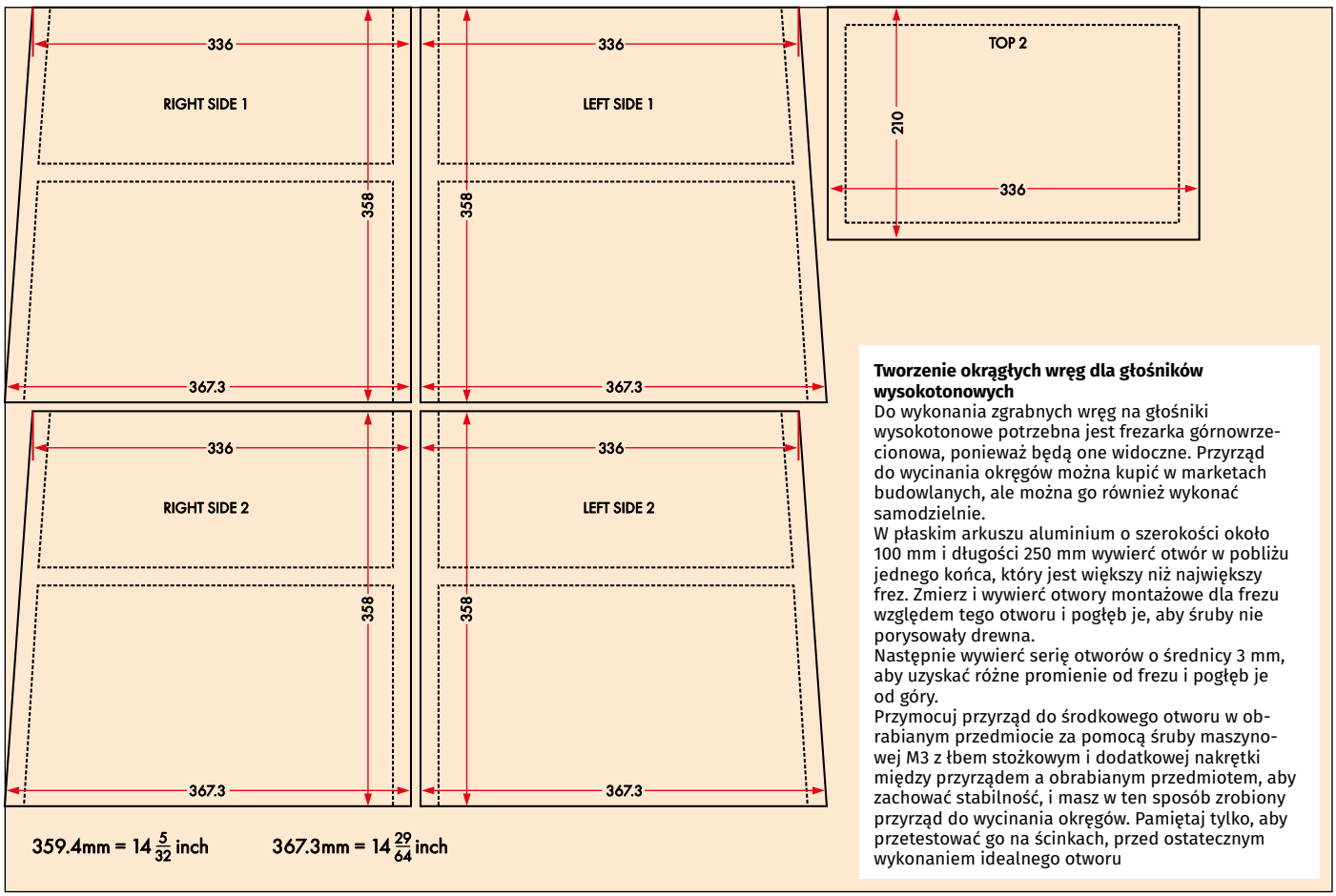
Jeśli planujesz połączyć panele śrubami, przygotuj się na wywiercenie otworów pilotażowych o średnicy 2,5 mm pod śruby i pogłębienie na łby. Jeśli konstrukcja drewniana jest schludna i zapewnia estetyczne i szczelne

eprasa.pl 514c4ae447



SHEET 1 (600 x 1200)

(SHOWN HERE AT 15% OF FULL SCALE)



Tworzenie okrągłych wręg dla głośników wysokotonowych

Do wykonania zgrabnych wręg na głośniki wysokotonowe potrzebna jest frezarka górnowrzecionowa, ponieważ będą one widoczne. Przyrząd do wycinania okręgów można kupić w marketach budowlanych, ale można go również wykonać samodzielnie.

W płaskim arkuszu aluminium o szerokości około 100 mm i długości 250 mm wywierć otwór w pobliżu jednego końca, który jest większy niż największy frez. Zmierz i wywierć otwory montażowe dla frezu względem tego otworu i pogłęb je, aby śruby nie porysowały drewna.

Następnie wywierć serię otworów o średnicy 3 mm, aby uzyskać różne promienie od frezu i pogłęb je od góry.

Przymocuj przyrząd do środkowego otworu w obrabianym przedmiocie za pomocą śruby maszynowej M3 z łbem stożkowym i dodatkowej nakrętki między przyrządem a obrabianym przedmiotem, aby zachować stabilność, i masz w ten sposób zrobiony przyrząd do wycinania okręgów. Pamiętaj tylko, aby przetestować go na ścinkach, przed ostatecznym wykonaniem idealnego otworu

SHEET 2 (800 x 1200)

ALL DIMENSIONS IN MILLIMETRES

Rysunek 10. Wszystkie płyty obudowy aktywnego głośnika monitorującego z jednego lub dwóch arkuszy MDF. Można użyć mniejszych arkuszy lub, jak opisano w tekście, skorzystać z bezpłatnej usługi cięcia oferowanej przez wiele marketów budowlanych. Wytnij je tak dokładnie, jak to możliwe, a następnie wytrasuj i wytnij wskazane otwory w panelach na głośniki, porty i otwory w usztywnieniu

eprasa.pl 514c4ae447

dopasowanie podczas montażu na sucho, można rozważyć po prostu sklejenie obudów.

Nałóż obfitą warstwę kleju na obie powierzchnie i jeśli potrzebujesz dodatkowej ręki użyj taśmy malarskiej, która przytrzyma płyty na miejscu. Wytrzyj nadmiar kleju podczas montażu, utrzymując wszystko w czystości.

Dzięki wręgom i wewnętrznemu usztywnieniu, które znajdują się poziomo między przednią a tylną płytą, elementy obudowy powinny dobrze do siebie pasować. Po ustawieniu płyt w docelowych miejscach należy użyć zacisków stolarskich, aby utrzymać całość w jednej pozycji na czas wiązania kleju.

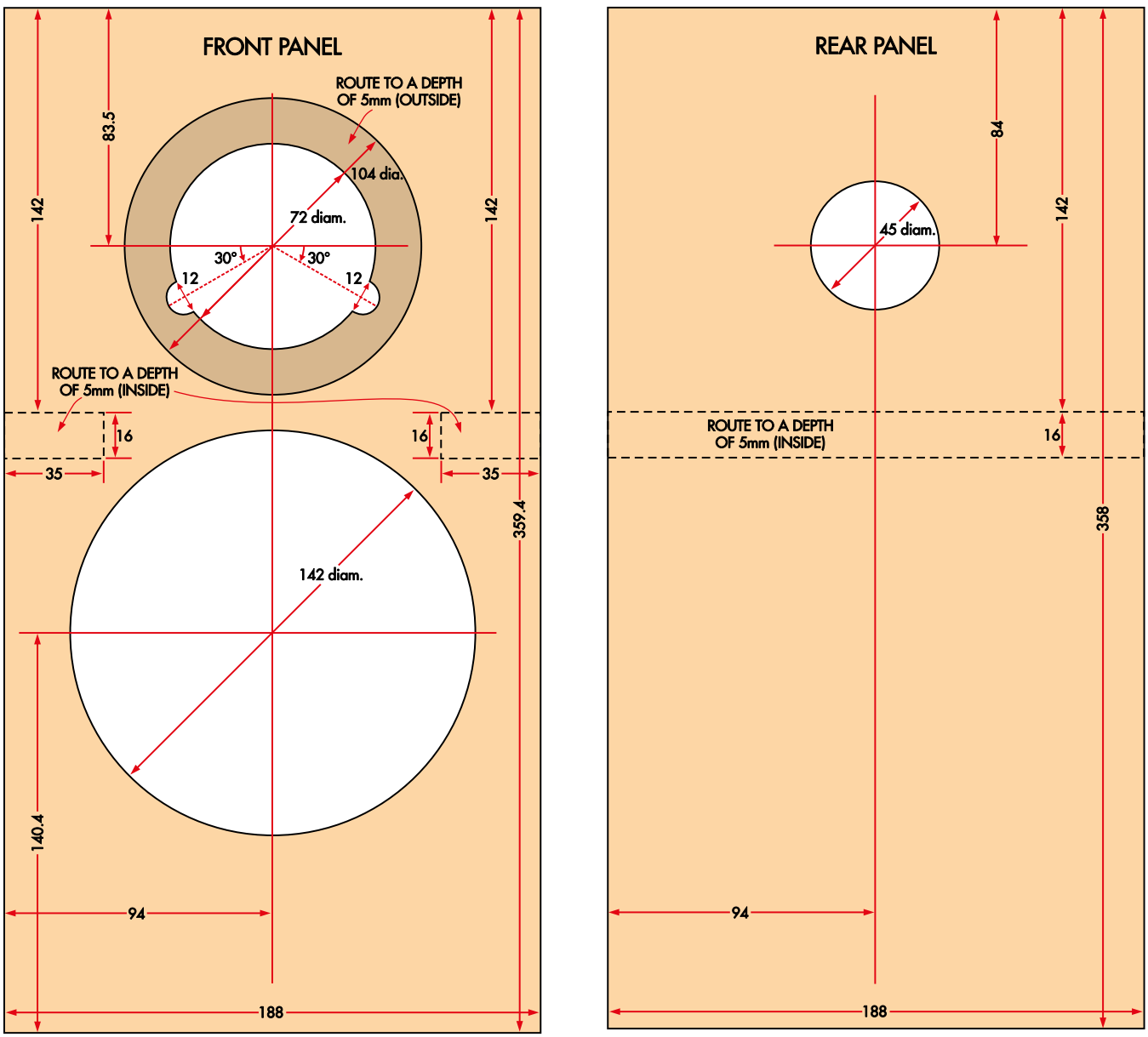
Aby „docisnąć" górną i dolną płytę, ustawiłem złożoną skrzynkę głośnika na podłodze i położyłem na niej kilka cegieł oraz ciężkie pudło z transformatorami – jak pokazano na **fotografii 4**.

Po zaciśnięciu koniecznie wytrzyj wilgotną szmatką nadmiar kleju z połączeń. To bardzo ważny krok, ponieważ zeszlifowanie zaschniętego kleju PVA jest wyjątkowo trudne.

Finalizacja

Niezależnie od wybranego sposobu wykończenia głośników, najważniejszą rzeczą jest odpowiednie przygotowanie się do tego zadania. Po związaniu kleju użyłem tarczy szlifierskiej, aby zeszlifować wszystkie zewnętrzne połączenia. Następnie użyłem szpachli do wypełnienia wszelkich szczelin między połączeniami, zachowując szczególną ostrożność, aby nie przepełnić zagłębień. Proces szlifowania i wypełniania był powtarzany, przechodząc od papieru ściernego o ziarnistości 120 do 240, aż obudowy były całkowicie gładkie.

Na zdjęciach widać, że zaokrągliłem krawędzie głośników. Przednie krawędzie mają zaokrąglenie o promieniu 10 mm, a boczne o promieniu 6 mm. Przednie krawędzie są zaokrąglone, aby zmniejszyć dyfrakcję, choć jeśli wykończenie wymaga ostrej krawędzi, będzie to również poprawne. Moje wcześniejsze prototypy miały



(PANELS DRAWN HERE AT 45% OF FULL SIZE)

ALL DIMENSIONS IN MILLIMETRES

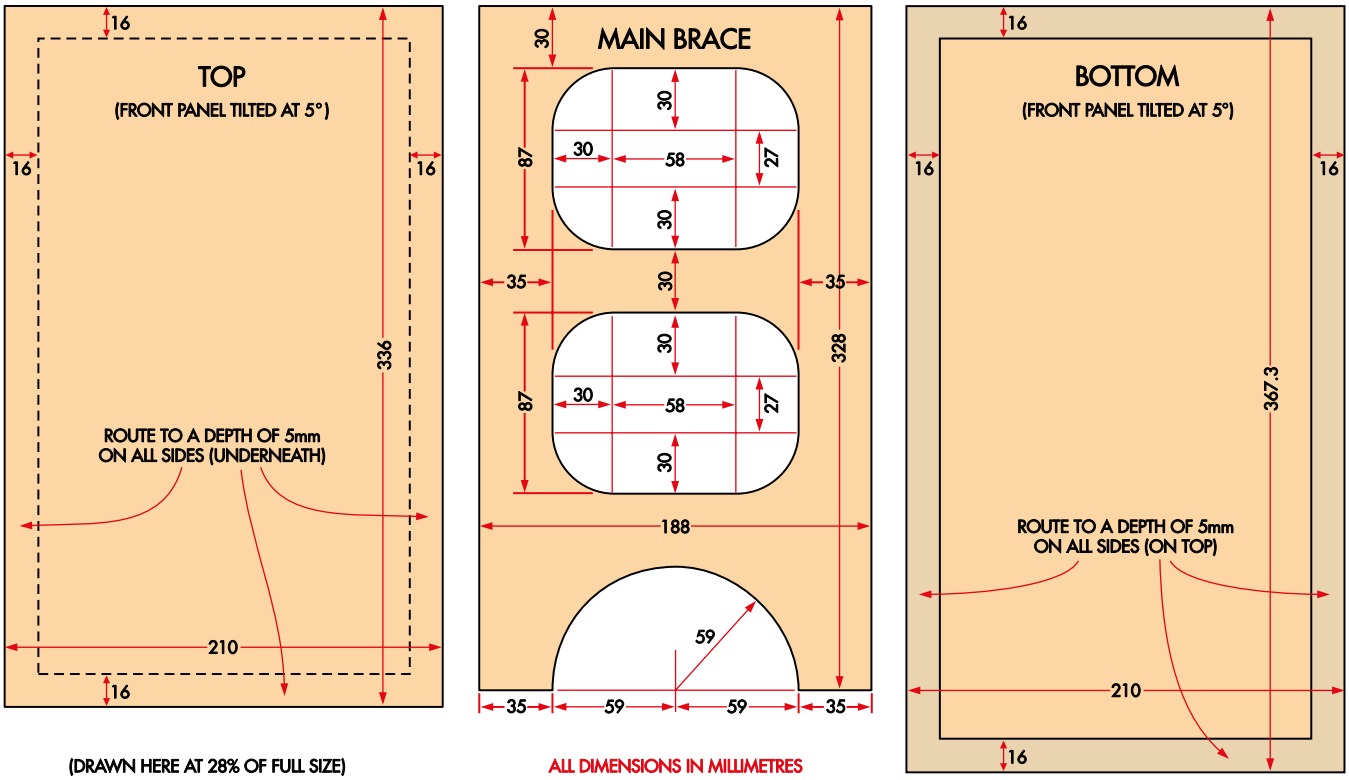
Rysunek 11. Szczegóły przedniego i tylnego panelu aktywnego głośnika monitorującego. Zwróć uwagę na wycięcia na zaciski głośnika wysokotonowego, wgłębienie na głośnik wysokotonowy i prostokątne obszary poprowadzone w środku dla wewnętrznego usztywnienia

eprasa.pl 514c4ae447

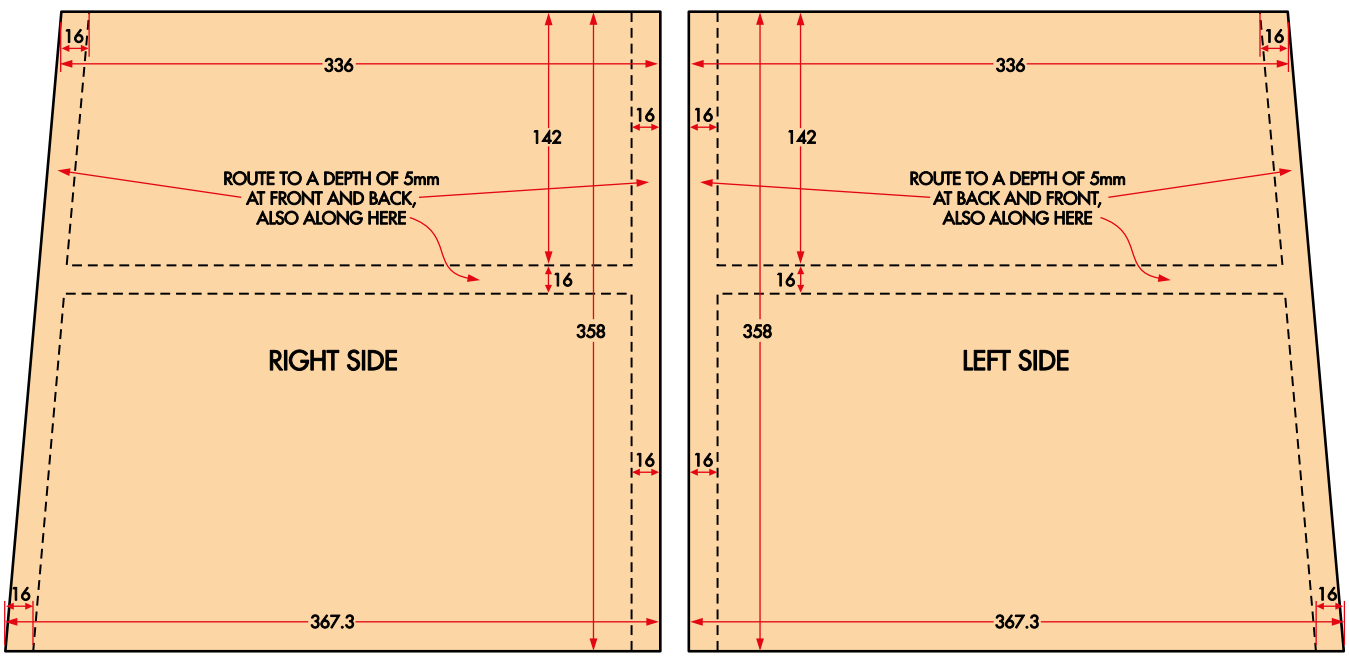
ostre krawędzie i nie wykazywały znaczących problemów związanych z refrakcją.

Następnie wałkiem naniosłem podkład akrylowy, aby uszczelnić drewno, zwracając szczególną uwagę na końcówki słojów. Trzeba je dokładnie zabezpieczyć – w przeciwnym razie wchłoną farbę i będą przebijać przez warstwę nawierzchniową. Podkład dał efekt tzw. „skórki pomarańczy", dlatego konieczne było dodatkowe szlifowanie papierem ściernym o ziarnistości 240, aby uzyskać gładkie wykończenie, co widać na **fotografii 5**.

Po całkowitym wygładzeniu podkładu akrylowego nałożyłem podkład w sprayu. Uszczelniło to wszelkie przeświturające fragmenty płyty MDF. Przeszlifowałem je ponownie papierem o ziarnistości 400, a następnie nałożyłem dwie warstwy wierzchnie,



Rysunek 12. Szczegóły górnego i dolnego panelu oraz wewnętrznego usztywnienia. Usztywnienie układa się poziomo między głośnikami i zapewnia dobrą sztywność. Dolny panel jest większy niż górny ze względu na pochylony przód



Rysunek 13. Szczegóły płyt bocznych, które mają kształt trapezoidalny, pasujący do pochylonego panelu przedniego. Wyfrezowane obszary to miejsca, w których mocowana jest płyta przednia i tylna, a także poziome usztywnienie wewnętrzne

eprasa.pl 514c4ae447



Fotografia 4. Jedna obudowa aktywnego głośnika monitorującego, sklejona i zaciśnięta, czekająca na wyschnięcie. Obudowa leżała przez 24 godziny zanim podjęto dalsze prace

lekko szlifując je papierem o ziarnistości 400. Użyłem „satynowej czerni", która jest bardziej matowa niż błyszcząca. Połysk jest najgorszym rozwiązaniem, jeśli chodzi o pokazywanie wad.

Na szczęście wyniki były doskonałe. Na **fotografii 6** pokazano najmniej chlubny fragment głośnika, z niewielką niedoskonałością wzdłuż górnego połączenia wręgowego z tyłu.

Instalowanie driverów

Umieść port głośnika w odległości 100 mm...110 mm. Nie musisz tego robić bardzo dokładnie. Akceptowalny jest zakres od 90 mm do 115 mm. Po usunięciu regulowanego przedłużenia wskazany port Altronics ma długość 110 mm. Zamontuj i przykręć port, jak pokazano na **fotografii 7**.

Idealnym miejscem do zamontowania kondensatora zabezpieczającego głośnik wysokotonowy jest złącze. Kondensator 100 µF będzie chronił przed przyłożeniem prądu stałego. Nie ochroni on jednak przed długotrwałym działaniem dźwięków o niskiej częstotliwości.

Aby przygotować złącze, należy zdjąć paski mostkujące przed przylutowaniem czegokolwiek do punktów lutowniczych.

Kondensator przymocowałem klejem na gorąco do złącza wejściowego i podłączyłem bezpośrednio szeregowo z przewodem głośnika wysokotonowego. Do podłączenia głośnika wysokotonowego i niskotonowego użyłem kabla głośnikowego o przekroju 1 mm² (17AWG). Upewnij się, że są one wystarczająco długie, aby można je było przylutować do głośników podczas ich instalacji.

Zacząłem od długości 60 cm, przylutowałem je do zacisków wejściowych i po podłączeniu głośników przyciąłem na odpowiednią długość – patrz **fotografia 8**. Oznacz połączenia głośnika niskotonowego i wysokotonowego, aby ich nie pomylić. Sugeruję również oznaczenie złączy na zewnątrz obudowy, aby w przyszłości, gdy zapomnisz, jak je zbudowałeś, połączenia były zrozumiałe.



Fotografia 6. Ostateczne wykończenie, pokazane pod najmniej korzystnym kątem (patrz górna tylna część). Ostateczna warstwa szpachlówki i kilka warstw wierzchnich rozwiązałyby ten problem, ale uznałem, że nie będzie to widoczne w pokoju odsłuchowym



Fotografia 5. Zagruntowane obudowy schną przed klimatyzatorem. Zostały później przeszlifowane na gładko przed nałożeniem podkładu w sprayu, a następnie przeszlifowane ponownie przed nałożeniem warstwy wierzchniej

eprasa.pl 514c4ae447

Wprowadź przewody głośnikowe do obudowy, przyklej taśmę piankową wokół wycięcia na zaciski, a następnie przykręć je czterema wkrętami do drewna.

Następnie należy wyciąć dwa paski grubej waty o długości około 1 metra, złożyć jeden z nich i umieścić go nad usztywnieniem, a drugi pod nim. Celem jest luźne wypełnienie obudowy watoliną, aby wytłumić promieniowanie tylne do wnętrza obudowy.

Głośniki mają fabrycznie zintegrowane uszczelki piankowe. Przylutuj przewody głośnika wysokotonowego do głośnika wysokotonowego, uważając na prawidłową polaryzację. Teraz przykręć głośnik wysokotonowy, a następnie zamontuj głośnik niskotonowy. Przymocuj głośniki za pomocą śrub 16 mm.

Na koniec zamontowałem filc. Najlepiej jest wyciąć kółka po przyklejeniu do płyty przedniej, ale przed montażem należy wyciąć proste linie za pomocą linijki i ostrego noża. Wzór, którego użyłem, jest pokazany na **rysunku 14**.

Jest to wymagane, ponieważ montujemy głośnik niskotonowy równo z panelem przednim. Filc poprawia wygląd i umożliwia przesunięcie głośnika niskotonowego do przodu, poprawiając wyrównanie czasowe i zmniejszając dyfrakcję.

W zależności od typu użytego filcu, mogą być potrzebne dwie warstwy. Docelowo filc ma przylegać do ramy głośnika niskotonowego.

Statywy na głośniki

Miejsce i sposób korzystania z aktywnych głośników monitorujących to kwestia indywidualna. Ich rozmieszczenie jest jednak ważne. Dobrym pomysłem jest umieszczenie ich na wysokości uszu.

Moje głośniki znajdują się w pokoju odsłuchowym i aby ustawić je na odpowiedniej wysokości, potrzebowałem statywów. Odpowiednie statywy na głośniki wykonałem z kawałków płyty MDF i drewna sosnowego DAR 120 mm × 19 mm. Dla ich wzmocnienia użyłem kątowników. Wyszły świetnie.

Na **rysunku 15** pokazano, jak można je wykonać w prosty i tani sposób. Przyciąłem drewno jak to zostało pokazane na rysunku, zagruntowałem, przeszlifowałem i nałożyłem warstwę wierzchnią w podobny sposób jak w przypadku aktywnych głośników monitorujących. Całkowita wysokość statywów wynosi 80 cm; wysokość można dostosować do własnych potrzeb.

Wykaz elementów:
1 wzmacniacz/zwrotnica (zostanie opisana w następnym odcinku)
1 aktywny subwoofer (opcjonalny, ale zalecany, będzie opisany w następnym odcinku)
2 głośniki nisko-średniotonowe SB Acoustics Satori MW16P-8 165 mm [Wagner Electronics – siliconchip.au/link/abfi]
2 pierścieniowe głośniki wysokotonowe SB Acoustics Satori TW29R-B 29 mm ⬟ [Wagner Electronics – siliconchip.au/link/abfj].
2 bipolarne kondensatory zwrotnicy 100 µF 100 V [Jaycar RY6920] ◆
2 strojone porty głośnikowe 35 mm [Altronics C3638]
2 dwuprzewodowe terminale głośnikowe z dwoma niezależnymi wejściami [Altronics P2019]
1 płyta MDF o wymiarach 2400 mm × 1200 mm × 16 mm lub podobna, przycięta zgodnie z rysunkiem 10
30 wkrętów do drewna 8G o długości 16 mm
1 2-metrowej długości przewód głośnikowy 1 mm2 (17AWG) rysunek 8 [Altronics W1936]
2 arkusze ciemnego filcu o grubości 5 mm i wymiarach 300 mm × 200 mm
1 m miękkiej piankowej taśmy uszczelniającej o szerokości 5 mm...10 mm (do uszczelniania otworów głośnika i zacisków)
1 wata akustyczna 2 m × 1 m [Lincraft „king size thick watding”]
1 tubka kleju PVA o pojemności 300 ml
1 puszka farby akrylowej o pojemności 500 ml
2 opakowania 350 g farby podkładowej w sprayu
2 opakowania 350 g farby w sprayu (na dwie lub więcej warstw nawierzchniowych)
⬟ Jeśli zamawiasz głośniki od Wagnera i chcesz zbudować subwoofer, możesz jednocześnie kupić głośnik subwoofera SB34SWNRX-S75-6 (siliconchip.au/link/abfk)
◆ Zwiększenie pojemności do 220 µF jest korzystne, ale nie jest wymagane. Należy zadbać o to, by kondensatory były w stanie wytrzymać odpowiednie prądy

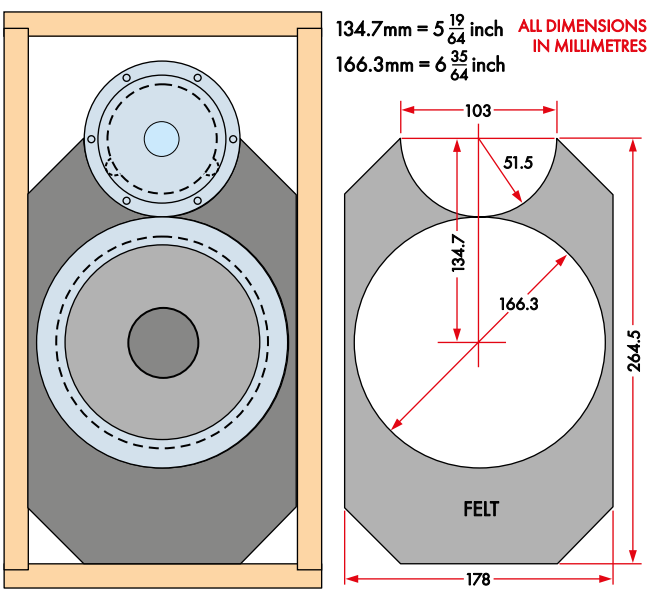
Części do opcjonalnych statywów (na parę, wysokość 80 cm)
2 2-metrowe odcinki drewna sosnowego DAR 120 mm × 19 mm
2 płyty MDF o wymiarach 300 mm × 300 mm × 16 mm lub podobne
2 arkusze MDF o wymiarach 200 mm × 140 × 16 mm lub podobne
8 wkrętów do drewna 10G o długości 75 mm
8 wkrętów do drewna 10G o długości 50 mm
1 puszka farby akrylowej o pojemności 250 ml
1 opakowanie 350 g farby podkładowej w sprayu
1 opakowanie 350 g farby w sprayu (na dwie lub więcej warstw wierzchnich)

Testowanie

Wyprzedzamy tu nieco fakty, ponieważ, aby prawidłowo przetestować nowe głośniki, będziesz musiał zbudować wzmacniacz/zwrotnicę opisaną w artykule w następnym odcinku. Jest to jednak odpowiednie miejsce, aby omówić, jak sprawdzić, czy wszystko



Fotografia 7. Tył głośnika z widoczną teksturą, którą można uzyskać, jeśli nie przeszlifuje się podkładu. Dobrze widoczny jest również otwór wentylacyjny i zaciski



Rysunek 14. Przytnij filc do tego kształtu i przyklej go z przodu głośnika. Służy on dwóm celom: zapobiega załamywaniu się dźwięku od krawędzi głośników i ukrywa różnicę w stylu montażu obu głośników

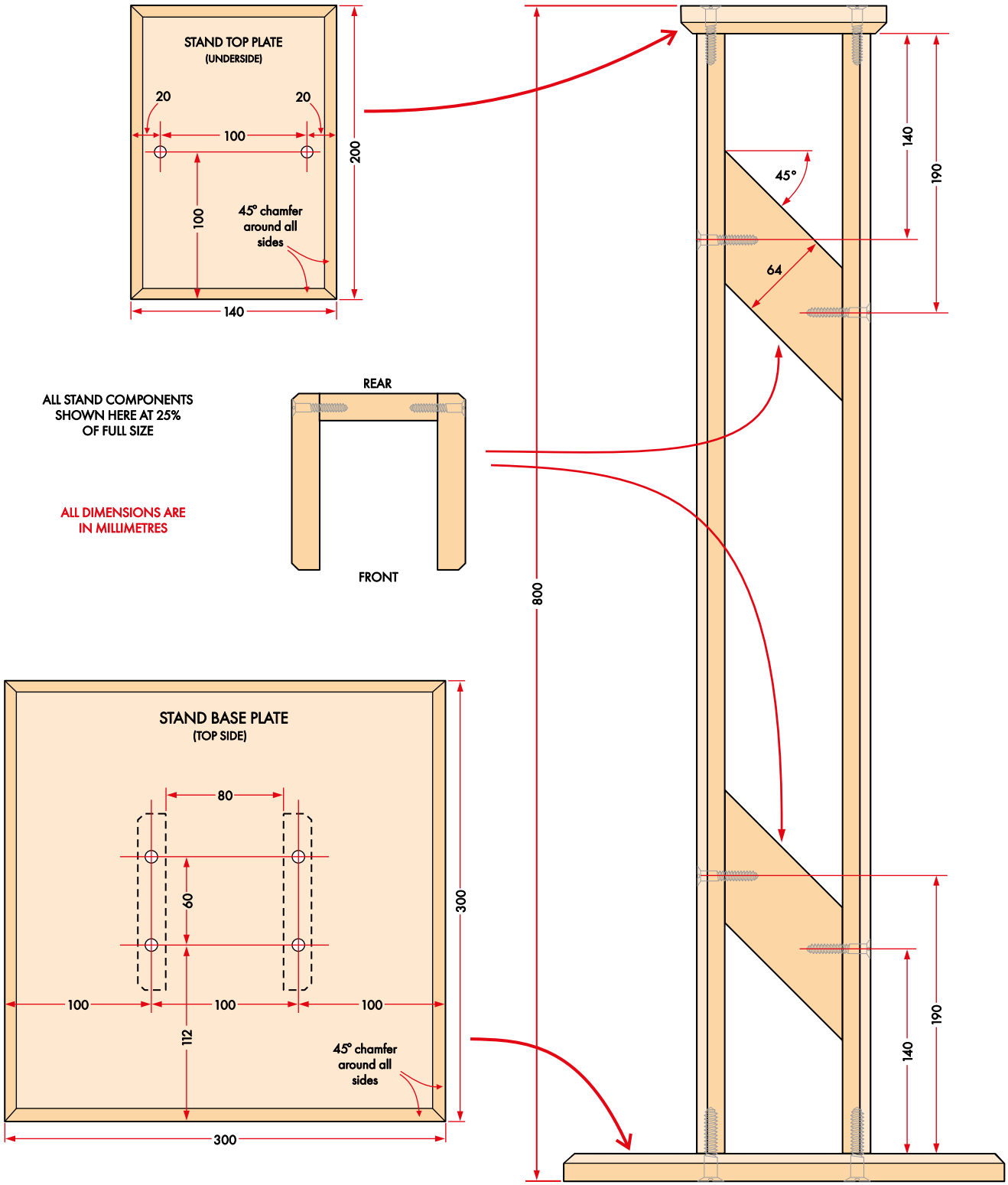
eprasa.pl 514c4ae447

zostało prawidłowo połączone, więc załóżmy, że elektronika została już zbudowana.

Dobrym testem zwrotnicy i wyrównania czasowego głośników jest odwrócenie fazy głośnika wysokotonowego i sprawdzenie, czy przy częstotliwości podziału występuje spadek poziomu ciśnienia akustycznego. Na **rysunku 16** pokazano spadek o 10 dB w charakterystyce częstotliwościowej po odwróceniu fazy tweetera. Wskazuje to, że wyrównanie czasowe jest prawidłowe i cały system działa zgodnie z założeniami.

Kalibracja i użytkowanie

Zakładając, że ustawiasz regulatory poziomu wyjściowego na 3-drożnej aktywnej zwrotnicy, zalecam użycie generatora i woltomierza AC. Generatorem może być wyjście audio komputera. Zachowaj



Rysunek 15. Szczegóły tanich, ale solidnych i atrakcyjnych statywów, które zaprojektowałem dla aktywnych głośników monitorujących. Prawdopodobnie można wyciąć podstawę i górną płytę z kawałków materiału użytego do budowy głośników

eprasa.pl 514c4ae447

ostrożność, używając multimetr w funkcji woltomierza AC, ponieważ niektóre nie reagują na sygnały powyżej 400 Hz, więc sprawdź, czy uzyskasz sensowne odczyty. Kroki są następujące:

1. Odłącz aktywne głośniki monitorujące od wzmacniacza.
2. Ustaw poziom głośnika niskotonowego na maksimum.
3. Ustaw generator na generowanie częstotliwości 400 Hz przy 1 V RMS.
4. Zmierz napięcia wyjściowe głośnika niskotonowego aktywnej zwrotnicy lub wzmacniacza. Powinny one wynosić odpowiednio 0,65 V/12,6 V RMS. Dokładność ±1 dB wynosi 0,58 V...0,73 V i 11,2 V...14,1 V.
5. Teraz ustaw generator na 5 kHz. Sprawdź, czy miernik nadal wskazuje 1 V RMS na wejściu wzmacniacza aktywnej zwrotnicy.
6. Wyreguluj głośność głośnika wysokotonowego, aby uzyskać 0,24 V/4,7 V RMS na wyjściu aktywnej zwrotnicy lub wzmacniacza wysokotonowego. Dokładność ±1 dB wynosi 0,21 V...0,27 V/4,17 V...5,25 V.

Ustaw generator na 40 Hz i sprawdź, czy miernik nadal wskazuje 1 V RMS na wejściu wzmacniacza aktywnej zwrotnicy.

Wyreguluj poziom głośności subwoofera tak, aby uzyskać 0,59 V RMS na wyjściu subwoofera. Dokładność ±1 dB wynosi 0,48 V...0,61 V.

Prawdopodobnie najlepiej jest ustawić moc wyjściową subwoofera ze słuchu, ponieważ mogą występować ogromne różnice między pomieszczeniami odsłuchowymi. Wyreguluj poziom, aż dźwięk będzie „basowy", a następnie zmniejsz go, aż dźwięk będzie suchy. Właściwy poziom znajduje się pomiędzy tymi ustawieniami. Jeśli masz miernik SPL, użyj go, ale pamiętaj, że Twoje pomieszczenie może tworzyć różnego rodzaju interesujące szczyty i spadki w charakterystyce przenoszenia.

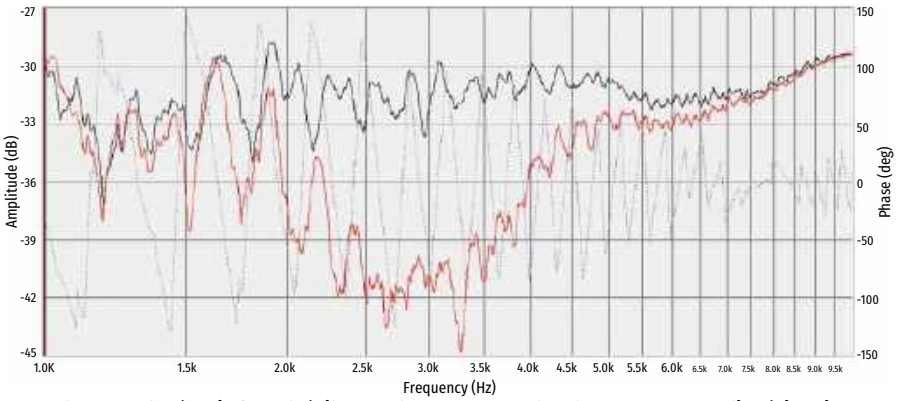
Niektórzy twierdzą, że dwa subwoofery mogą pomóc je wypełnić, ale jest to kosztowna propozycja. Mimo to, nic nie stoi na przeszkodzie, aby wykorzystać oba wyjścia subwoofera z aktywnego wzmacniacza zwrotnicy do zasilania po jednym subwooferze. W takim przypadku początkowo będziesz chciał ustawić wyjście subwoofera bliżej 0,4 V RMS.

W celu uzyskania optymalnej subiektywnej jakości dźwięku w moim pokoju odsłuchowym dostosowałem odpowiednio korekcję kroku przegrody. Można tak postępować indywidualnie dla własnego pomieszczenia.

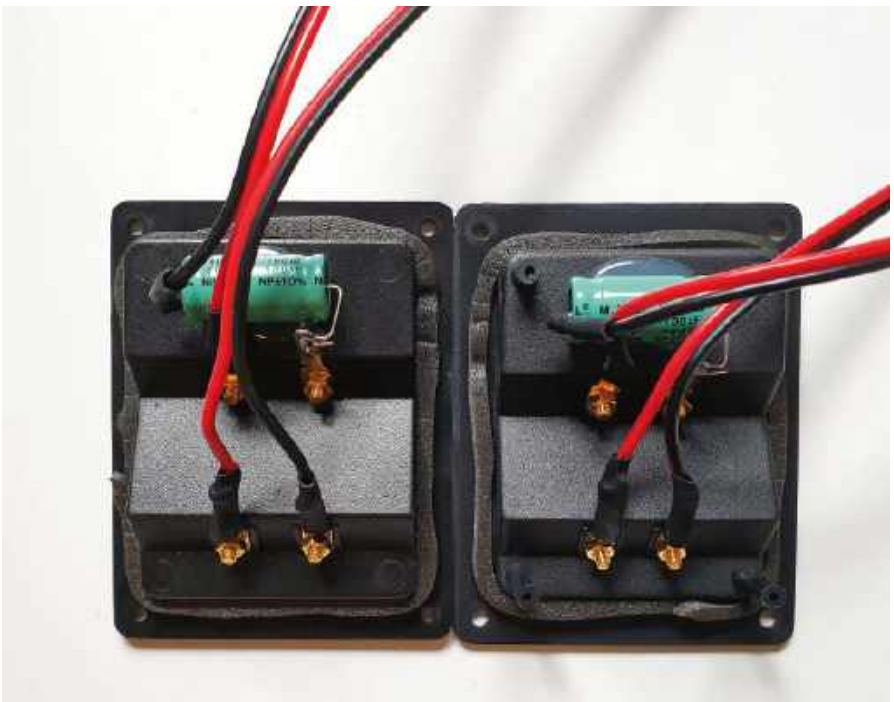
Wynika to z faktu, że stopień przegrody koryguje poziom dźwięku słyszanego w miejscu odsłuchu – ale należy pamiętać, że dyfrakcja jedynie przekierowuje dźwięk na bok, a dźwięk nadal rozlega się w pomieszczeniu odsłuchowym. Tak więc każde pomieszczenie może wymagać innej korekty.

Zwiększenie wartości rezystora 2,2 kΩ zmniejszy zakres działania korekcji efektu baffle step (i obniży częstotliwość, od której zaczyna ona działać). Zalecana wartość powinna się sprawdzić w wielu przypadkach, ale warto poeksperymentować.

Wierzę, że budowanie i dostrajanie tych bardzo wysokiej jakości głośników, a następnie ich odsłuch sprawi Ci przyjemność – być może zainspirujesz się niektórymi z przedstawionych tu pomysłów i stworzysz własną wersję.



Rysunek 16. Po odwróceniu fazy głośnika wysokotonowego w charakterystyce częstotliwościowej widoczny jest znaczny spadek. To anulowanie dźwięku pokazuje, że wszystko jest dobrze wyrównane i działa zgodnie z oczekiwaniami



Fotografia 8. Do przymocowania kondensatora bloku DC dla głośnika wysokotonowego do tylnej części terminala głośnikowego użyłem gorącego kleju. Następnie przylutowałem 60 cm grubego przewodu głośnikowego do zacisków, gotowego do podłączenia do głośników

W następnym odcinku

W drugiej części opiszemy system aktywnego wzmacniacza zwrotnicy do sterowania aktywnych głośników monitorujących. Następnie opublikujemy artykuł na temat budowy dedykowanego subwoofera o wysokiej wydajności. ■

Phil Prosser

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

eprasa.pl 514c4ae447





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

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

Bezpieczny zdalny wyłącznik główny, część 1

Zdalny przełącznik zasilania sieciowego wykorzystuje bezpieczną transmisję bezprzewodową, dzięki czemu niepowołane osoby nie mogą przechwycić poleceń i przejąć kontroli. Może przełączać obciążenia wysokoprądowe i zawiera regulowany timer. Tym samym odbiornikiem może sterować aż do 16 oddzielnych pilotów zdalnego sterowania!

Bezpieczny zdalny włącznik główny (dalej nazywany po prostu przełącznikiem) nadaje się świetnie na przykład do przełączania silników takich urządzeń jak wszelkiego rodzaju pompy wodne i wielu innych podobnych zastosowań, w których zdalne załączanie bądź wyłączanie urządzeń jest po prostu wygodne.

Wysoki poziom bezpieczeństwa tej konstrukcji oznacza, że może być ona używana do zdalnego sterowania drzwiami, bramami i elektrozaczepami, zapewniając bezpieczeństwo domu lub lokalu. Jak to zwykle bywa w przypadku pilotów zdalnego sterowania, urządzenie sterujące jest bardzo kompaktowe.

W Internecie można znaleźć wiele komercyjnych przełączników sieciowych sterowanych zdalnie, np. Jaycar Cat MS6148 I Altronics Cat A0345. Dostępne są również przełączniki sieciowe sterowane przez Wi-Fi, takie jak inteligentna wtyczka Wi-Fi Blaupunkt BSP2EM.

Odbiornik
- Zasięg w wolnej przestrzeni: 68 m
- Do 16 pilotów na odbiornik
- Zasilanie sieciowe, moc spoczynkowa typowo 0,8 W
- Obciążalność styków przekaźnika: 30 A przy 250 V AC, co oznacza, że może przełączać duże urządzenia zasilane z sieci, takie jak pompy.
- Zakresy czasu włączenia przekaźnika: od 250 ms do 60 s lub od 60 s do 4,5 h (patrz tabele 3 i 4).
- Zabezpieczenie przed zanikiem napięcia: 192 V AC wyłączenie, 220 V AC włączenie
- Prąd zasilania DC: 17 mA przy wyłączonym przekaźniku, 100 mA przy włączonym przekaźniku

Pilot
- Profesjonalnie wyglądająca obudowa pilota
- Zasilany ogniwem litowym 3 V CR2032, zalecane 200 mAh+, co daje ponad dwa lata żywotności przy typowym użytkowaniu.
- Prąd w trybie gotowości: typowo 60 nA (526 µAh/rok)
- Prąd aktywny (nadawczy): 10 mA średnio przez 160 ms (900 nAh na transmisję)
- Prąd rejestracji: średnio 10 mA przez 2,75 s (15,5 µAh na rejestrację)
- Szybkość transmisji: 976,5 bitów/s (1,024 ms na bit)
- Kodowanie danych: Kod Manchester z czasem transmisji 82 ms
- Generowanie unikatowego kodu: bezpieczna kontrola kodu UHF z 48-bitowym ziarnem, 24-bitowym mnożnikiem i 8-bitową wartością przyrostu.

eprasa.pl 514c4ae447

Sterowanie odbywa się za pomocą aplikacji na telefon komórkowy.

Wszystkie wymienione przełączniki działają zgodnie ze swoim przeznaczeniem, ale przekaźniki, których używają do przełączania zasilania sieciowego, nie nadają się do urządzeń zawierających silniki. Choć ich prąd znamionowy wynosi 10 A, styki przekaźnika szybko ulegną zniszczeniu, gdy zostaną użyte do zasilania takich urządzeń jak, na przykład, pompa basenowa.

Ponadto sterowniki polegające na aplikacji na telefon komórkowy mogą stać się przestarzałe, jeśli wsparcie tej aplikacji zostanie zakończone lub stanie się ona niekompatybilna z nowszymi telefonami.

Kody zabezpieczające

Korzystanie z szyfrowanej transmisji konieczne jest nie tylko w zastosowaniach związanych z bezpieczeństwem; jest również bardzo przydatne, aby zagwarantować, że sąsiad lub przechodzień korzystający z podobnego pilota zdalnego sterowania nie włączy lub nie wyłączy przypadkowo naszego urządzenia podczas sterowania własnym sprzętem.

Uwaga: nasze zmotoryzowane rolety antywłamaniowe niejednokrotnie zwijały się lub opuszczały, gdy nie było nas w pobliżu pilota zdalnego sterowania! Nie jest to więc tylko teoretyczne ryzyko i zdecydowanie ma wpływ na bezpieczeństwo.

Bezpieczeństwo tej konstrukcji oznacza również, że można zbudować więcej niż jeden przełącznik bez obawy o zakłócenia między nimi. Unikatowy kod transmisji zapewnia, że odbiornik przełącznika nie zostanie aktywowany przez jakieś inne, niesparowne urządzenie.

Kody zmienne zapewniające wysoki poziom bezpieczeństwa

Kod zdalnego sterowania wysyłany przez piloty zdalnego sterowania można uznać za zamek elektroniczny podobny do fizycznego klucza. Klucz ten jest określonym kodem wysyłanym przez pilot do odbiornika. Jest to długa sekwencja sygnałów on i off wysyłanych w określonej kolejności i przez określony czas. Kod musi być poprawny, aby odbiornik zareagował.

W przypadku stałego kodu pilota zdalnego sterowania, potencjalny złodziej może odebrać i zapisać kod wysłany przez pilota zdalnego sterowania i wysłać go ponownie, próbując uruchomić odbiornik. Jednak w przypadku kodu zmiennego, ponownie użyty kod nie uruchomi odbiornika. Dzieje się tak, ponieważ odbiornik wymaga za każdym razem innego kodu.

Każdy przesyłany kod różni się znacząco od poprzedniego. Wysyłane kody są oparte na algorytmie (obliczeniach), które są wspólne dla pilota i odbiornika, w oparciu o unikatową wartość numeryczną, która jest przechowywana w układach scalonych zarówno w pilocie, jak i odbiorniku. Każdy pilot będzie miał unikatowy identyfikator różniący się od identyfikatorów innych pilotów.

Liczba kombinacji kodu w systemie kodów zmiennych sięga bilionów. Sprawia to, że wszelkie próby złamania kodu poprzez wysyłanie odgadniętych kodów są całkowicie nierealne. Szansa na losowe wybranie poprawnego kodu dla naszego nadajnika kodu zmiennego wynosi na przykład 1 do 2,8 biliona.

Nawet wtedy kod musi być wysyłany z odpowiednią szybkością transmisji danych, z odpowiednimi kodami bitów startu i stopu oraz innymi wymaganiami dotyczącymi transmisji, w tym szyfrowaniem danych, które zmienia się przy każdej transmisji.

Inne funkcje

Nasz przełącznik składa się z dwóch części: profesjonalnego pilota w kształcie breloka oraz odbiornika. Pilot posiada trzy przyciski i diodę LED, która zapala się na krótko po każdym naciśnięciu jednego z przełączników. Jeden odbiornik może być sterowany za pomocą nawet do 16 różnych pilotów.

Odbiornik posiada przekaźnik ze stykiem przełączającym napięcie sieciowe o wytrzymałości prądowej 30 A, dzięki czemu nadaje się do załączania i wyłączania silników. Przekaźnik można włączać i wyłączać lub włączać na określony czas za pomocą pilota zdalnego sterowania lub przełącznika bezpośrednio w odbiorniku. Czas włączenia można regulować w zakresie od 1/4 sekundy do 4,5 godziny w dwóch zakresach.

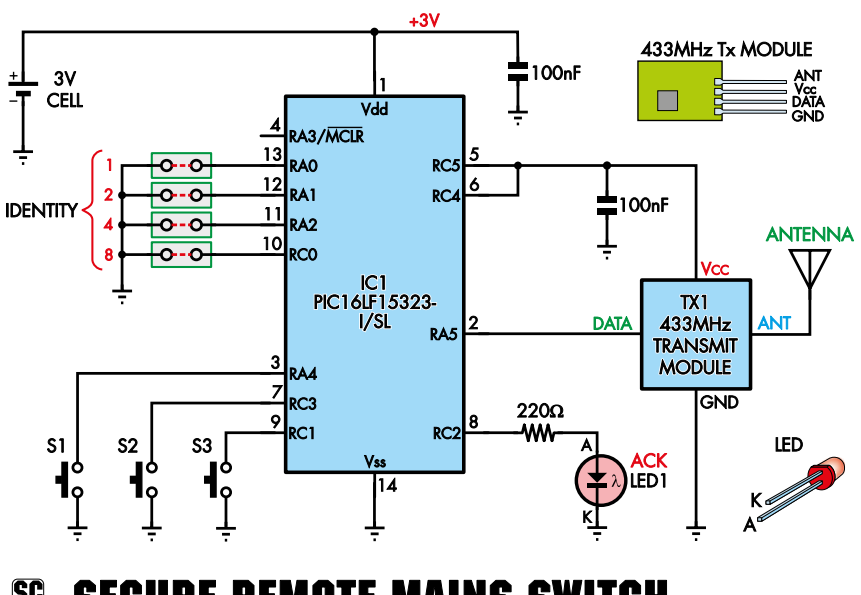
Kolejną funkcją jest wykrywanie zaniku napięcia. Urządzenie wyłącza się automatycznie w przypadku wystąpienia zaniku lub obniżenia napięcia. Dzieje się tak, gdy napięcie sieciowe spada do poziomu niższego niż normalny, zwykle z powodu usterki zasilania. Niższe napięcie może spowodować przegrzanie i spalenie silnika.

Przepalenie silnika występuje, ponieważ prąd płynący przez uzwojenia indukcyjne silnika wzrasta, gdy silnik nie obraca się z prawidłową prędkością, co jest prawdopodobne, gdy napięcie zasilania jest niskie. Podczas poważnych przerw w dostawie prądu napięcie może być tak niskie, że silnik w ogóle się nie obraca, ale prąd nadal płynie w jego uzwojeniach. W takiej sytuacji silnik szybko się przegrzeje i ulegnie trwałemu uszkodzeniu.

Funkcja monitorowania napięcia chroni silnik, wyłączając jego zasilanie, jeśli napięcie zasilania spadnie poniżej ustawionej wartości. Monitorowanie napięcia jest niezbędne w przypadku pomp wodnych zasilanych z sieci.

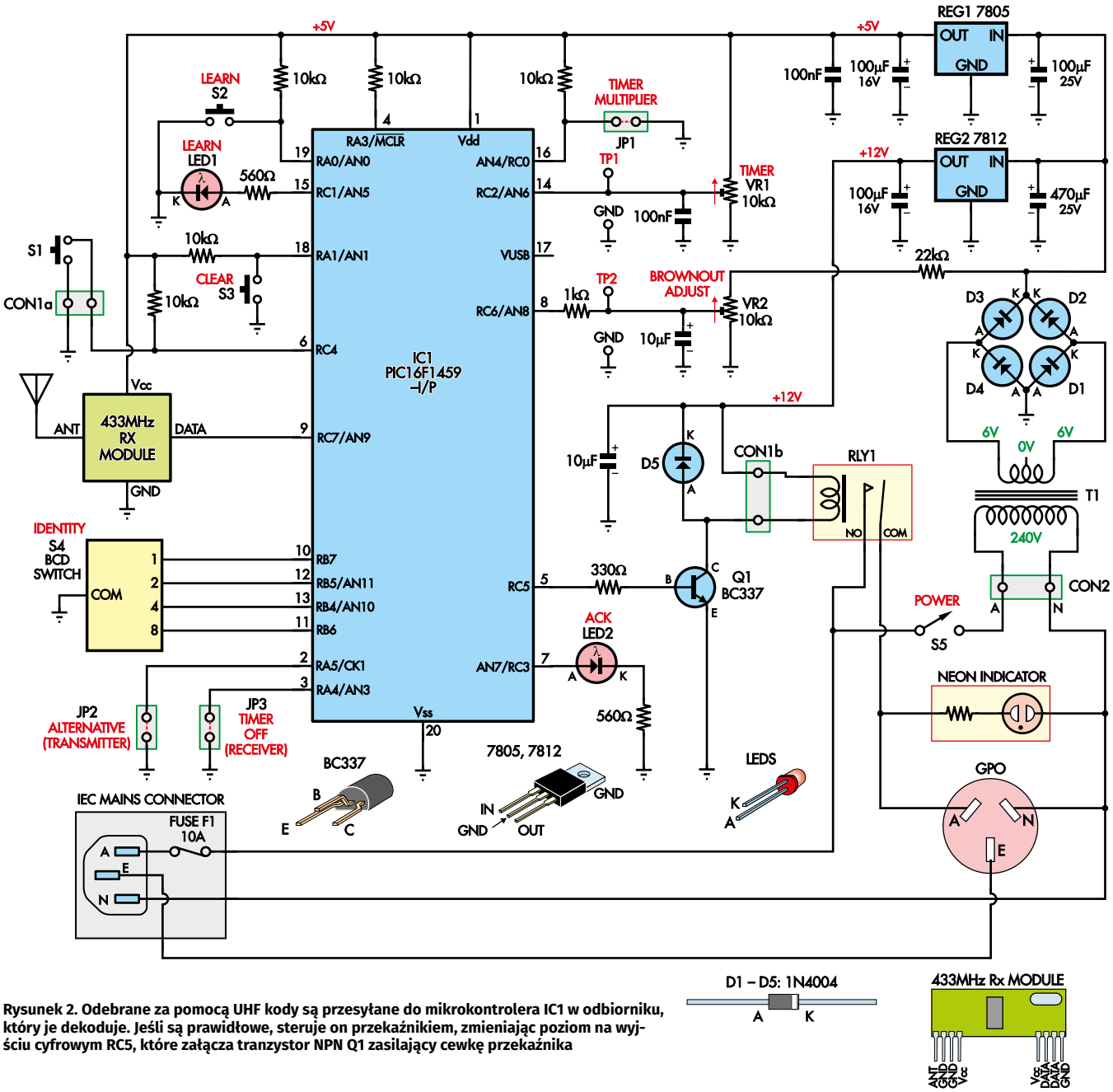
Programowanie pilotów

Każdemu z pilotów należy przypisać numer identyfikacyjny od 0 do 15, ustawiany za pomocą zworek kodujących na płytce drukowanej. Każdy pilot jest rejestrowany w odbiorniku poprzez wysłanie do niego kodu synchronizującego, gdy odbiornik znajduje się w trybie rejestracji lub uczenia.



Rysunek 1. Schemat pilota jest dość prosty, składa się głównie z mikrokontrolera PIC16LF15323 i modułu nadajnika UHF 433,9 MHz

eprasa.pl 514c4ae447



Rysunek 2. Odebrane za pomocą UHF kody są przesyłane do mikrokontrolera IC1 w odbiorniku, który je dekoduje. Jeśli są prawidłowe, steruje on przekaźnikiem, zmieniając poziom na wyjściu cyfrowym RC5, które załącza tranzystor NPN Q1 zasilający cewkę przekaźnika

Istnieje możliwość zablokowania określonego pilota po rejestracji. Jest to przydatne w przypadku zgubienia pilota. Jeśli zgubiony pilot zostanie odnaleziony, można go łatwo ponownie zarejestrować. Jeśli tożsamość zagubionego pilota nie jest znana, można zablokować wszystkie piloty i ponownie zarejestrować te, które są nadal w użyciu.

Dane są przesyłane w paśmie UHF za pomocą modulacji ASK i kodowania Manchester. Bit zerowy jest reprezentowany przez 512 µs przerwy w transmisji, po której następuje 512 µs sygnału nośnego o częstotliwości 433,9 MHz. Dla odmiany, bit jeden to 512 µs sygnału nośnego, po którym następuje 512 µs przerwy. Każda transmisja składa się z czterech bitów startowych, 8-bitowego identyfikatora, 48-bitowego kodu oraz czterech bitów stopu, co daje łącznie 64 bity. Pomiędzy drugim a trzecim bitem startowym występuje przerwa trwająca 16,4 ms. Wartość kodu zakłócającego (scramble value) zmienia się przy każdej transmisji, przyjmując jedną z 32 możliwych wersji.

Unikalne kody są generowane na podstawie 48-bitowego ziarna (seed), 24-bitowego mnożnika oraz 8-bitowej wartości przyrostu (increment), które początkowo są ustawiane przez unikalny identyfikator zapisany wewnątrz układu IC1 w pilocie.

Kod rejestracyjny jest wysyłany jako dwa bloki. Blok 1 wysyła cztery bity startowe, 8-bitowy identyfikator, 32-bitowy kod ziarna i cztery bity stopu. Blok 2 wysyła cztery bity startowe, 24-bitowy mnożnik, 8-bitowy przyrost i 8-bitowe wartości szyfrowania oraz cztery bity stopu. Ponownie, bity startowe zawierają przerwę 16,4 ms między drugim a trzecim bitem startowym.

Schemat

Schemat pilota pokazano na **rysunku 1**. Składa się on głównie z mikrokontrolera IC1 i nadajnika UHF 433,9 MHz. Jako mikrokontroler IC1 wybrano PIC16LF15323 ze względu na bardzo niski prąd czuwania oraz implementację unikatowego identyfikatora o nazwie Microchip Unique Identifier

eprasa.pl 514c4ae447

(MUI). Używamy MUI do generowania sekwencji kodu zmiennego, która jest unikatowa dla układu scalonego, a tym samym – pilota.

Układ IC1 jest zwykle utrzymywany w trybie uśpienia z zatrzymanym wewnętrznym oscylatorem i wyłączoną większością wewnętrznych obwodów. W tym stanie pobiera typowy prąd czuwania 60 nA z ogniwa 3 V.

Można to zweryfikować podłączając rezystor 100 kΩ szeregowo z zasilaniem 3 V w obwodzie przełącznika. Podłącz zasilanie przy naciśniętym przycisku. Po około 10 sekundach, gdy mikrokontroler przejdzie w stan uśpienia, zwolnij przycisk i zmierz napięcie na rezystorze. Zmierzyliśmy 6 mV, co wskazuje na prąd uśpienia 60 nA.

Przyciski S1 do S3 łączą się z wejściami cyfrowymi RA4, RC3 i RC1 układu IC1, podczas gdy przełączniki dla nastawy numeru pilota (1, 2, 4 i 8) łączą się odpowiednio z wejściami cyfrowymi RA0, RA1, RA2 i RC0.

Wejścia Identity służą do rozpoznawania różnych pilotów dla danego odbiornika. Jeśli używany jest tylko jeden pilot, można go ustawić na Identity 0, pozostałe piny Identity nie muszą być podłączone do masy obwodu.

Po włączeniu zasilania każde wejście tożsamości jest utrzymywane w stanie wysokim przez rezystory podciągające do szyny 3 V znajdującej się wewnątrz IC1. Oprogramowanie wyłącza rezystor podciągający dla każdego wejścia tożsamości, które jest utrzymywane w stanie niskim. Zapobiega to ciągłemu pobieraniu prądu przez rezystor podciągający, który w przeciwnym razie pobierałby 25...200 µA z ogniwa na każde wejście w stanie niskim.

Podciąganie dla przełączników S1...S3 pozostaje włączone, ponieważ są one naciskane tylko chwilowo. W przeciwieństwie do tego, co najmniej jedno z wejść Identity jest zawsze utrzymywane w stanie niskim dla ustawień Identity innych niż 0.

Układ IC1 jest zaprogramowany do wybudzania się ze stanu uśpienia, gdy zostanie naciśnięty dowolny z przełączników S1...S3, a odpowiadające mu wejście zmieni stan z wysokiego na niski. Następnie uruchamia program, aby wysłać kod zmienny dla funkcji powiązanej z naciśniętym przełącznikiem.

Kod zmienny i kody rejestracyjne są wysyłane za pośrednictwem modułu nadajnika 433,9 MHz. Moduł ten jest zasilany przez równoległe wyjścia RC5 i RC4 układu IC1, które przechodzą w stan wysoki zapewniający nominalne 3 V na wejściu Vcc modułu. W ten sposób moduł pobiera prąd z ogniwa tylko wtedy, gdy jest używany.

Wykaz elementów:

Odbiornik
1 dwustronna płytka drukowana, kod 10109211, 159 mm × 109 mm, grubość 1,6 mm
1 obudowa ABS IP65, 171 mm × 121 mm × 55 mm [Jaycar HB6248, Altronics H0478]
1 odbiornik 433,9 MHz UHF ASK (RX1) [Jaycar ZW3102, Altronics Z6905A lub równoważne]
1 transformator sieciowy 12 V 3 VA do montażu na płytce drukowanej (T1) [Altronics M7012A]
1 cewka 12 V DC, 250 V AC 30 A styk przekaźnika SPST (RLY1) [Jaycar SY4040 lub odpowiednik]
1 wyłącznik chwilowy push-to-close 250 V AC do montażu panelowego (S1) [Jaycar SP0716, Altronics S1080]
2 mikroprzyciski SPST do montażu na płytce drukowanej (S2, S3) [Jaycar SP0600, Altronics S1120]
1 4-bitowy przełącznik obrotowy DIL BCD do montażu na płytce drukowanej (S4) [Jaycar SR1220, Altronics S3000A]
1 główny przełącznik kołyskowy SPST (S5) [Jaycar SK0984, Altronics S3210]
1 gniazdo sieciowe 10 A z bocznym wejściem przewodu [Jaycar PS4094, Altronics P8241]
1 montowane na panelu gniazdo sieciowe IEC ze zintegrowanym uchwytem bezpiecznika [Jaycar PP4004, Altronics P8324]
1 bezpiecznik M205 10 A (F1)
1 przewód zasilający IEC 10 A
1 montowana na panelu lampa neonowa 230/240 V AC
2 2-pinowe zaciski śrubowe, raster 5,08 mm (CON1)
1 3-pinowe złącze śrubowe, raster 5,08 mm (CON2)
3 2-pinowe złącza szpilkowe o rastrze 2,54 mm (JP1...JP3)
3 zworki (JP1...JP3)
1 20-pinowa podstawka DIL IC (dla IC1)

2 śruby z łbem walcowym M4 × 6 mm i nakrętki (do montażu przekaźnika)
2 nylonowe śruby maszynowe z łbem walcowym M3 × 10 mm (do montażu złącza IEC)
6 śrub z łbem walcowym M3 × 6 mm
4 nakrętki M3
2 opaski kablowe 150 mm (do przytrzymania transformatora)

1 czerwona rurka termokurczliwa o długości 20 mm i średnicy 3 mm
1 400 mm jasnoniebieskiego przewodu sieciowego 10 A ◆
1 400 mm brązowego przewodu sieciowego 10 A ◆
1 przewód sieciowy o długości 200 mm i natężeniu 10 A w kolorze zielonym/żółtym ◆
1 brązowy przewód sieciowy o długości 400 mm i natężeniu 7,5 A
1 emaliowany drut miedziany o długości 170 mm i średnicy 1 mm
1 czerwona rurka termokurczliwa o długości 50 mm i średnicy 10 mm
1 czerwona rurka termokurczliwa o długości 100 mm i średnicy 5 mm
1 niebieska rurka termokurczliwa o długości 25 mm i średnicy 5 mm
1 zielona rurka termokurczliwa o długości 25 mm i średnicy 5 mm
12 opasek kablowych 100 mm
◆ mogą być odłączone od 3-żyłowego przewodu zasilającego 10 A

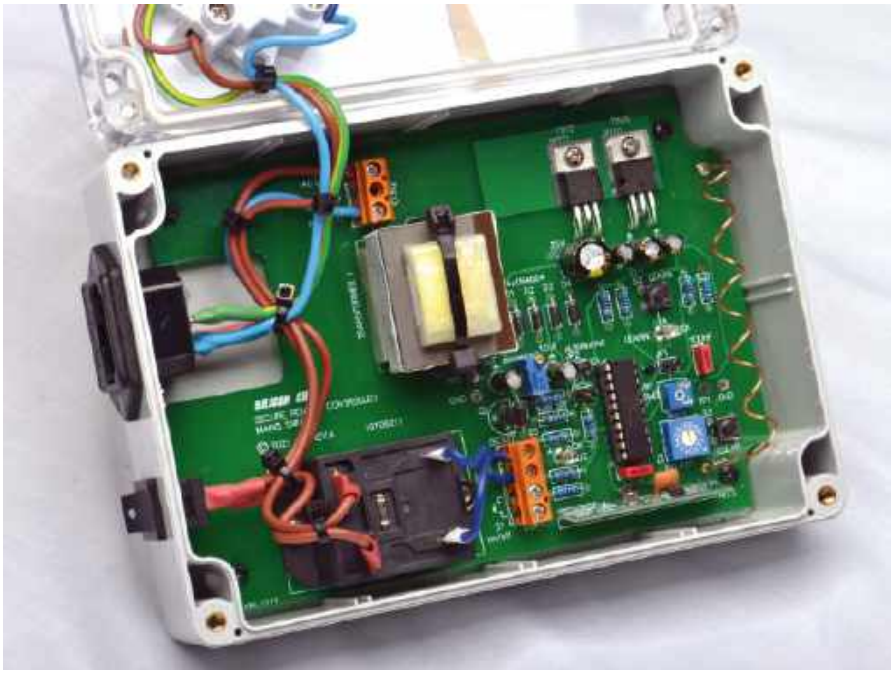
Półprzewodniki
1 mikrokontroler PIC16F1459-I/P, DIP-20, zaprogramowany kodem 1010921r.hex
1 7805 stabilizator 5 V 1 A, TO-220 (REG1)
1 7812 stabilizator 12 V 1 A, TO-220 (REG2)
1 BC337 tranzystor NPN 500 mA, TO-92 (Q1)
5 diod 1N4004 400 V 1 A, DO-41 (D1...D5)
2 czerwone diody LED 3 mm o wysokiej jasności (LED1, LED2)

Kondensatory
1 470 µF 25 V PC elektrolityczny
1 100 µF 25 V PC elektrolityczny
2 100 µF 16 V PC elektrolityczny
2 10 µF 16 V PC elektrolityczny
2 100 nF poliesterowy MKT (kod 104 lub 100n)

Rezystory (wszystkie 1/4 W, 1% metalizowane)
1 22 kΩ
5 10 kΩ
1 1 kΩ
2 560 Ω
1 330 Ω
1 miniaturowy potencjometr montażowy, jednoobrotowy, regulowany od góry 10 kΩ (kod 103) (VR1)
1 potencjometr wieloobrotowy z regulacją górną 10 kΩ (kod 103) (VR2)

Pilot (do 16 na jeden odbiornik)
1 dwustronna płytka drukowana, kodem 10109212, 30 mm × 45 mm, grubość 1,0 mm
1 RF Solutions ENCL_KIT3 obudowa pilota z 3 przełącznikami [RS Components 4510674, Mouser 223-ENCL-KIT3].
1 Renata HU-2032-LF uchwyt ogniwa do montażu na płytce drukowanej (BAT1) [element14 1319749, Mouser 614-HU2032-LF]
1 ogniwo litowe CR2032 3 V (BAT1)
1 nadajnik 433,9 MHz UHF ASK (TX1) [Jaycar ZW3100, Altronics Z6900 lub równoważne]
3 dwupinowe przełączniki chwilowe SPST do montażu na płytce drukowanej (S1...S3) [Jaycar SP0611, Altronics S1127]
1 mikrokontroler PIC16LF15323-I/SL, SOIC-14, zaprogramowany 1010921a.hex (IC1)
1 czerwona dioda LED 3 mm o wysokiej jasności (LED1)
2 100 nF 50 V ceramiczny przelotowy
1 rezystor SMD 220 Ω 1%, rozmiar M3216/1206
1 162 mm emaliowanego drutu miedzianego o średnicy 0,5 mm

eprasa.pl 514c4ae447



Odbiornik mieści się w szczelnej obudowie z tworzywa ABS o klasie ochrony IP65, dzięki czemu może być zainstalowany np. w domku basenowym lub podobnym miejscu — do sterowania pompą basenową albo w innych zastosowaniach. Odporność na zachlapanie może się również przydać, jeśli urządzenie steruje bramą wjazdową lub garażową. Należy jednak zamontować je w miejscu osłoniętym od warunków atmosferycznych, ponieważ gniazda i przełączniki nie są uszczelnione

Kod jest stosowany do wejścia danych modułu z wyjścia RA5 układu IC1. Funkcję anteny pełni zwinięty przewód.

Wskaźnik nadawania, LED1, jest zasilany przez wyjście RC2 układu IC2 przez rezystor 220 Ω ograniczający prąd diody i jest modulowany z częstotliwością transmisji kodu około 1 kHz. Po wysłaniu kodu, IC1 wyłącza nadajnik UHF i powraca do trybu uśpienia.

Podczas transmisji prąd pobierany z ogniwa na krótko wzrasta do około 10 mA. Jeśli przytrzymasz jeden z przycisków po zakończeniu transmisji, prąd spadnie do około 220 µA do momentu zwolnienia przycisku. Jest to spowodowane przepływem prądu przez rezystor podciągający przełącznika.

Biorąc pod uwagę prąd spoczynkowy i przerywane impulsy większego prądu podczas transmisji, żywotność ogniwa powinna wynosić ponad dwa lata przy typowym użytkowaniu.

Schemat odbiornika

W odbiorniku (**rysunek 2**) został zastosowany mikrokontroler PIC16F1459-I/P (IC1) i moduł odbiornika UHF z wbudowanym wejściem anteny przewodowej. Rozwiązanie takie powinno zapewnić bardzo dobry zasięg odbioru.

Gdy nie ma transmisji, sygnał wyjściowy odbiornika jest losowym szumem, ponieważ automatyczna regulacja wzmocnienia (AGC) modułu jest maksymalna. Po odebraniu sygnału 433,9 MHz wzmocnienie odbiornika zostaje zmniejszane w celu uzyskania najlepszego odbioru bez przesterowania, a zakodowany sygnał z wyjścia danych modułu jest dostarczany do wejścia cyfrowego RC7 układu IC1.

Dioda Acknowledge LED (LED2) sygnalizuje odebranie poprawnego sygnału.

Wyjście cyfrowe RC5 układu IC1 steruje tranzystorem NPN Q1, który przełącza cewkę przekaźnika. Gdy RC5 osiągnie stan wysoki, dostarcza prąd do bazy tranzystora Q1, który załącza przekaźnik RLY1. Dioda D5 eliminuje skok napięcia indukowanego w cewce przekaźnika obserwowany na kolektorze Q1 w chwili wyłączenia przekaźnika. Obciążalność styków przekaźnika wynosi 30 A i 250 V AC.

Urządzenie można skonfigurować tak, aby załączało przekaźnik przez określony czas lub po prostu trwale włączało go lub wyłączało.

Istnieją dwa sposoby włączania i wyłączania przekaźnika. Działanie przełącznika S1 w odbiorniku zależy od założenia bądź zdjęcia zworki JP3. Gdy na JP3 brak zworki, przekaźnik włącza się po jednym naciśnięciu i wyłącza po kolejnym. Gdy JP3 jest zwarty i S1 jest wciśnięty, przekaźnik jest włączany na określony czas i wyłącza się po zakończeniu tego okresu lub po ponownym wciśnięciu S1 (**tabela 1**).

Pilot zdalnego sterowania ma trzy przyciski i zwykle S1 na pilocie włącza przekaźnik z timerem, aby go wyłączyć, S2 włącza go w sposób ciągły (lub na znacznie dłuższy czas, jeśli JP2 ma zworkę), a S3 wyłącza go. Więcej szczegółów zawiera **tabela 2**.

Okres timera jest ustawiany za pomocą potencjometru montażowego VR1. Jego suwak może być regulowany w zakresie od 0 V do 5 V. Napięcie to jest monitorowane na wejściu analogowym AN6 układu IC1, który konwertuje napięcie na okres od 0,25 sekundy do 60 sekund.

Wejście cyfrowe RA4 układu IC1 ma wewnętrzne podciąganie z układu IC1. Jeśli JP1 jest zwarty, ten pin jest ściągany w dół. W takim przypadku okres taktowania wynosi od jednej minuty do 4 godzin i 30 minut (**tabela 3**).

Napięcie ustawienia timera można monitorować w punkcie testowym TP1. W **tabeli 4** przedstawiono typowe czasy dla wybranych pozycji potencjometru montażowego.

Identyfikacja

Wyboru tożsamości dokonuje się za pomocą przełącznika obrotowego BCD (S4) z 16 pozycjami, oznaczonymi 0-9 i A-F (dla 10-15). Przełącznik ten ma zastosowanie wyłącznie do wyboru blokady; nie odgrywa żadnej roli w rejestracji nadajnika pilota.

Cztery styki S4 łączą się z wejściami cyfrowymi RB7, RB6, RB5 i RB4 układu IC1.

Tabela 1. Ustawienia JP3

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

Tabela 2. Funkcje przełączników pilota

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

eprasa.pl 514c4ae447

Tabela 3. Ustawienia timera na JP1

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

Gdy przełącznik BCD jest ustawiony na 0, wszystkie cztery wejścia są w stanie wysokim. Pozycja 1 na przełączniku powoduje, że wyjście „1" na RB7 jest w stanie niskim, podczas gdy pozycja 15 (lub F) ustawia wszystkie wyjścia przełącznika na 0 V.

S3 zapewnia funkcję blokady lub wyrejestrowania pilota. Naciśnięcie przycisku S3 uniemożliwi pilotowi obsługę odbiornika o numerze wybranym za pomocą przełącznika BCD.

Przełącznik Learn (S2) informuje program w IC1 o gotowości do przyjęcia sygnału parowania z pilota. Podczas oczekiwania na sygnał z pilota, dioda LED Learn (LED1) pozostaje zapalona. Dioda Learn gaśnie po odebraniu sygnału parowania.

Zasilanie

Zasilanie odbiornika pobierane jest z sieci za pośrednictwem transformatora T1. Napięcie wtórne 12 V transformatora jest prostowane pełnookresowo za pomocą diod D1...D4 i filtrowane za pomocą kondensatora elektrolitycznego 470 µF na wejściu REG2 oraz kolejnego kondensatora 100 µF na wejściu REG1.

W rezultacie uzyskiwane jest niestabilizowane napięcie stałe o wartości 17 V. Układy REG2 oraz REG1 z kolei zapewniają odpowiednio stabilizowane napięcia +12 V i +5 V. Napięcie +5 V jest używane do zasilania IC1 i modułu odbiornika 433,9 MHz, natomiast napięcie +12 V zasila przekaźnik. Wyjścia REG1 i REG2 są filtrowane i stabilizowane za pomocą kondensatorów 100 µF. Kondensator 100 nF dodatkowo filtruje zasilanie 5 V dla IC1.

Tabela 4. Czas nominalny w zależności od napięcia TP1

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

Monitorowanie napięcia sieci

Wejście analogowe AN8 układu IC1 służy do monitorowania wartości napięcia. Wejście to próbkuje wyprostowane napięcie 17 V poprzez dzielnik napięcia składający się z rezystora 22 kΩ i potencjometru VR2. Napięcie suwaka VR2 jest filtrowane za pomocą kondensatora 10 µF (w celu wygładzenia tętnień 100 Hz i stanów nieustalonych) i podawane na wejście AN8 przez rezystor 1 kΩ.

Podczas procedury kalibracji, VR2 należy wyregulować w taki sposób, aby na AN8 uzyskać napięcie stałe o wartości 1/100 napięcia sieciowego AC. Na przykład napięcie jest ustawione na +2,35 V, jeśli napięcie sieciowe wynosi 235 V AC.

Jeśli wystąpi przerwa w zasilaniu lub napięcie sieciowe spadnie poniżej około 192 V AC, napięcie przyłożone do AN8 spadnie poniżej 1,92 V DC. Taką sytuację wykrywa mikrokontroler IC1, który następnie wyłącza przekaźnik, aby odłączyć obciążenie od sieci. Przekaźnik można ponownie włączyć ręcznie tylko wtedy, gdy napięcie sieciowe powróci do normy.

Mały problem z monitorowaniem napięcia 17 V polega na tym, że chociaż zmienia się ono w zależności od napięcia sieciowego, to zmienia się również w zależności od obciążenia. Rezystancja cewki RLY1 wynosi 120 Ω, więc gdy przekaźnik jest włączony, z szyny 17 V pobierane jest dodatkowe 100 mA. W rezultacie napięcie na tej szynie spada, gdy przekaźnik jest zasilany. Dlatego VR2 pozwala wyregulować, moment załączenia przekaźnika, a tym samym wyregulować próg wykrywania zaniku napięcia sieci.

Gdy przekaźnik zostanie wyłączony, napięcie powinno wzrosnąć o około 3 V, ponieważ przekaźnik nie będzie obciążał już zasilania. Jednakże, po zaniku napięcia przekaźnik zostaje zablokowany i musi być ponownie włączony ręcznie, więc w układzie, samo od siebie, już nic się nie zadzieje.

W kolejnym odcinku

Wciąż mamy sporo do omówienia. Musimy również opisać jak zamontować obie płytki w odpowiednich obudowach. Następnie omówimy procedurę testowania, konfigurację, zdalną rejestrację i wyrejestrowanie oraz kilka dodatkowych porad dotyczących korzystania z opisanego tu przełącznika. Wszystko to znajdzie się w drugiej części artykułu. ■

John Clarke

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

REKLAMA

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

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

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

KLUB AVT ELEKTRONIKA

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

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

eprasa.pl 514c4ae447

Programowalne obciążenie DC sterowane przez Wi-Fi, część 2

Opisane w artykule Programowalne Obciążenie może obsługiwać zasilacze dostarczające do 150 V, 30 A lub 300 W. Dzięki temu idealnie nadaje się do testowania zasilaczy, paneli słonecznych lub innych źródeł prądu stałego. W poprzednim odcinku wyjaśniliśmy, jak to urządzenie działa. W tym odcinku zawarto szczegóły montażu PCB, ogólne omówienie konstrukcji i testowania. Znalazło się także kilka wskazówek dotyczących użytkowania.

Ważne jest, aby sztuczne obciążenie mogło rozproszyć dużą moc, która w naszym przypadku może dochodzić do 300 W. Jest to możliwe dzięki zastosowaniu dwóch radiatorów wieżowych CPU, stosowanych zazwyczaj w komputerach stacjonarnych i czterech dużych MOSFET-ów w obudowie TO-247. Obciążeniem można sterować za pomocą wbudowanego wyświetlacza dotykowego, przeglądarki internetowej przez Wi-Fi lub za pomocą SCPI. Obsługa SCPI jest idealna do integracji z zestawem przyrządów testowych i pozwala na półautomatyczne lub w pełni zautomatyzowane testowanie.

Do zbudowania są trzy płytki PCB: jeden panel kontrolny zawierający układ ESP32 z Wi-Fi, wyświetlacz dotykowy i inne elementy sterujące użytkownika, główna płytka obciążenia z dwoma MOSFET-ami plus płytka z dwoma dodatkowymi tranzystorami.

Po zmontowaniu tych płytek można je połączyć, przetestować, a następnie umieścić w wentylowanej metalowej obudowie, o rozmiarze wystarczającym do zmieszczenia wszystkich elementów systemu. Co ważne, obudowa zapewnia również przyzwoitą wentylację dla bezpiecznego rozpraszania do 300 watów mocy.

Podczas konstruowania Sztucznego Obciążenia będziemy musieli przejść przez kilka etapów.

Płytka sterownika

Pierwszym krokiem jest zbudowanie i przetestowanie modułu sterowania z wyświetlaczem dotykowym, a następnie głównej płytki drukowanej obciążenia. Gdy oba elementy będą działać poprawnie, można przystąpić do budowy i testowania płytki dodatkowej (rozszerzającej obciążenie o dwa dodatkowe tranzystory MOSFET).

Aby zbudować płytkę sterownika z 3,5-calowym wyświetlaczem dotykowym, można postępować zgodnie z instrukcjami zawartymi w oryginalnych artykułach (maj i czerwiec 2021; siliconchip.com.au/Series/364). Należy pamiętać, że schemat montażowy przedstawiony w czerwcu 2021 r. był nieprawidłowy (został już poprawiony w wersji online (chodzi o oryginalny artykuł Silikon Chip – przypis redakcji). Zamiast tego lepiej skorzystać z **rysunku 9** w tym artykule.

Ponieważ płytka sterownika wymaga niewielkich zmian obwodu (opisanych w poprzednim odcinku), stworzyłem nową płytkę drukowaną o kodzie handlowym 18104212 (167,5 mm × 56 mm). Może być ona nadal używana do budowy oryginalnego programowalnego hybrydowego zasilacza laboratoryjnego z Wi-Fi lub może być łatwo dostosowana do tego projektu, w zależności od tego, które opcje połączeń są używane (wykonane przez lutowane połączenie blisko rozmieszczonych padów).

Montaż modułu sterującego jest prosty, ponieważ nie ma na nim zbyt wielu elementów (rysunek 9). Jeśli używasz zalecanej obudowy, zacznij od przecięcia płytki na trzy fragmenty wzdłuż przerywanych linii i przez prostokątne wycięcia, aby oddzielić przełączniki

Materiały dodatkowe dostępne są na stronie Silicon Chip: https://tiny.pl/4qvc2wgg

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



- Obsługuje napięcia do 150 V DC, prądy do 30 A i moc do 300 W
- Chłodzenie procesora komputera pozwala na pracę z efektywnym rozpraszaniem mocy przy umiarkowanym hałasie
- Tryby stałego napięcia (CV), stałego prądu (CC), stałej mocy (CP) i stałej rezystancji (CR)
- Tryby testu krokowego (kwadrat, rampa i trójkąt) ze zmiennymi czasami narastania/opadania
- Rejestrowanie danych
- Sterowanie za pomocą wyświetlacza dotykowego, USB lub Wi-Fi (przeglądarka internetowa), w tym za pomocą smartfona/tabletu
- Możliwość programowania SCPI przez Wi-Fi i izolowane USB
- Zachowuje ustawienia po wyłączeniu zasilania
- Zabezpieczenie nadnapięciowe, nadprądowe i przed odwrotną polaryzacją
- Przydatny do testowania zasilaczy, baterii i ogniw słonecznych

eprasa.pl 514c4ae447

i enkodery od sekcji wyświetlacza. Wygładź krawędzie i upewnij się, że nie utworzyłeś żadnych zwarć między wyciętymi ścieżkami.

Następnie zamontuj wszystkie elementy pasywne SMD na właściwych pozycjach. Na rysunku 9 „wycięliśmy kilka otworów" w module ESP32, aby można było zobaczyć, gdzie znajdują się komponenty, w tym dwa kondensatory 100 nF, które dodaliśmy zgodnie ze schematem z rysunku 8 z poprzedniej części.

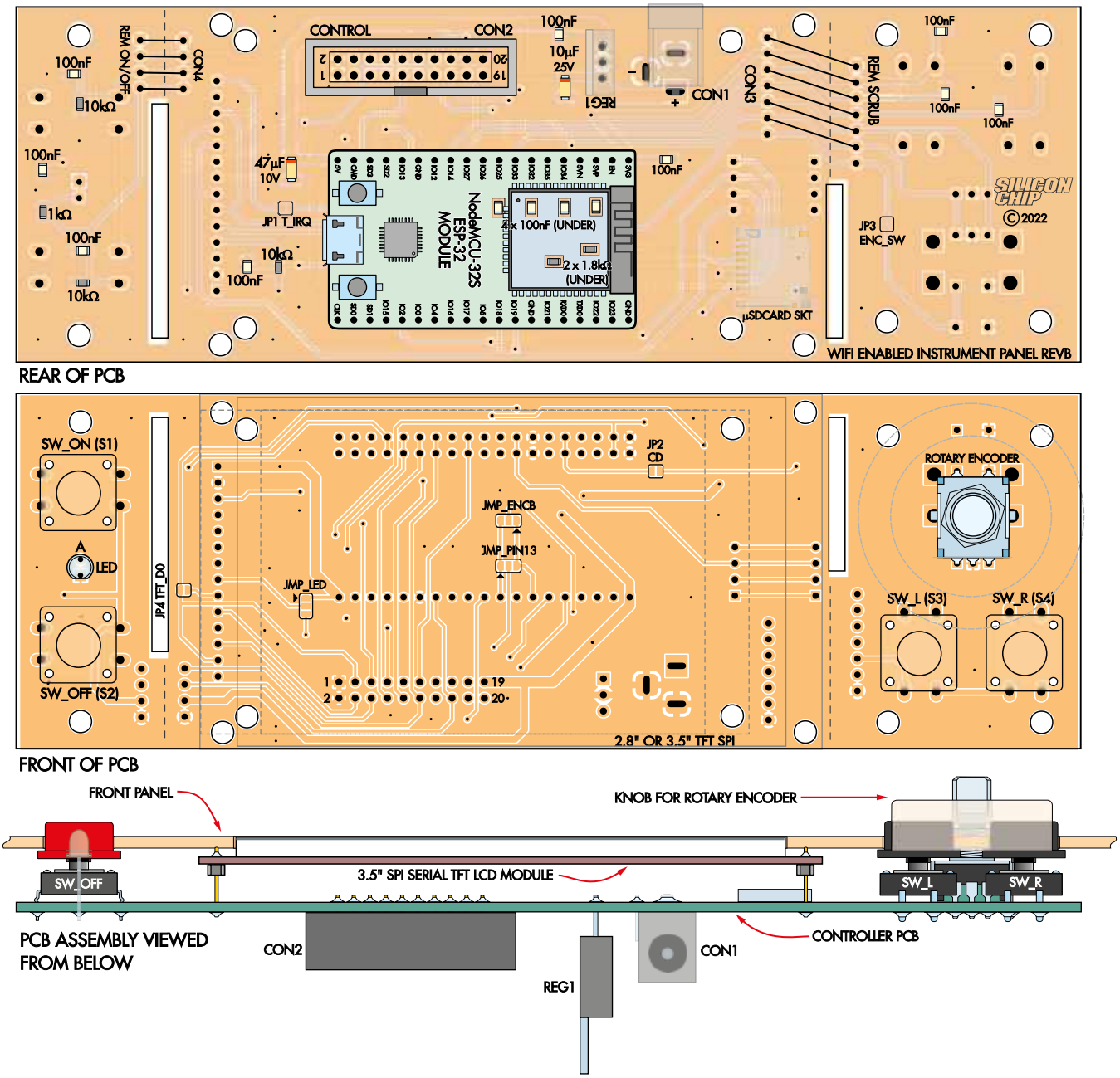
Kondensatory 10 µF i 47 µF są pokazane jako spolaryzowane „tantale", ale można użyć (i zalecamy) ceramicznych. Nie są one polaryzowane, więc ich orientacja nie ma znaczenia.

Następnym krokiem jest zmostkowanie odpowiednich par pól lutowniczych. Wszystkie cztery połączenia, oznaczone od LK1 do LK4, pozostaw otwarte (nie lutuj ich).

Pozostałe trzy zestawy punktów lutowniczych oznaczone jako JMP_LED, JMP_ENCB i JMP_PIN13 mają po trzy punkty i należy zmostkować punkt środkowy z jednym z punktów zewnętrznych, ale nie z obydwoma. Mają one małe strzałki, które pokazują punkt do mostkowania środkowego punktu dla oryginalnego projektu.

W tym projekcie należy połączyć parę punktów najbardziej oddalonych od strzałek w JMP_ENCB i JMP_PIN13. Istniejące mostki znajdujące się najbliżej strzałek będą musiały zostać wycięte.

Aby wymusić włączenie podświetlenia LED panelu LCD na pełną jasność, należy zewrzeć zworkę JMP_LED. Druga pozycja umożliwia sterowanie programowe, jednak w tym projekcie brakuje wolnych pinów w ESP32, dlatego najprościej będzie ustawić maksymalną jasność, zwierając wskazaną parę pól lutowniczych.



Rysunek 9. Zaktualizowana płytka sterownika ma na spodzie dodatkowe opcjonalne złącza (JMP_ENCB, JMP_PIN13 i JMP_LED), dzięki czemu może być używana do Hybrydowego Zasilacza laboratoryjnego Wi-Fi i Elektronicznego Obciążenia. W tej aplikacji potrzebne są dodatkowe punkty lutownicze komponentów do filtrowania napięć analogowych, których nie wymagał zasilacz laboratoryjny. Ten design modułu naprawia istotne błędy w pierwotnie opublikowanej wersji. Aby umożliwić stosowanie pokręteł o różnych rozmiarach dostępne są dwa opcjonalne footprinty dla enkodera obrotowego

eprasa.pl 514c4ae447



Płytkę sterującą można pociąć na trzy oddzielne fragmenty, a następnie połączyć taśmą. Jeśli używasz wystarczająco dużej obudowy, płytki nie muszą być cięte

Teraz zamontuj elementy przewlekane po jednej stronie płytki, w tym złącze CON2 (z pominięciem CON1 i REG1) oraz gniazda dla modułu ESP32. Przed przylutowaniem gniazd modułu ESP32, wsuń je najpierw w sam moduł, a następnie razem z nim umieść je w płytce drukowanej. Umożliwi to zachowanie właściwego odstępu – po jednej stronie dostępne są dwa rzędy pól lutowniczych.

Następnie zamontuj przełączniki, enkodery obrotowe i diodę LED po drugiej stronie płytki. Przylutuj diodę LED tak, aby górna część jej soczewki znajdowała się mniej więcej na poziomie górnej części przycisków przełączników dotykowych bez zaślepek.

Przylutuj 14-pinową i 4-pinową listwę goldpin po obu stronach modułu wyświetlacza dotykowego (jeśli nie zostały wcześniej przylutowane – zazwyczaj 14-pinowa listwa jest już zamontowana, a 4-pinowa nie). Włóż je w odpowiednie otwory na płytce drukowanej sterownika tak, aby piny minimalnie wystawały po drugiej stronie, a następnie przylutuj je, upewniając się, że powierzchnia wyświetlacza jest równoległa do płytki.

Gniazdo zasilania i gniazdo karty micro SD nie są nam w tym projekcie potrzebne. Zasilanie jest dostarczane do płytki przez pady CON1, oznaczone jako + i –.

Gdy trzy sekcje płytki sterownika są już zasadniczo kompletne, połącz je dwoma 10-centymetrowymi odcinkami przewodu taśmowego, jak pokazano na rysunku 9. Zintegrowany przełącznik enkodera nie jest używany w tym projekcie, a pin 26 GPIO jest używany do innego celu, więc należy połączyć tylko sześć dolnych pinów między główną płytką sterownika a panelem enkodera, jak pokazano na rysunku.

Chociaż na potrzeby tego projektu można zmodyfikować wcześniejszą płytkę drukowaną (o kodzie 18104211), nie ma to większego sensu, ponieważ nowa jest w tej samej cenie i znacznie ułatwia pracę. Jeśli jednak musisz, wytnij i przekieruj dwie ścieżki zgodnie z rysunkiem 8 z poprzedniego artykułu i przylutuj dwa kondensatory ceramiczne 100 nF.

Uruchomienie płytki sterownika

W pierwszym etapie wystarczy sam moduł ESP32 i kabel USB. Montaż modułu na płytce sterownika nastąpi później.

Zakładamy, że jesteś już zaznajomiony ze środowiskiem programistycznym Arduino. Jeśli nie masz jeszcze zainstalowanego Arduino IDE (zintegrowanego środowiska programistycznego), możesz je pobrać ze strony www.arduino.cc/en/software.

Jeśli jeszcze tego nie zrobiłeś, musisz dodać obsługę płytki ESP32. Przejdź do Plik → Preferencje i dodaj „https://dl.espressif.com/dl/package_esp32_index.json” do dodatkowych adresów URL Menedżera płytek. Następnie otwórz Menedżera płytek (Narzędzia → Board → Board Manager), wyszukaj ESP32 i kliknij „Zainstaluj”.

Spowoduje to skonfigurowanie środowiska programistycznego i dodanie do niego obszernej listy przykładowych programów. Ustaw płytkę na „ESP32 Dev Module” za pomocą menu (**ekran 1**). Resztę ustawień można pozostawić jako domyślne.

Podłącz moduł ESP32 i wybierz nowy port komunikacyjny, który pojawi się w menu. Aby sprawdzić, czy działa on poprawnie, otwórz przykład Communication → ASCII Table i załaduj go (CTRL + U w systemie Windows). Otwórz Serial Monitor, ustaw szybkość transmisji na 9600. Ekran wyświetlacza powinien wypełnić się po tym danymi wyjściowymi ASCII ze szkicu testowego.

Bezprzewodowe ładowanie oprogramowania

Do zademonstrowania innych możliwych zastosowań płytki sterownika, stworzyliśmy wersję aplikacji pogodowej Wi-Fi jako program demonstracyjny dla D1 Mini LCD BackPack (październik 2020; siliconchip.com.au/Article/14599). Jest to również dobry sposób na niezależne przetestowanie płytki sterownika.

Repozytorium GitHub dla tego projektu znajduje się pod adresem https://github.com/palmerr23/ESP32-DCLOAD.

Udostępniliśmy plik ZIP do pobrania ze strony siliconchip.com.au/Shop/6/6518, który zawiera dwie opcje wyświetlacza: 2,8-calowy lub 3,5-calowy wyświetlacz dotykowy. Wersja 2,8 cala kończy się na -28.BIN, podczas gdy druga wersja kończy się na -35.BIN. Załaduj go za pomocą procesu aktualizacji OTA opisanego poniżej. Aplikacja Pogoda ma wbudowaną funkcję OTA, aby uprościć ładowanie kodu kontrolera zasilania.

Programowanie ESP32 w trybie over-the-air jest procesem dwuetapowym. Najpierw ładujemy prosty szkic z aktualizatorem over-the-air (OTA) przez USB. Załaduj przykład ArduinoOTA (Plik → Przykłady → ArduinoOTA → OTAWebUpdater). Wprowadź dane uwierzytelniające Wi-Fi (SSID i hasło) w górnej części programu (**ekran 2**).

Otwórz Serial Monitor i zmień szybkość transmisji na 115200. Zapisz szkic Arduino, ponieważ będziemy go używać ponownie. Skompiluj i załaduj szkic, a następnie zanotuj adres IP wyświetlany w oknie Serial Monitor.

Przenieś folder Data i jego zawartość z pobranego pakietu do tego samego folderu, gdzie zapisany został plik OTAWebUpdater.ino. Edytuj dane logowania Wi-Fi w pliku profile.json. Zamknij Serial Monitor. W menu Tools kliknij ESP32 Sketch Data Upload, aby skopiować pliki z folderu Data do lokalnego systemu plików ESP32 (SPIFFS). Ten system plików pozostaje nienaruszony po przesłaniu nowych programów.

Teraz można odłączyć moduł ESP-32 i podłączyć go do płytki sterownika, upewniając się, że jego pin 5 V znajduje się najbliżej CON2, a pin 3,3 V w kierunku CON1 i REG1 (rysunek 9). Podłączenie go w niewłaściwy sposób może być katastrofalne w skutkach! Upewnij się, że wyświetlacz dotykowy TFT jest zamontowany na płytce sterownika.

Zasil ten zestaw za pomocą kabla USB lub (jeśli zamontowałeś CON1) źródła prądu stałego o napięciu około 9 V...12 V. Kabel USB nie musi być podłączony do komputera, choć może.

Otwórz przeglądarkę internetową na komputerze i wpisz adres IP ESP32. Powinien zostać wyświetlony ekran logowania (**ekran 3**). Nazwa użytkownika i hasło to „admin”. Można ich nie zmieniać, gdyż użyjemy tego szkicu tylko raz.

Po zalogowaniu wybierz pobrany plik oprogramowania za pomocą przycisku „Wybierz plik” (**ekran 4**), a następnie „Aktualizuj”.

eprasa.pl 514c4ae447



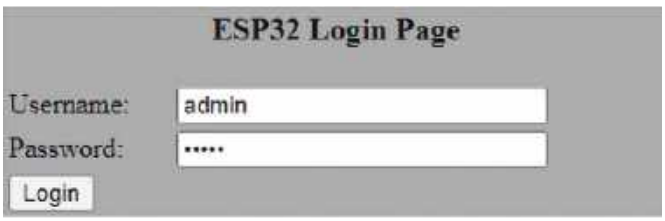
Ekran 1. Po wybraniu właściwej płytki w menu Arduino IDE Tools, ustawienia powinny mieć takie wartości, jak pokazano

```
#include <Wi-Fi.h>
#include <Wi-FiClient.h>
#include <WebServer.h>
#include <ESPmDNS.h>
#include <Update.h>

const char* host = "esp32";
const char* ssid = "YourSSID";
const char* password = "YourPassword";

WebServer server(80);
```

Ekran 2. Aby przesłać kod do ESP-32 przez Wi-Fi (aktualizacja OTA), musisz dodać swoje dane logowania do sieci w górnej części programu, jak pokazano tutaj. Nazwę hosta można pozostawić bez zmian lub zmienić zgodnie z własnymi wymaganiami



Ekran 3. Po wyświetleniu strony logowania ESP-32 użyj domyślnych poświadczeń „admin" i „admin". Nie ma potrzeby ich zmieniania, ponieważ są one używane tylko raz

Strona internetowa będzie śledzić postęp przesyłania; następnie, po krótkim opóźnieniu, ESP32 uruchomi się ponownie, uruchamiając aplikację pogodową (**ekran 5**).

Po sprawdzeniu, że płytka sterownika działa poprawnie, można załadować program elektronicznego obciążenia. Jest on częścią tego samego pakietu ZIP, który zawierał aplikację pogodową, i podobnie jak tamten, przyrostek -28.BIN lub -35.BIN wskazuje, dla jakiego rozmiaru wyświetlacza jest przeznaczony (ten projekt został zaprojektowany dla opcji 3,5 cala).

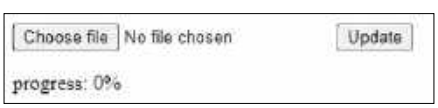
Podczas uruchamiania sterownik powinien wyświetlić komunikat o błędzie, ponieważ układy I²C ADC i DAC nie są jeszcze podłączone do płytki sterownika.

Obracanie i kalibracja wyświetlacza

Niektóre wyświetlacze TFT są dostarczane z ekranem dotykowym fabrycznie obróconym o 180° w stosunku do wyświetlacza. Jeśli wydaje się, że wyświetlacz dotykowy nie działa poprawnie, pewnie tu tkwi przyczyna. Spróbuj dotknąć wyświetlacza w pobliżu legendy SET w prawym górnym rogu.

Jeśli zaświeci się przycisk ST lub NOR, naciśnij przycisk ROT na środku ekranu (**ekran 6**). Liczba pod nim powinna zmienić się z 3 na 1. Poczekaj, aż żółty wskaźnik [E] zgaśnie (po około 30 sekundach), a nowa wartość zostanie trwale zapisana w pamięci EEPROM ESP32.

Dokładne wyrównanie ekranu dotykowego z wyświetlaczem wymaga naciśnięcia przycisku TCH w lewym dolnym rogu ekranu kalibracji. Postępuj zgodnie z instrukcjami, dotykając każdego z dwóch symboli + sześć razy. Podobnie jak powyżej, wartości zostaną trwale zapisane po 30 sekundach.

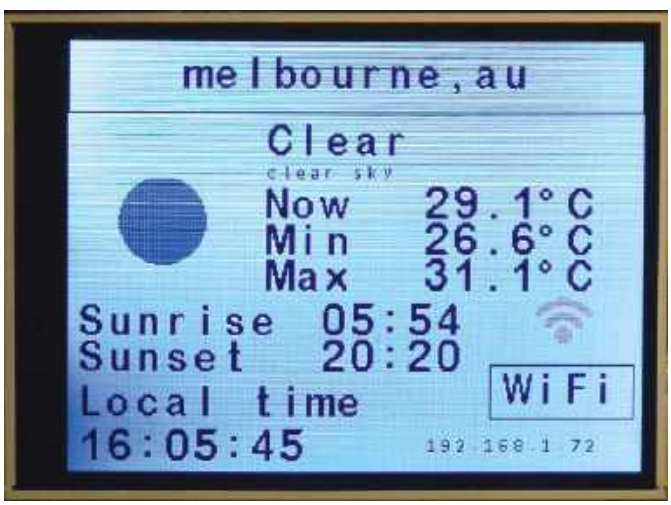


Ekran 4. Po zalogowaniu się na stronie OTA można wybrać plik, a następnie przesłać go zdalnie do pamięci Flash ESP-32 za pomocą przycisków „Choose file" i „Update"

Budowa płytki głównej Obciążenia

Główna płytka PCB jest oznaczona kodem 04108221 i ma wymiary 107 mm × 81,5 mm (**rysunek 10**). Zamontuj wszystkie elementy na tej płytce drukowanej poza MOSFET-ami Q1 i Q2 oraz stabilizatorem 5 V REG1. Zacznij od pięciu układów scalonych SMD, zwracając szczególną uwagę na ich kierunek montażu, jak pokazano na rysunku 10, a następnie postępuj analogicznie ze wszystkimi elementami w obudowie SOT-23 oraz rezystorami i kondensatorami montowanymi powierzchniowo.

Po zmontowaniu wszystkich układów SMD, dobrze wyczyść płytkę, aby usunąć wszelkie pozostałości topnika, a następnie sprawdź wszystkie połączenia lutowane, zwłaszcza te na układach scalonych o drobnym rastrze. Jeśli znajdziesz jakieś podejrzanie wyglądające połączenia, dodaj trochę topnika i krótko dotknij je grotem lutownicy tak, aby ponownie się rozpłynęły. Jeśli znajdziesz mostki między pinami na układzie scalonym, użyj topnika



Ekran 5. Jeśli moduł został prawidłowo zmontowany i zaprogramowany, po połączeniu się z siecią Wi-Fi powinien podawać lokalne dane pogodowe

eprasa.pl 514c4ae447



Ekran 6. Na ekranie startowym naciśnięcie przycisku SET w prawym górnym rogu powoduje przejście do ekranu kalibracji. Naciśnięcie przycisku ROT na środku tego ekranu dostosuje kierunek wyświetlacza, jeśli dotykowe elementy sterujące są odwrócone

i plecionki lutowniczej, aby usunąć nadmiar lutowia.

Teraz wlutuj dwa większe rezystory przewlekane i dwa mniejsze, które należy zamontować pionowo. Następnie należy przylutować osiową cewkę L1, również pionowo oraz jedyny kondensator przewlekany, foliowy 1 µF.

Teraz jest dobry moment na przylutowanie przewodu pokazanego na niebiesko na rysunku 10. Użyj krótkiego przewodu o średniej lub dużej obciążalności, ponieważ przewodzi on prąd dla jednego z dwóch MOSFET-ów. Podobnie, dodaj przewód pokazany na czerwono między środkowym pinem dwóch MOSFET-ów. Nie musisz go zapętlać w sposób pokazany na naszym schemacie. Zrób to tak krótko, jak to możliwe, ale omiń pady lutownicze MOSFET-ów.

Następnie dopasuj złącza. Jest tu kilka opcji. Wymagane są złącza CON1 i CON2, a ich wycięcia muszą być zorientowane tak, jak pokazano.

Jeśli zgodnie z zaleceniami będziesz używać 4-końcówkowych wentylatorów PWM, zamontuj CON9 i CON10 z wypustkami blokującymi skierowanymi jak pokazano. W przeciwnym razie zamontuj CON11 i CON12, dla wentylatorów 2- lub 3-końcówkowych.

Termistor NTC można przylutować bezpośrednio do wyprowadzeń CON15 lub użyć spolaryzowanego złącza, jak pokazano na rysunku. Tak czy inaczej, nie podłączaj jeszcze termistora.

Zalecamy użycie odpowiednich złączy na pozycjach CON13, CON14 i CON16 dla wygody, ale lutowanie przewodów do padów PCB (np. długości przewodu taśmowego) jest również możliwe.

Pierwsze testy

Będziesz musiał wykonać dwa kable taśmowe do testowania, jak pokazano na **rysunku 11**. Nie są one przeznaczone tylko do testowania, będą używane w końcowym montażu.

Podłącz główną płytkę drukowaną Obciążenia do płytki sterownika za pomocą 20-żyłowej taśmy, a ESP32 do komputera lub zasilacza 5 V/1 A przez USB. Na tym etapie nie należy podłączać zasilania 12 V.

Oprogramowanie powinno być już załadowane, ale tym razem na ekranie sterowania nie powinny pojawiać się żadne komunikaty ostrzegawcze związane ze sprzętem. Odczyty napięcia i natężenia prądu na wyświetlaczu powinny być początkowo bliskie zeru i powinny wyzerować się po kilku sekundach.

Odczyt temperatury na ekranie sterowania powinien być mniej więcej zbieżny z temperaturą w pomieszczeniu. Jeśli chwycisz termistor palcami, temperatura powinna się zmienić.

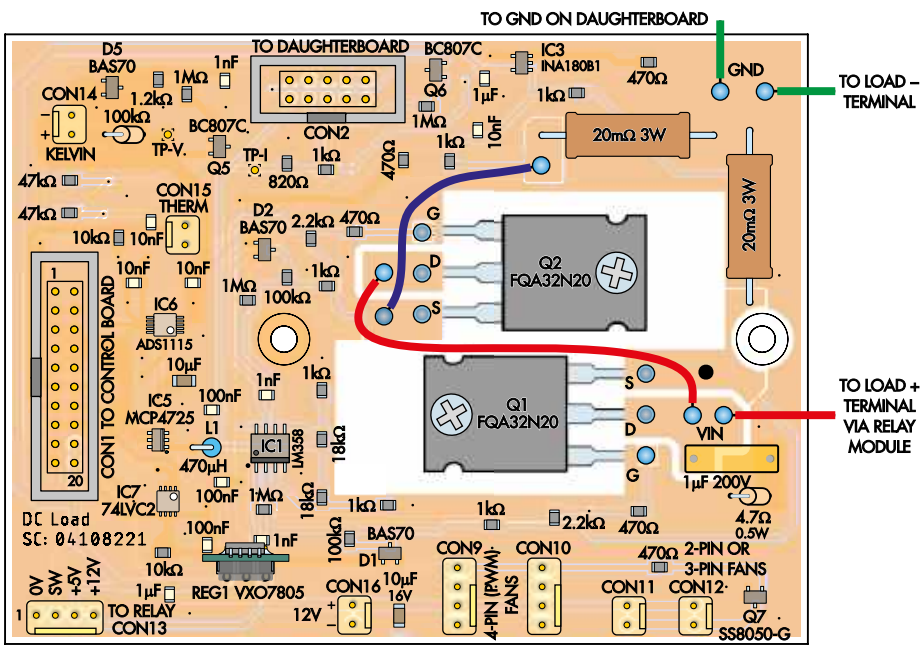
Jeśli masz program monitora szeregowego (terminal), taki jak Arduino IDE Serial Monitor, ustaw szybkość transmisji na 115200 i podłącz kontroler ESP32 do komputera (lub uruchom go ponownie, jeśli był już podłączony). Wyjście monitora szeregowego powinno wskazywać, że zarejestrowane są dwa urządzenia I²C, ADC pod adresem 0x48 i DAC pod adresem 0x60...0x67.

Układy MCP4725 są programowane przy produkcji z jednym z czterech różnych adresów bazowych I²C. Można użyć dowolnego wariantu, ponieważ kontroler wyszukuje urządzenia I²C w odpowiednim zakresie adresów.

Jeśli żaden z układów I²C nie został zarejestrowany, sprawdź, czy na liniach SDA i SCL nie ma przerw lub zwarć. Sprawdź, czy dwa rezystory podciągające I²C są zamontowane na płytce sterownika. Jeśli wyświetlany jest tylko jeden układ, sprawdź, czy na drugim nie występują problemy z lutowaniem – w szczególności na wyprowadzeniach SDA, SCL, masy i zasilania.

Konfiguracja sieci Wi-Fi

Po zaprogramowaniu płytki sterownika, po włączeniu zasilania powinno pojawić się menu sterowania z zielonym tłem (**ekran 7**). Program spróbuje połączyć się z lokalną siecią Wi-Fi LAN i jeśli nie podano jeszcze danych uwierzytelniających poprzez edycję pliku profile.json wyłączy się po 10 sekundach.



Rysunek 10. Zmontuj główną płytkę obciążenia, jak pokazano na tym rysunku. Większość elementów to układy SMD. Zacznij od układów scalonych, a następnie zamontuj elementy pasywne, tranzystory i inne części. Główne decyzje, które należy podjąć podczas montażu, dotyczą tego, czy pozostawić niektóre złącza niezamontowane i zamiast tego przylutować przewody bezpośrednio do płytki. Początkowo zaoszczędzi to czas, ale sprawi, że testowanie i demontaż będą bardziej uciążliwe

eprasa.pl 514c4ae447

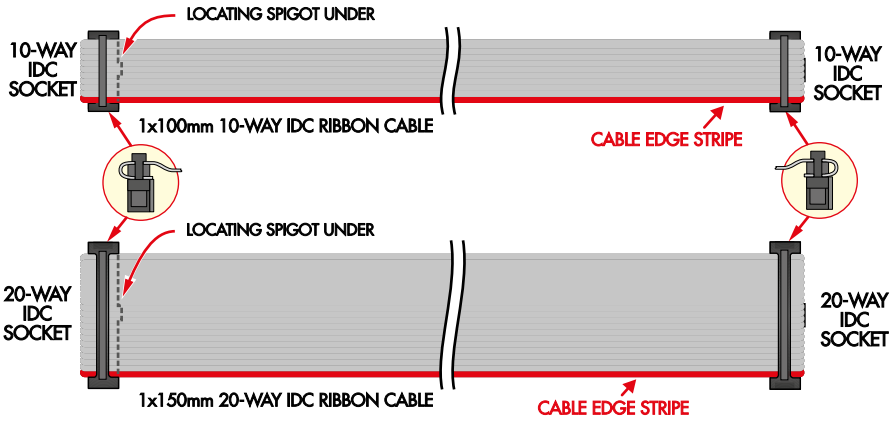
Jeśli nie zostanie znaleziona żadna sieć, powinno nastąpić kolejne 10-sekundowe opóźnienie podczas wyszukiwania istniejącej sieci ESPINST. Na koniec powinien stać się punktem dostępu dla sieci ESPINST. W tym momencie zielone tło powinno zniknąć, pozostawiając wyświetlone menu główne. Małe zielone „W" w prawym górnym rogu wskazuje, że Wi-Fi działa.

Stabilność modułu ESP32

Niektóre moduły ESP32 mają zbyt czułe detektory zaniku napięcia, co powoduje wielokrotne restarty, szczególnie po podłączeniu przez koncentrator USB. W większości przypadków można temu zaradzić zasilając moduł ESP32 z niezależnego źródła 5 V. Jeśli problem nie ustąpi, spróbuj dodać kondensator elektrolityczny 47 µF pomiędzy szynę zasilania 3,3 V modułu i jego masę, jak pokazano na **rysunku 12**.

Zdecydowanie zalecam stosowanie każdorazowo izolatora USB podczas testowania lub obsługi obciążenia. W przeciwnym razie przyłożenie napięcia o odwrotnej polaryzacji lub inne warunki błędu mogą zniszczyć zarówno ESP32, jak i komputer, tworząc wysokoprądową pętlę masy.

Izolatory USB są dostępne od ręki w stosunkowo niskiej cenie na stronach internetowych takich jak Amazon, eBay i AliExpress. Na przykład www.ebay.com.au/itm/313938468819.



Rysunek 11. Dwa niezbędne przewody taśmowe są proste do wykonania, ponieważ mają tylko jedno złącze IDC na każdym końcu. Upewnij się, że zaciskasz je wystarczająco mocno, aby wszystkie ostrza przeszły izolację przewodu taśmowego i utworzyły dobry kontakt z miedzianym przewodami wewnątrz, ale nie na tyle mocno, by złamać plastik! Należy pamiętać, że niektóre złącza IDC nie mają górnych elementów blokujących

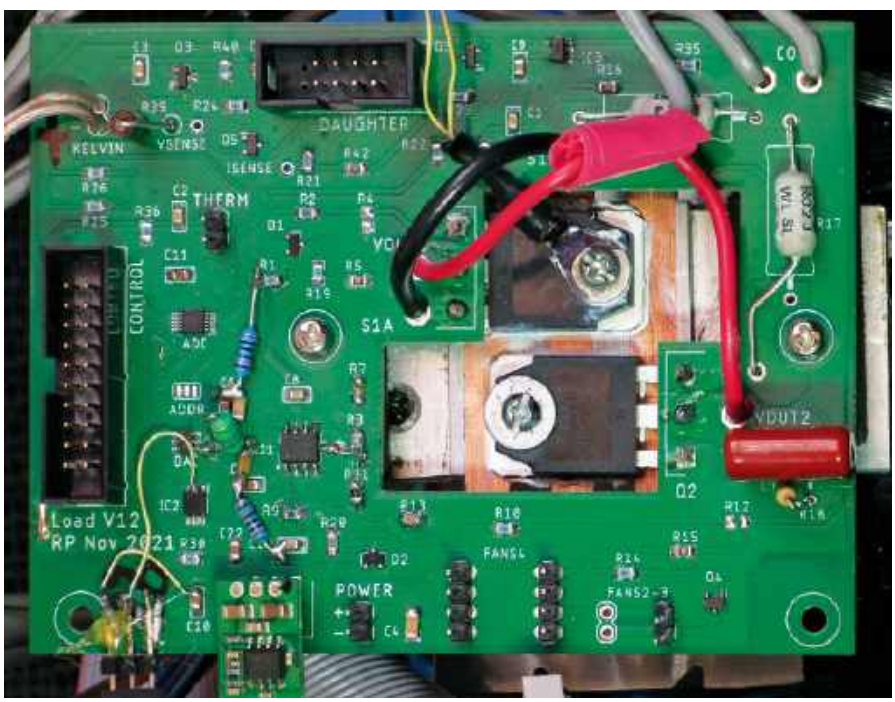
Finalizacja montażu płyty

Teraz zamontuj stabilizator 5 V (REG1) na głównej płycie Obciążenia, uważając na jego kierunek montażu, i podłącz wentylator(y) radiatora do ich złączy. Podłącz napięcie 12 V do CON16 ze wskazaną polaryzacją, a wentylator(y) powinien (powinny) przez chwilę pracować z pełną prędkością, a następnie zredukować ją do biegu jałowego. Prędkość wentylatora powinna zacząć rosnąć, gdy temperatura termistora przekroczy 28°C. Do podniesienia temperatury termistora możesz użyć suszarki do włosów.

Powyżej 35°C wentylatory powinny pracować z pełną prędkością. Przy odczycie 65°C na wyświetlaczu powinien pojawić się komunikat ostrzegający o przekroczeniu temperatury.

Jest to dogodny punkt do kalibracji termistora, zanim zostanie on przymocowany do obudowy MOSFET-a. Postępuj zgodnie z instrukcjami zawartymi w podręczniku użytkownika PDF, będącym częścią pakietu oprogramowania dla tego projektu, dostępnego na stronie siliconchip.com.au/Shop/6/6518.

Napięcie na zaciskach bramki MOSFET-a (oznaczonych jako „G"



To zdjęcie przedstawia jedną z opcji montażu MOSFET-ów. Otwory montażowe można wywiercić między rurkami cieplnymi, jeśli jest miejsce lub tuż poza nimi. Obie metody są poprawne. Należy pamiętać, że jest to prototypowa płytka drukowana

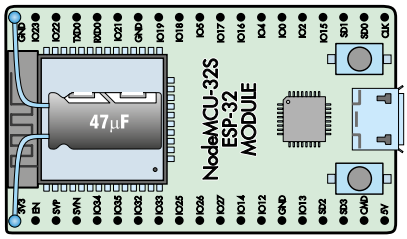


Ekran 7. Po zaprogramowaniu płytki sterownika, po pierwszym włączeniu zasilania powinien zostać wyświetlony powyższy ekran. Jest to program próbujący połączyć się z lokalnym adresem Wi-Fi LAN



Blok montażowy chłodzenia CPU do PCB o grubości 9 mm wykonany z płyty MDF

eprasa.pl 514c4ae447



Rysunek 12. Kondensator elektrolityczny 47 µF między pinami 3,3 V i masy w module ESP32 może pomóc w przypadku powtarzających się restartów „wyzwalanych przez detektor brownout”. Wyprowadzenia kondensatora powinny zostać zaizolowane

na rysunku 10) powinno być bliskie 0 V, gdy którakolwiek z poniższych sytuacji jest prawdziwa: wyjście jest wyłączone, wartość zadana prądu wynosi 0,0 A, a obciążenie jest włączone (podłączone) lub temperatura termistora przekracza 65°C.

Ustaw wartości zadane napięcia i prądu na dowolną wartość większą niż 1,0, a obciążenie ustaw jako „włączone”. Oba zaciski bramki powinny wzrosnąć do 8 V...9 V.

Teraz podłącz okablowanie sterowania przekaźnikiem do CON13, używając odpowiedniego pinu (+5 V lub +12 V) dla napięcia cewki przekaźnika. Przekaźnik powinien załączyć się, gdy obciążenie jest podłączone i wyłączać się po naciśnięciu przycisku Off.

Tymczasowo podłącz KELVIN+ na CON14 do VIN i KELVIN– do GND. Tymczasowo połącz zasilanie 12 V z VIN. Odczyt napięcia na panelu sterowania powinien być zbliżony do 12 V, gdy wyjście jest włączone.

Podstawowe operacje zostały zweryfikowane na tym etapie i możemy dodać komponenty zasilania.

MOSFET-y i testowanie mocy

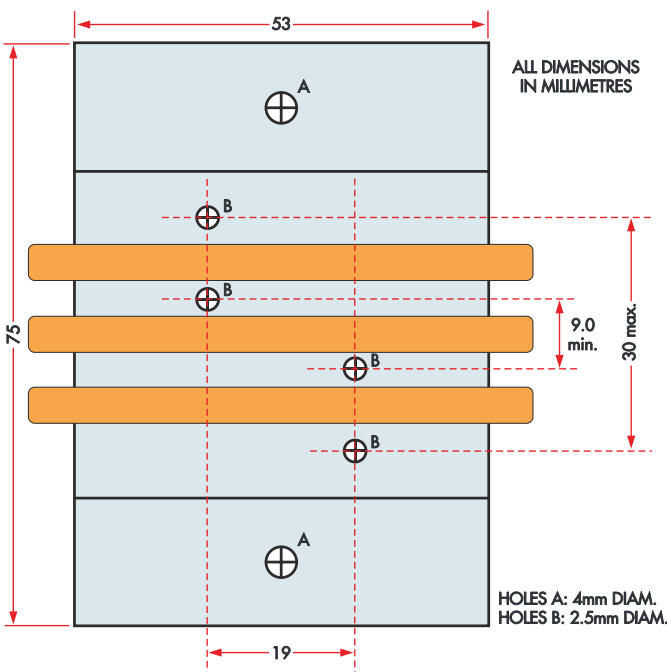
Zaznacz otwory montażowe MOSFET-ów na radiatorze procesora, jak pokazano na **rysunku 13**. Wywierć i nagwintuj otwory montażowe do 3 mm lub 1/8 cala (3,175 mm). Wywierć otwory pomiędzy lub na zewnątrz rurek cieplnych, w zależności od używanego chłodzenia aktywnego CPU. W przypadku modelu Hyper 103 możliwe jest zastosowanie obu opcji, ale użycie otworów zewnętrznych zapewnia większy prześwit.

W zależności od wybranego aktywnego chłodzenia CPU, otwory mogą znajdować się pomiędzy rurkami cieplnymi lub poza grupą rurek cieplnych. Biorąc pod uwagę wymiary PCB, maksymalny odstęp między otworami wynosi 30 mm, pozostaw wystarczającą długość wyprowadzeń do wlutowania MOSFET-ów w pozycjach zewnętrznych. Porównaj odpowiednie zdjęcia, które pokazują różnicę między dwiema różnymi opcjami montażu.

Minimalna różnica w położeniu osi Y dwóch otworów po obu stronach wynosi 9 mm, gdy wyprowadzenia MOSFET-ów są wygięte jak najbliżej obudowy.

Zamontuj MOSFET-y na radiatorze z użyciem pasty termicznej, ale bez podkładek izolacyjnych. Wytnij bloki montażowe o grubości 9 mm z płyty MDF lub podobnej i włóż je między radiator procesora a płytkę drukowaną. Bloki, zamiast dystansów, są używane dla lepszej stabilności bocznej. Zegnij wyprowadzenia MOSFET-a i przylutuj je do płytki drukowanej.

Zamontuj termistor na obudowie jednego z MOSFET-ów. Teraz można wykonać połączenia elektryczne zgodnie ze schematem okablowania (**rysunek 14**). Należy pamiętać o zastosowaniu przewodów o średnicach odpowiednich dla dużych prądów dla połączeń prądowych między dwiema płytkami PCB obciążenia, modułem przekaźnika i zaciskami wyjściowymi.



Rysunek 13. Schemat wiercenia otworów pod radiator. Wywierć otwory pomiędzy lub na zewnątrz rurek cieplnych, w zależności od używanego radiatora. W przypadku Hyper 103 pozycja zewnętrzna zapewnia większy prześwit

Kolejne testy

Podłącz zasilanie niskonapięciowe do VIN i COM (możesz na potrzeby tego testu podłączyć zasilanie 12 V doprowadzone do płytki PCB na styk VIN). Ustaw napięcie docelowe na kilka woltów powyżej napięcia zasilania, ustaw prąd docelowy na 50 mA i naciśnij przycisk On. Prąd na panelu sterowania powinien wynosić 50 mA.

Zwiększ wartość prądu do 500 mA i zmierz napięcie na każdym z dwóch rezystorów bocznikujących. Każdy odczyt powinien być zbliżony do 10 mV i powinien mieścić się w zakresie 10% względem siebie, jeśli obciążenie jest prawidłowo zrównoważone.

Jeśli używasz zasilacza, który może dostarczać wyższe prądy, zwiększ ustawiony prąd do kilku amperów i sprawdź, czy napięcia na dwóch rezystorach bocznikowych pozostają zrównoważone.

Teraz zbuduj i podłącz płytkę dodatkową (PCB o kodzie 04108222). Płytka ma wymiary 81,5 mm × 66,5 mm (**rysunek 15**). Jest to w zasadzie okrojona wersja płytki głównej, więc użyj tej samej procedury i tak jak poprzednio, początkowo pomiń MOSFET-y. Podobnie jak w przypadku płytki głównej, wymaga ona również dwóch wytrzymałych połączeń kablowych, jak pokazano na rysunku.

Podłącz płytę dodatkową do przekaźnika i zacisku ujemnego za pomocą oddzielnych przewodów, aby zrównoważyć prądy między płytkami, jak pokazano na schemacie okablowania (rysunek 14). Należy zwrócić uwagę na krótki, ale gruby przewód uziemiający (zielony) łączący płytę główną z płytą dodatkową w punktach GND na każdej z nich.

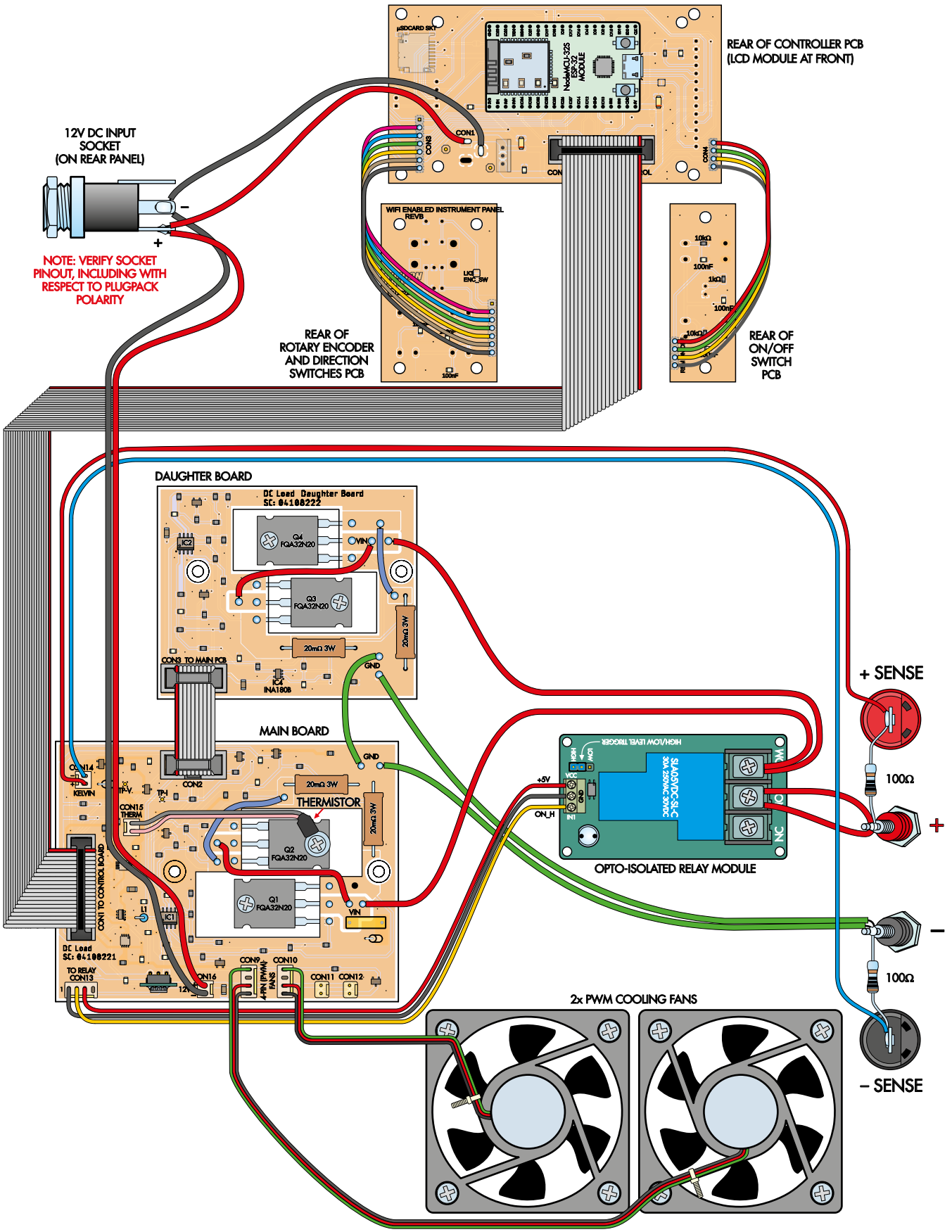
Można teraz zamontować MOSFET-y na płycie głównej i ponownie przetestować obciążenie.

Montaż w obudowie

Radiatory CPU, które obsługują płytki PCB Obciążenia, są zamontowane na płycie przymocowanej do bocznych szyn obudowy, jak widać na zdjęciach, przy użyciu niestandardowej płyty bocznej o wymiarach pokazanych na **rysunku 16**.

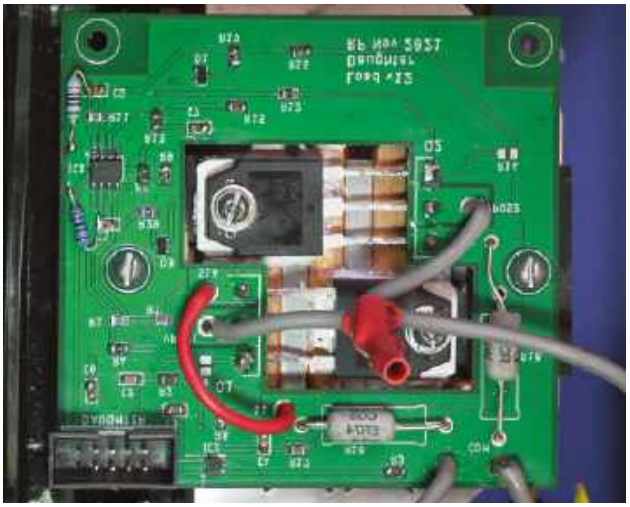
Radiatory należy zamontować jak najdalej z tyłu obudowy. Zapewni to wystarczającą ilość miejsca na komponenty panelu sterowania i przekaźnik z przodu obudowy.

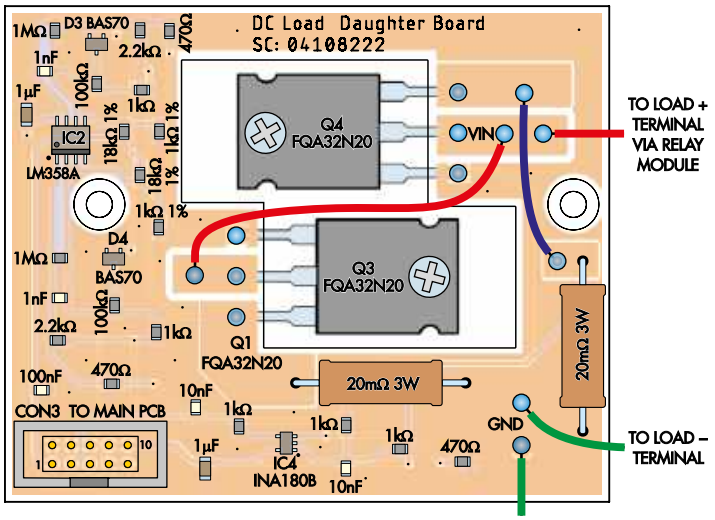
eprasa.pl 514c4ae447



Rysunek 14. Prowadzenie oddzielnych przewodów między każdą płytką a przednimi zaciskami pomaga rozłożyć obciążenie prądowe. Zrealizuj połączenie masy między płytkami za pomocą krótkiego, grubego przewodu. Zminimalizuje to różnice potencjałów masy. Przewód od przekaźnika do dodatniego zacisku obciążenia wykonaj podwójnie zwiększając jego wydajność prądową

eprasa.pl 514c4ae447





Rysunek 15. Płyta dodatkowa ma dwa moduły zasilania i układ scalony monitora prądu, identyczne z tymi na płycie głównej. Sygnały sterujące oraz z czujników są przesyłane do płyty głównej tasiemką. Należy zauważyć, że układ płyty głównej uległ znacznym zmianom od czasu wykonania zdjęcia

Należy uważać, aby żeberka radiatora procesora znajdowały się z dala od metalowej obudowy i okablowania, ponieważ będą one pracować z pełnym potencjałem wejściowym. Może być konieczne odwrócenie wentylatorów na radiatorach, tak aby zasysały powietrze przez żebra i wydmuchiwały je z boku obudowy.

Wszystkie śruby montażowe na panelu nośnym powinny być z łbem stożkowym, aby uniknąć kolizji z obudową. W prototypie wykorzystano płytę Perspex o grubości 3 mm, z zagięciami u góry i u dołu w celu zwiększenia sztywności. Można go wyciąć samodzielnie lub możemy dostarczyć laserowo przycięte z przezroczystego akrylu o grubości 3 mm (ale bez zagięć). Alternatywnie można użyć metalu lub cienkiej sklejki.

Płyta nośna jest montowana po wewnętrznej stronie bocznych szyn obudowy, a otwory montażowe wentylatora znajdują się 30 mm nad podstawą obudowy. Zapewnia to przepływ powietrza pod radiatorem i miejsce na komponenty na płytkach drukowanych.

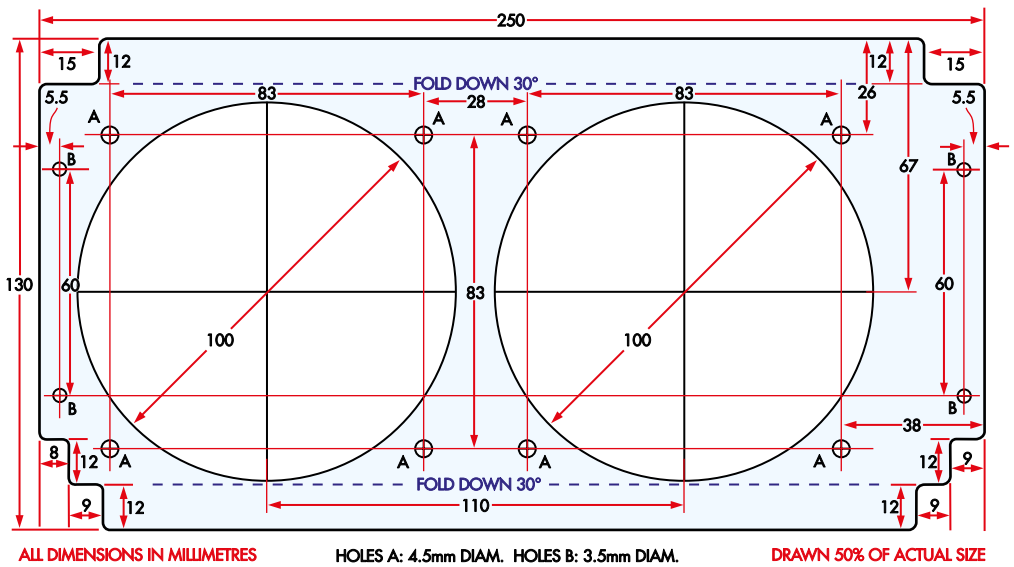
Dodatkową wentylację zapewnia wycięcie otworu w tylnym panelu w celu zamontowania osłony wentylatora 120 mm oraz wykonanie znacznie większego otworu w panelu po stronie chłodzenia procesora, przykrytego dwiema plastikowymi osłonami wentylatora 120 mm. Siatka 100 mm × 100 mm z otworami 61 mm × 7 mm w dolnym panelu w kierunku przodu obudowy zwiększa przepływ powietrza do przedniego chłodzenia procesora (**rysunek 17**).

Aby zapewnić dobry przepływ powietrza, najlepiej usunąć wszelkie materiały filtrujące z osłon wentylatora.

Gdy panel podtrzymujący radiator jest już na miejscu, zaznacz dwa wycięcia na osłonę wentylatora i otwory montażowe na panelu bocznym. Powinny być one umieszczone obok siebie, zakrywając istniejące otwory w tulei. Po wykonaniu wycięć i otworów w tulei, wsuń tuleję na miejsce i zaznacz otwory na śruby na panelu chłodzenia procesora.

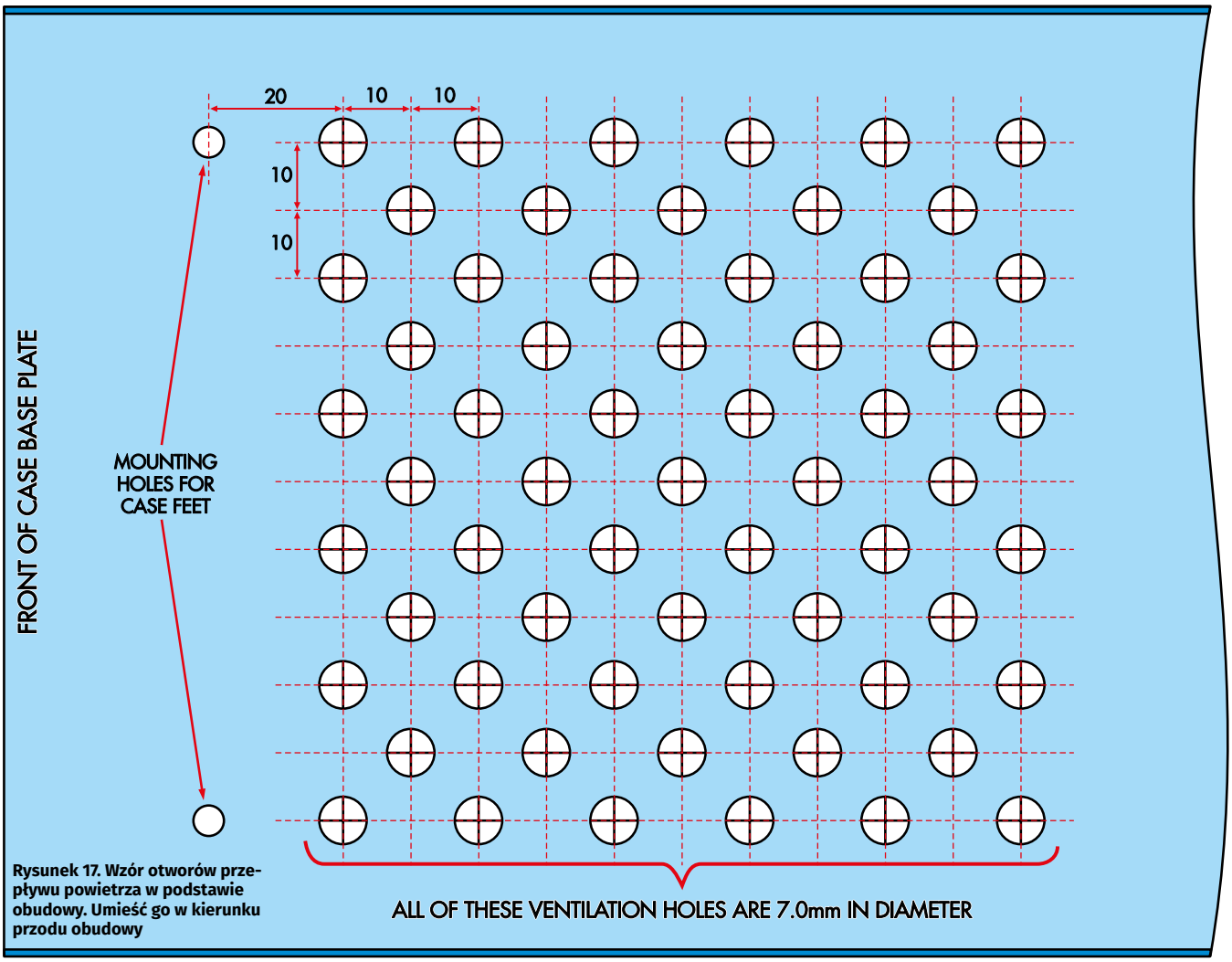
Potrzebne będą otwory w panelu wspornika procesora, aby śruby mocujące osłonę wentylatora nie zakleszczały się na nim. Wywierć otwory odciążające dla śrub i nakrętek lub śrub samogwintujących, o kilka milimetrów większe niż ich średnica. Zamontuj trzecią osłonę wentylatora w górnej części tylnego panelu, a koncentryczne gniazdo zasilania w dolnym rogu najbardziej oddalonym od panelu chłodzenia procesora.

Moduł przekaźnika montuje się do podstawy obudowy, z przodu i po przeciwnej stronie do płyty wsporczej chłodzenia procesora. Upewnij się, że zapewniony jest odpowiedni prześwit dla żeberek chłodzenia procesora. W przypadku mojego modułu przekaźnika, jedna ze śrub montażowych



Rysunek 16. Płyta montażowa chłodzenia procesora jest przymocowana do bocznych szyn obudowy. Chłodzenia należy zamontować z tyłu obudowy, aby zapewnić miejsce na panel sterowania z przodu. Wszystkie otwory powinny być pogłębione w celu zapobieżenia zakleszczeniu się łbów śrub w metalowej tulei obudowy. Można zaznaczyć dodatkowe otwory na śruby osłony wentylatora, gdy tuleja pokrywy jest założona.
Otwory montażowe wentylatora mają średnicę 4,5 mm, a otwory montażowe obudowy 3 mm

eprasa.pl 514c4ae447



Rysunek 17. Wzór otworów przepływu powietrza w podstawie obudowy. Umieść go w kierunku przodu obudowy

znajdowała się niewygodnie blisko ścieżek prowadzących do styków, więc w tym rogu użyłem nylonowego dystansu i śruby.

Panel przedni

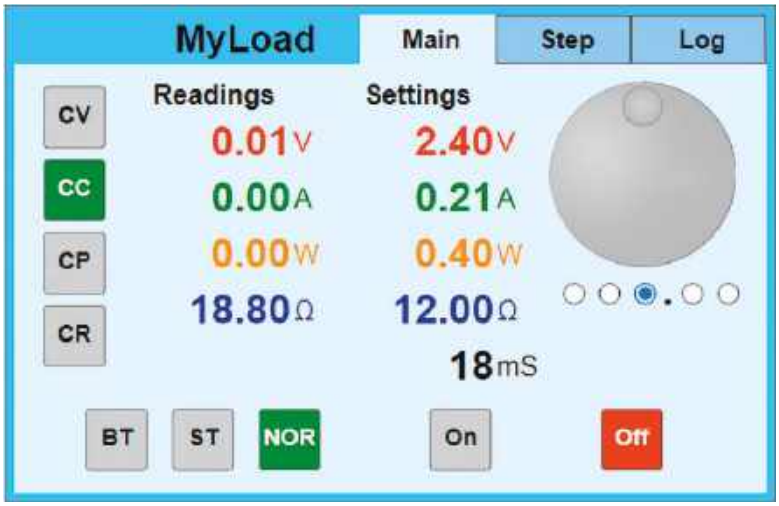
Elementy panelu przedniego montuje się na metalowej płycie czołowej dostarczonej wraz z obudową. Czarny akrylowy panel pokrywy o grubości 2 mm lub naklejka wykańcza powierzchnię czołową. Zobacz schemat cięcia (**rysunek 18**). Możesz zaoszczędzić sporo wysiłku kupując laserowo wycięty i wytrawiony panel akrylowy. Możesz też dodać etykiety do tego panelu lub wypełnić wytrawione obszary białą farbą.

Wywierć i wytnij otwory w metalowym panelu pokazane czerwonymi lub czarnymi konturami na rysunku 18. Otwory montażowe dla panelu TFT i modułów przełączników powinny pokrywać się z elementami na płytce sterownika i powinny być wywiercone do 2,5 mm, a następnie pogłębione tak, aby łby śrub znajdowały się z dala od panelu pokrywy lub naklejki. Pogłębienie

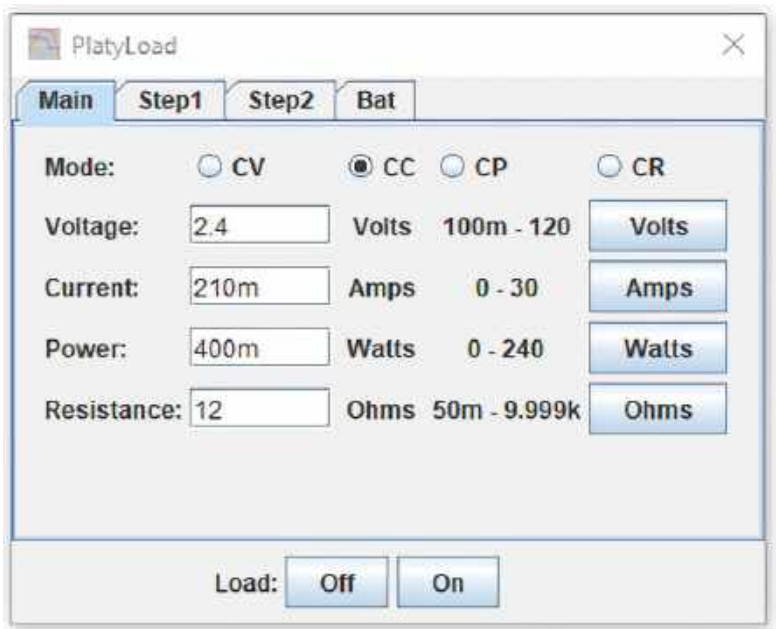


Zdjęcie pokazuje, w jaki sposób płytki PCB należy zamontować na chłodzeniach procesora, chłodzenia należy zamontować do niestandardowego panelu bocznego za pośrednictwem wentylatorów, a panel boczny jest montowany do szyn obudowy

eprasa.pl 514c4ae447



Ekran 8. Główna karta interfejsu sterowania przeglądarki internetowej



Ekran 9. Wyskakujące okienko urządzenia Load's TestController



Ekran 10. Ekran główny wyświetlany w Obciążeniu

rozszerzy otwory, następnie można je wywiercić do 3,5 mm.

Otwór oznaczony literą C jest przeznaczony dla diody LED, a otwory oznaczone literą B są przeznaczone dla śrub montażowych komponentów.

Wyświetlacz dotykowy jest montowany bezpośrednio z tyłu metalowego panelu. Klawisze powinny wystawać o kilka milimetrów, dlatego w przypadku paneli przełączników i enkodera potrzebne są elementy dystansowe. Odstępy wynoszą 6 mm, jeśli używana jest pokrywa Perspex 2 mm lub 8 mm w przypadku naklejki.

„Skrzydełka" na wycięciu panelu dotykowego zapewniają prześwit dla pinów złącza TFT, które należy spiłować lub przyciąć w module TFT, żeby nie dotykały panelu pokrywy lub naklejki.

Jeśli używany jest panel pokrywy Perspex, wydrukowana papierowa etykieta znajduje się za przezroczystym kawałkiem Perspex. Chroni to przed uszkodzeniem łbem śruby.

Po zakończeniu montażu wszystkich elementów na panelu przednim, obciążenie powinno być gotowe do kalibracji.

Kalibracja

Do kalibracji wymagany jest zasilacz zdolny do dostarczenia napięcia wyższego od 12 V przy prądzie 1 A. Wyższe napięcie i wydajność prądowa umożliwią dokładniejszą kalibrację.

Ustaw napięcie Obciążenia o co najmniej 5 V wyższe niż napięcie zasilania. Unikniesz w ten sposób ograniczenia napięcia Obciążenia. Podłącz dokładny amperomierz szeregowo z Obciążeniem, ustaw żądany prąd testowy i włącz Obciążenie. Postępuj zgodnie z instrukcjami kalibracji prądu w instrukcji obsługi Obciążenia. Powtórz czynność z woltomierzem na Obciążeniu w celu kalibracji napięcia.

Skalibruj również termistor, jeśli nie zrobiłeś tego wcześniej.

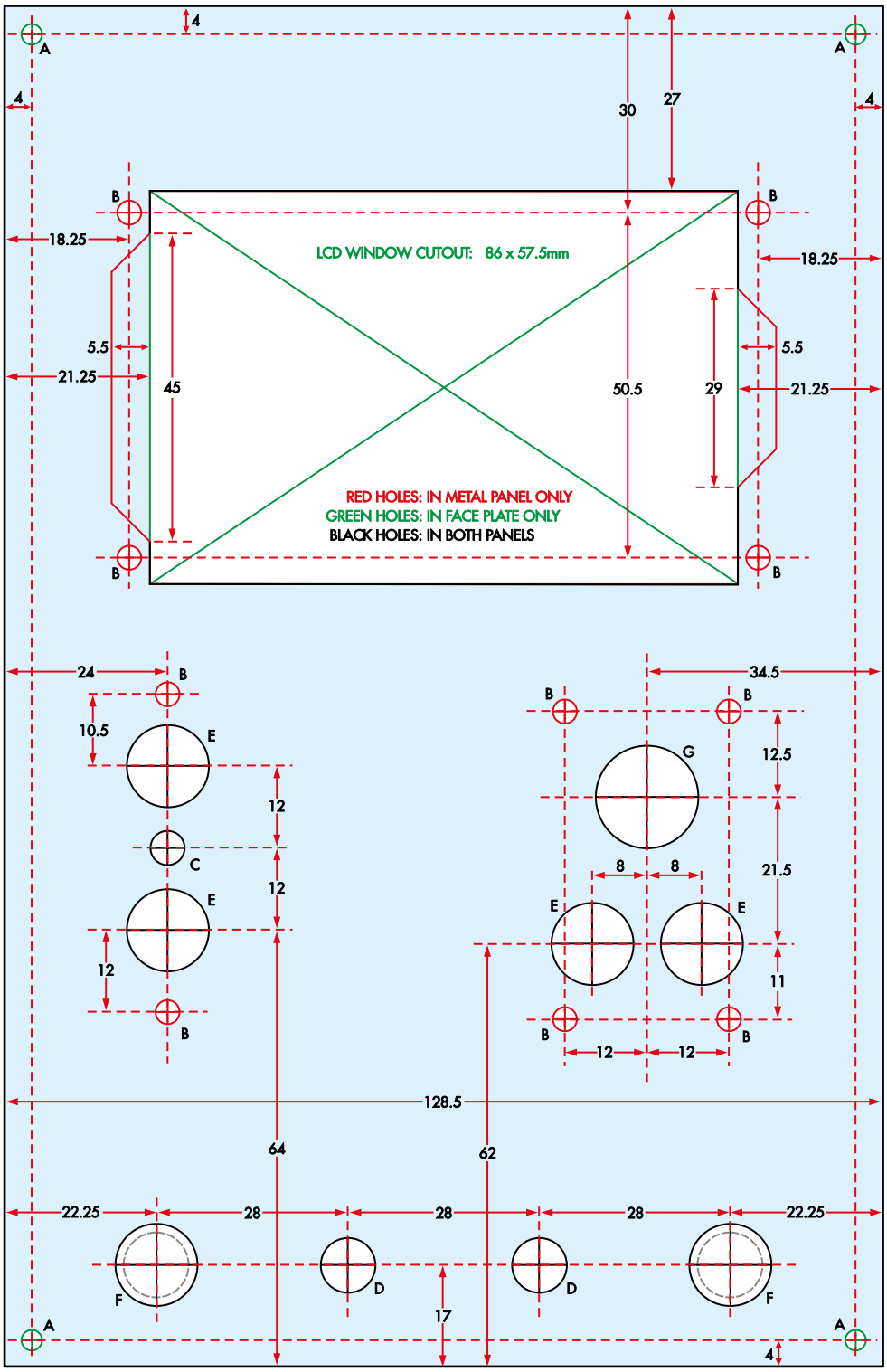
Korzystanie z Obciążenia

Instrukcja dołączona do pakietu dokumentacji szczegółowo opisuje działanie zbudowane Obciążenie.

Dostęp do większości funkcji można uzyskać z panelu przedniego przyrządu, za pośrednictwem interfejsu przeglądarki lub za pomocą programu TestController lub innej aplikacji z obsługą SCPI. Zarejestrowane dane są pobierane przez interfejs przeglądarki w formacie CSV.

Interfejs przeglądarki internetowej jest kompleksowy, jak pokazano na ekranie 8, odzwierciedlając wszystkie ustawienia i odczyty wyświetlacza dotykowego inne

eprasa.pl 514c4ae447



Rysunek 18. Wyświetlacz dotykowy montuje się bezpośrednio za panelem montażowym. W przypadku paneli przełączników potrzebne są tuleje dystansowe 6 mm...8 mm, aby klawisze wystawały kilka milimetrów z gotowego panelu przedniego.
Pokazane wycięcie enkodera jest przeznaczone dla enkodera zamontowanego w dolnej części płytki sterownika

niż kalibracja i komunikacja. Adres IP Obciążenia można znaleźć w menu Ustawienia → Komunikacja wyświetlacza dotykowego. Komunikacja nie jest szyfrowana.

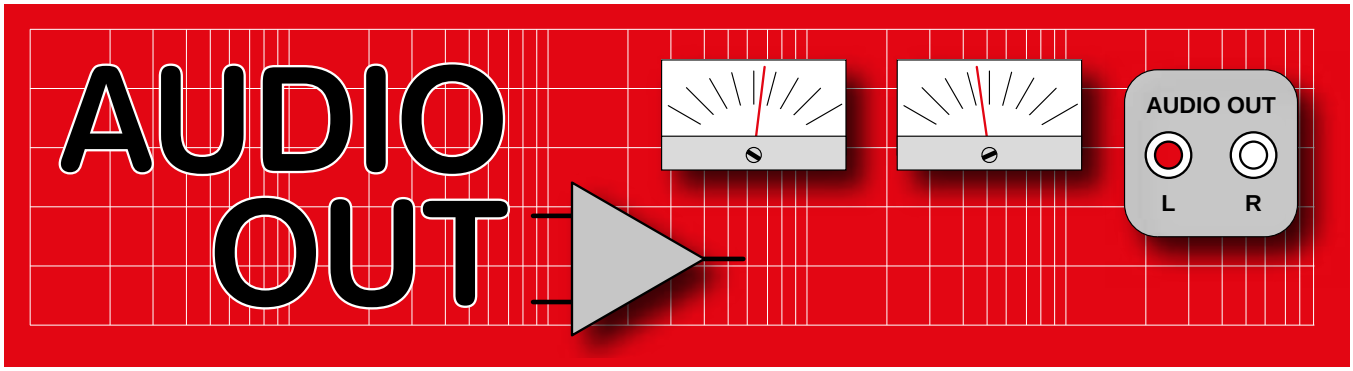
Plik definicji przyrządu TestController dla obciążenia jest zawarty w plikach do projektu. Posiada on wyskakujące okienko urządzenia (**ekran 9**) z najczęściej dostępnymi ustawieniami i elementami sterującymi. TestController ma własne funkcje rejestrowania i analizy.

Aby ograniczyć interakcję między cyklem automatycznej aktualizacji wartości na panelu sterowania i interfejsie internetowym a możliwością ustawiania parametrów w programie TestController, cykl aktualizacji jest ustawiony na 20 sekund. Wartości zmienione w innym miejscu i odczyty będą aktualizowane w tym cyklu. ■

Richard Palmer

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

eprasa.pl 514c4ae447



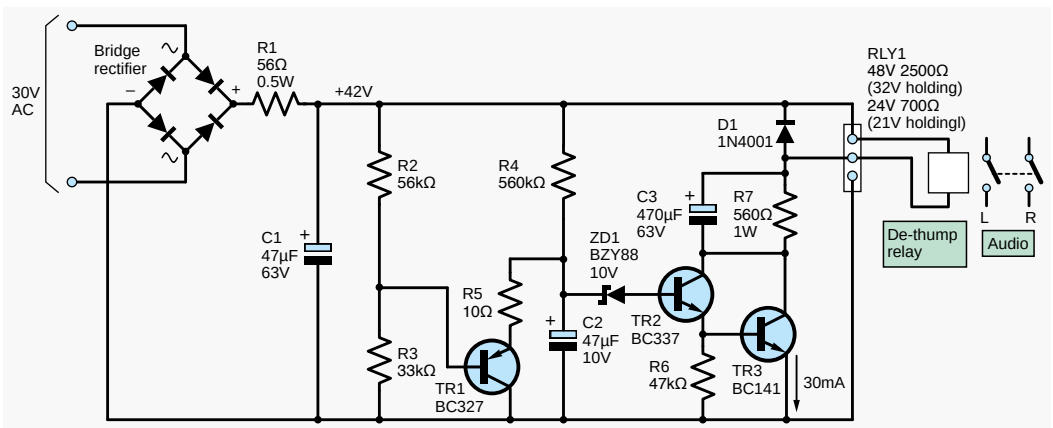
Wyciszacz – nowa odsłona starego układu

Większość układów elektroakustycznych ma to to do siebie, że w momencie, gdy są załączane i wyłączane, w głośnikach powstają nieprzyjemne donośne dźwięki – „łupnięcia". Bezpośrednim powodem powstawania takich efektów jest ustalanie się napięć zasilających i stałoprądowych punktów pracy w tych układach. Można oczywiście zainwestować sporo wysiłku i zaprojektować układ na tyle starannie, by te efekty zminimalizować. Jednak zamiast tego stosuje się zwykle prosty układzik wyciszający wyjście na okres ustalania się warunków pracy. Wyciszanie jest zrealizowane jakimś wyłącznikiem sygnału akustycznego, którym najczęściej jest styk przekaźnika. W tanich układach stosowane jest jeszcze prostsze rozwiązanie w postaci tranzystorów zwierających wyjście akustyczne do masy. Tranzystory są bardziej niezawodne niż przekaźnik, ale wprowadzają znaczne zniekształcenia. Niezależnie od rodzaju użytych przełączników, muszą być one sterowane z jakiegoś układu wytwarzającego odpowiednią sekwencję sygnałów wyłączających.

W skład „Uniwersalnego Zasilacza Audio", opublikowanego w Practical Electronics w maju 2022 roku oraz w EdW 3/2025, wchodził układ sterowania przekaźnika do wyciszania wyjścia akustycznego. Układ ten, pokazany na **rysunku 1**, zaprojektowałem na potrzeby pewnego projektu w trakcie studiów w 1984 roku. Układ ten doskonale się sprawdza w różnych moich produktach już od prawie 40 lat. Wydaje mi się, że warto do niego powrócić, ponieważ dosłownie każdy układ można ulepszyć pod względem niezawodności, funkcjonalności i zużycia energii. Przedstawię różne czynności projektowe związane z tym dość mało eksponowanym zagadnieniem projektowania układów elektroakustycznych. A na koniec zajmę się różnymi przydatnymi ulepszeniami systemu zasilania.

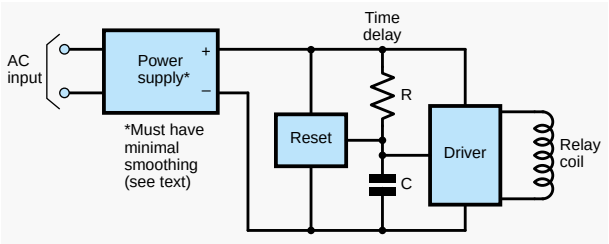
Układ oryginalny

Podstawowe bloki funkcjonalne układu wyciszania z przekaźnikiem pokazano na **rysunku 2**. Po załączeniu zasilania przekaźnik jest włączany z kilkusekundowym opóźnieniem, natomiast po wyłączeniu zasilania przekaźnik musi zostać natychmiast wyłączony. Pierwsza część układu to prostownik wraz z kondensatorem wygładzającym – o minimalnej pojemności, aby się szybko rozładowywał po wyłączeniu zasilania. Następnie mamy obwód czasowy RC (R4/C2). Steruje on tranzystor Darlingtona (TR2/TR3), który załącza przekaźnik. Jest kilka elementów poprawiających działanie, przede wszystkim tranzystor TR1 do szybkiego rozładowania kondensatora C2, bo w krótkim czasie po wyłączeniu urządzenia może nastąpić jego ponowne załączenie. Jest to jakby funkcja „resetowania". Dzięki niej przy włączaniu jest zawsze odmierzany pełen okres opóźnienia. Innym ulepszeniem jest „układ oszczędzania prądu", włączony szeregowo z przekaźnikiem. Składa się z dużego kondensatora elektrolitycznego (C3), dołączonego równolegle do rezystora mocy (R7). W momencie załączania cewka przekaźnika otrzymuje pełne napięcie zasilania. Potem napięcie cewki spada do niższej wartości, wystarczającej do podtrzymania stanu załączenia, a wartość ta jest określona przez rezystancję R7. Funkcja została przedstawiona na wykresie na **rysunku 3**. Wykorzystano

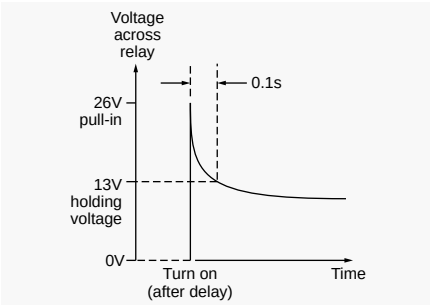


Rysunek 1. Oryginalny układ mojego wyciszacza sprzed 40 lat

eprasa.pl 514c4ae447



Rysunek 2. Schemat blokowy typowego wyciszacza audio



Rysunek 3. Wykres napięcia na cewce przekaźnika 24 V, ilustrujący fazy załączenia i podtrzymania

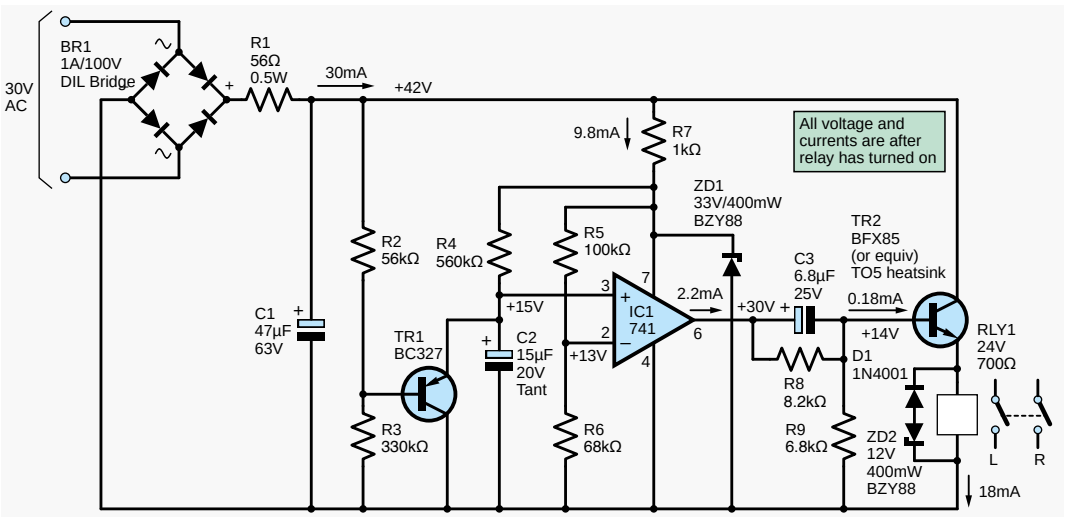
fakt, że podtrzymanie przekaźnika w stanie załączonym wymaga mniejszego napięcia (i prądu) niż jego załączenie.

Ulepszenia

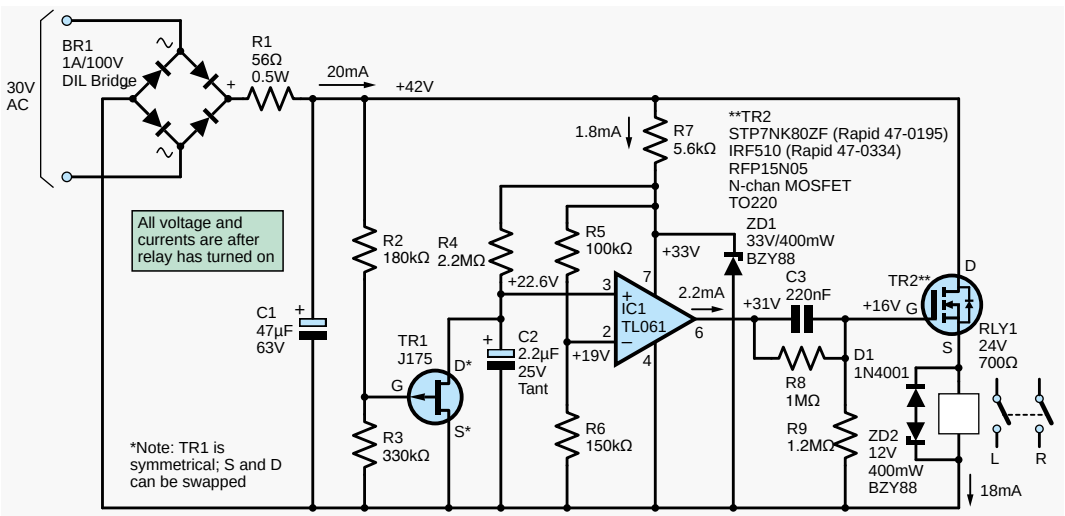
Główną słabością oryginalnego układu była rozciągnięta w czasie faza załączania, co skutkowało mniejszą niż oczekiwano efektywnością układu oszczędzania prądu. Układ ten wymaga szybkiego impulsu załączającego, inaczej cewka przekaźnika nie otrzyma pełnego napięcia i nie załączy styków w sposób pewny. Wadę tę poprawiono, zamieniając tranzystor Darlingtona na komparator ze wzmacniaczem 741 (IC1). W rezultacie stało się możliwe zmniejszenie napięcia podtrzymania przekaźnika z 21 V do 13 V, co poskutkowało zmniejszeniem jego prądu z 30 mA do 18 mA. Wyjście wzmacniacza 741 jest wystarczająco wydajne, aby bezpośrednio wysterować tranzystor wyjściowy bez pośredniczącego tranzystora TR2.

Ponieważ napięcie zasilania w całym układzie wynosi 43 V, a wzmacniacz operacyjny dopuszcza najwyżej 36 V, dodano mu prosty stabilizator zasilania z diodą Zenera 33 V. Nieoczekiwaną korzyścią tego rozwiązania było pięciokrotne zmniejszenie poziomu zakłóceń na cewce przekaźnika do wartości 500 mVpp. W układach niskoszumnych okaże się to niewątpliwie cenną zaletą. Aczkolwiek nie mam pojęcia, ile zakłóceń może się przenosić z cewki przekaźnika na styki przełączające sygnał audio. Może warto by było zbadać ten problem?

Dalszym ulepszeniem było przeniesienie układu ograniczającego prąd cewki przekaźnika na jego wejście, pozbywając się dużego i zawodnego kondensatora elektrolitycznego 470 µF (C3). To nowe rozwiązanie pokazano na **rysunku 4**. Usunięty został również rezystor R7 o dużej mocy. Jego funkcję, czyli redukowanie napięcia przekaźnika, spełnia teraz tranzystor wyjściowy TR2, w którym musi się wytracić 500 mW mocy.



Rysunek 4. Ulepszony układ wyciszacza, z tranzystorami bipolarnymi



Rysunek 5. Ostateczna wersja układu, z tranzystorami polowymi, o mniejszym zużyciu energii i szybszym „resecie”

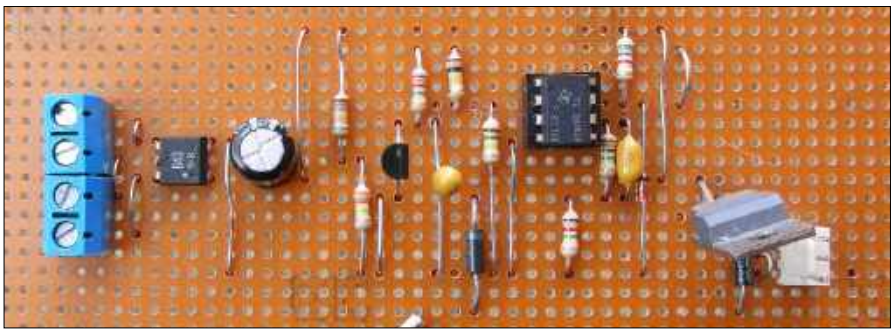
Ochrona przed przepięciem

Gdy przekaźnik jest wyłączany, powstaje w nim napięcie samoindukcji. Do zwierania tego napięcia i rozładowania prądu cewki używana jest na ogół zwykła dioda. Spowalnia to jednak wyłączanie przekaźnika, ponieważ napięcie na cewce wynosi wtedy tylko ok. 0,7 V i prąd zanika do zera dość powoli. Jeżeli jednak użyjemy diody Zenera, powiedzmy 12-woltowej, prąd zaniknie o wiele szybciej i przekaźnik wyłączy się po krótszym czasie.

FET(ysz) tranzystorów polowych

Standardowym trikiem, którego używam do poprawiania starych układów, jest zastępowanie tranzystorów bipolarnych tranzystorami polowymi. Ich większa impedancja wej-

eprasa.pl 514c4ae447



Rysunek 6. Układ wyciszający z rysunku 5 w wersji do testów, zbudowany na płytce uniwersalnej. Rozmieszczenie elementów nie jest krytyczne i średnio doświadczony elektronik da radę zbudować układ na płytce uniwersalnej bezpośrednio ze schematu. Płytka drukowana jest w przygotowaniu

Wykaz elementów

(wersja układu z rysunku 5)

Półprzewodniki

IC1: TL061 wzmacniacz operacyjny BiFET o małym poborze mocy
TR1: J175 tranzystor polowy jednozłączowy z kanałem P
TR2: RFP15N05 tranzystor MOSFET mocy z kanałem N; nada się każdy odpowiednik o dopuszczalnym napięciu dren-źródło > 50 V, prądzie drenu > 1 A i mocy strat > 1 W; np. STP7NK80ZF lub IRF510
D1: 1N4001 dioda prostownicza
ZD1: BZY88CV33 dioda Zenera 33 V 400 mW
ZD2: BZY88CV12 dioda Zenera 12 V 400 mW (może być na napięcie 10...18 V)
BR1: DB102 mostek prostowniczy (Graetza) na 100 V

Kondensatory

C1: 47 µF/63 V elektrolityczny
C2: 2,2 µF/25 V tantalowy
C3: 220 nF bez polaryzacji (dowolny dielektryk)

Rezystory (wszystkie 5%, 0,25 W, węglowe lub metalizowane)

R1: 56 Ω	R2: 180 kΩ	R3: 330 kΩ
R4: 2,2 MΩ	R5: 100 kΩ	R6: 150 kΩ
R7: 5,6 kΩ	R8: 1 MΩ	R9: 1,2 MΩ

Pozostałe

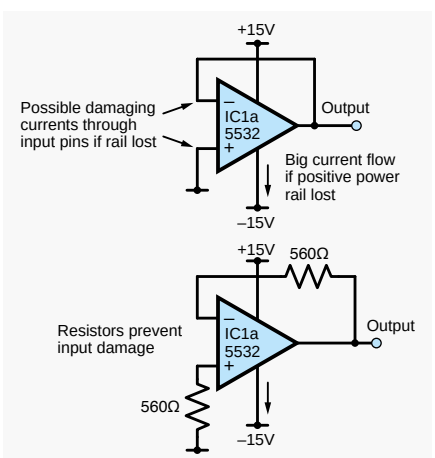
złącza, Molex lub śrubowe
płytka uniwersalna 125 mm × 55 mm lub większa
przekaźnik, cewka 24 V 700 Ω

ściowa oznacza niższe prądy wysterowania. Minimalizuje to zużycie energii, pozwala także zmniejszyć rozmiary kondensatorów.

Sterowanie przekaźnika

Pierwszą rzeczą, jaką zrobiłem w związku z powyższym, było zastąpienie tranzystora bipolarnego TR2 (**rysunek 4**) tranzystorem MOSFET. Prąd sterujący został dzięki temu zredukowany z około 2,3 mA praktycznie do zera. Pozwoliło to na użycie jako wzmacniacza operacyjnego IC1 typu o niskim poborze mocy. Do naszego zastosowania idealnie nadaje się TL061, ponieważ ma na wejściach tranzystory FET (Texas Instruments określa tę rodzinę wzmacniaczy mianem „BiFET"). Obciążenie obwodu czasowego jest dzięki temu minimalne, co pozwala na zwiększenie wartości rezystora i zmniejszenie pojemności kondensatora. Obniża to koszty, ponieważ kondensatory tantalowe o niskiej pojemności (<4,7 µF) są dość tanie. Skoro prąd sterowania TR2 jest teraz pomijalnie mały, rezystancje w układzie oszczędzania prądu mogą zostać zwiększone, a kondensator elektrolityczny C3 zastąpiony typem niespolaryzowanym. Ponadto prąd stabilizatora zasilania układu IC1 z diodą Zenera można zmniejszyć, zwiększając R7 do 5,6 kΩ, co daje zmniejszenie prądu z około 10 mA do 2 mA. Pobór prądu całego układu wynosi teraz tylko 20 mA – zamiast 30 mA, jak było w układzie oryginalnym.

Jako TR2 można zastosować typ w dużej obudowie TO220. Jego prąd sterujący będzie równie mały jak dla typu w niewielkiej obudowie, a zaletą jest to, że przy mocy 500 mW duża obudowa nie potrzebuje radiatora. Tranzystor bipolarny wymagał użycia radiatora zatrzaskowego, a typ bipolarny w obudowie TO220 o większej mocy (np. TIP31) miałby za niskie wzmocnienie prądowe i wymagałby większego prądu sterującego.



Rysunek 7. Awaria dodatniej linii zasilania NE5532 może się skończyć zniszczeniem tego wzmacniacza

Układ rozładowania

Jedną z charakterystycznych cech tranzystorów JFET jest to, że są one „załączone" (przewodzą), gdy mają zerowe napięcie bramka-źródło. Cecha ta została wykorzystana do zrealizowania nowego układu rozładowywania kondensatora czasowego C2. W oryginalnym układzie tranzystor PNP nie rozładowywał kondensatora do końca. Zostawało na nim napięcie ok. 1,5 V. Tranzystor JFET rozładowuje kondensator aż do zera, dzięki czemu działanie całego układu przy szybkim wielokrotnym załączaniu i wyłączaniu zasilania jest bardziej niezawodne. Tranzystory JFET są co prawda droższe niż tranzystory bipolarne, ale użyty typ J175 z kanałem P, o małej rezystancji włączenia, jest całkiem tani i łatwo dostępny.

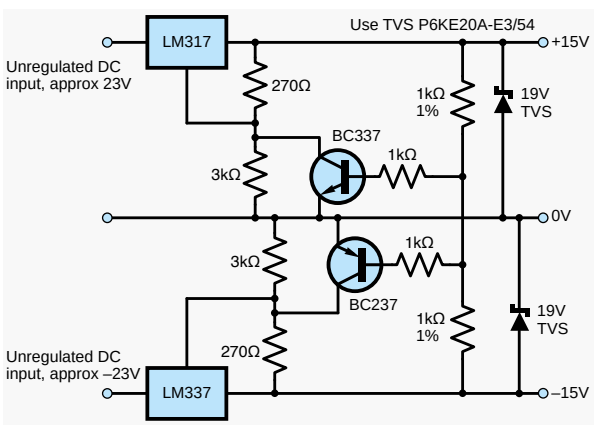
Układ w wersji końcowej

Schemat ostatecznej wersji układu, opartej na tranzystorach polowych, pokazano na **rysunku 5**, a układ zmontowany na płytce uniwersalnej na **rysunku 6**.

W przypadku, jeśli napięcie z prostownika będzie wyższe niż 42 V, wartość R1 będzie musiała zostać zwiększona, a przekaźnik zmieniony na typ o cewce przystosowanej do pracy przy napięciu 48 V. Do układu nie są wymagane podzespoły wysokiej jakości – wystarczą zwykłe, powszechnie dostępne. Wielka rezystancja wejściowa bramki TR1 umożliwia łatwe dołączenie tam wyjścia jakiegoś układu wykrywającego zbyt wysoki poziom składowej stałej na wyjściu wzmacniacza mocy. Jest to jednak temat na inny dzień i układ na inną wersję płytki.

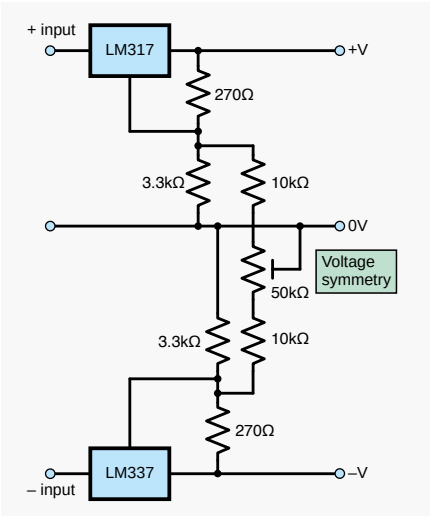
Ulepszenia zasilaczy Awaryjne wyłączanie linii zasilania

Przydatnym ulepszeniem zasilacza w systemie elektroakustycznym – i ogólnie każdego zasilacza dostarczającego dwóch napięć, np. +15 V i –15 V – jest układ wzajemnego wyłączania linii zasilających. Funkcja ta polega

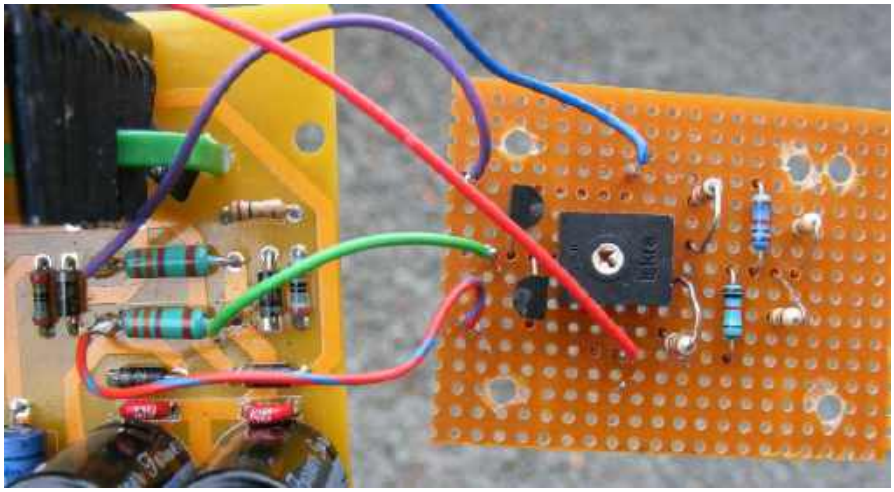


Rysunek 8. Układ wzajemnego wyłączania napięć zasilających.

eprasa.pl 514c4ae447



Rysunek 9. Układ regulacji symetrii zasilania podwójnego



Rysunek 10. Zasilacz z płytką wzajemnego wyłączania napięć i regulacji symetrii

na wyłączaniu linii zasilającej w przypadku zwarcia lub awarii drugiej z nich. Gdy do takiej awarii dochodzi i działa tylko jedna z linii zasilania, uszkodzeniu mogą ulec wzmacniacze operacyjne lub inne wrażliwe układy. Bardzo podatny na uszkodzenie w sytuacji, gdy pada dodatnia linia zasilania, a ujemna działa, jest ulubiony wzmacniacz operacyjny inżynierów elektroakustyków – NE5532. Zilustrowano to na **rysunku 7**. Efekt jest szczególnie niekorzystny, gdy wzmacniacz ten pracuje w układzie wtórnika napięciowego, a jego wyjście jest bezpośrednio połączone z wejściem odwracającym. Równie zła sytuacja może powstać, gdy wejście nieodwracające jest bezpośrednio dołączone do masy. Całkowity prąd płynący przez wzmacniacz może wtedy wzrosnąć ponad 24 mA, a moc tracona przekroczyć dopuszczalną (780 mW dla obudowy SOIC8, 1,2 W dla DIP). Skrupulatni projektanci zapobiegają takim sytuacjom, umieszczając w szereg z wejściami NE5532 rezystory 560 Ω. Inne układy audio, pracujące z niską impedancją obciążenia przy połączeniu stałoprądowym, np. sterowniki transformatorów czy wzmacniacze mocy, mogą w sytuacjach opisywanych awarii nawet ulec uszkodzeniu. Kondensatory elektrolityczne mogą doznać odwrócenia polaryzacji, co często powoduje uszkodzenie elektryczne lub wyciek elektrolitu.

Wzajemne wyłączanie linii zasilających jest stosowane w zasilaczach mikserów firmy Soundcraft. Każdy taki zasilacz wykorzystuje dwa stabilizatory napięć dodatnich LM338. Ja zrealizowałem układ wyłączający w zasilaczu wyposażonym w scalone stabilizatory napięcia dodatniego i ujemnego, ale działa on na podobnej zasadzie. Wykorzystana jest możliwość regulacji napięć wyjściowych. W sytuacji awaryjnej tranzystory zwierają wejścia regulujące do masy, sprowadzając napięcia wyjściowe stabilizatorów do minimum. W przypadku stabilizatorów LM317/337 jest to ok. 1,6 V. Tak małe napięcie nie wyrządza już żadnych szkód. Układ pokazano na **rysunku 8**.

Symetria podwójnego zasilania

Zwykle unikam potencjometrów montażowych. Jednak w niektórych przypadkach ich użycie jest mocno pożądane lub wręcz niezbędne. Do takich przypadków zaliczają się syntezatory muzyczne, które wymagają użycia dwóch napięć zasilających – dodatniego i ujemnego – o możliwie jednakowych wartościach. Tymczasem zasilacz z rysunku 8 dostarcza napięć, które, jeśli uwzględnimy tolerancje elementów, mogą w skrajnym przypadku wynosić +14,2 V i –15,8 V. W przypadku wzmacniaczy operacyjnych na ogół większe znaczenie mają nie tyle bezwzględne wartości obu napięć zasilania, ile to, jak bardzo te wartości są do siebie zbliżone. Wystarczy zatem, że ustawiając symetrię obu linii zasilania wyregulujemy napięcie tylko jednej z nich. Oczywiście oznacza to, że napięcie zasilania może wynieść ±14,5 V lub ±15,8 V zamiast regularnych ±15 V, ale – podkreślam – dobra symetria napięć jest zwykle znacznie istotniejsza niż ich bezwzględna wielkość. **Rysunek 9** przedstawia układ zasilacza z regulacją symetrii. Należy zauważyć, że rezystory 3 kΩ z rysunku 8 zostały zwiększone do 3,3 kΩ, ponieważ teraz jest do nich równolegle dołączona rezystancja obwodu z potencjometrem.

Dodatki

Jak pokazuje **rysunek 10**, układ wzajemnego wyłączania i regulację symetrii można dobudować na małym kawałku płytki uniwersalnej. Z płytki tej do płytki głównej zasilacza biegnie pięć przewodów.

Bezpiecznik PTC/polyswitch

Na łamach PE wspomniano kiedyś, że wewnętrzne zabezpieczenie stabilizatorów LM317/LM337 dość powoli reaguje na zwarcie i przegrzanie. Również główny bezpiecznik sieciowy układu może zadziałać zbyt powolnie, a co gorsza, użytkownik może dać bezpiecznik niewłaściwego typu o zbyt wysokim prądzie znamionowym. Biorąc to pod uwagę, warto po stronie wtórnej transformatora dać dodatkowe zabezpieczenie w postaci bezpieczników tzw. samoresetujących – będących w istocie termistorami o dodatnim współczynniku temperaturowym (PTC).

Takie rozwiązanie uzupełni funkcjonowanie układu wzajemnego wyłączania linii zasilających, ponieważ układ ten (rysunek 8) nie zadziała w sytuacji, gdy któryś ze scalonych stabilizatorów ma zwarcie z wejścia do wyjścia.

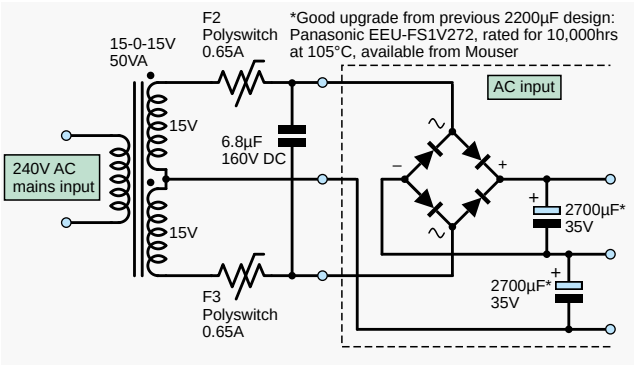
W moim układzie dałem bezpieczniki na prąd znamionowy 0,5 A typu Littlefuse RXEF050 firmy Raychem. Jeśli stabilizatory mają radiatory i wytrzymują większe prądy, można też dać RXEF065 (0,65 A).

Te elementy na pewno warto dodać, bo kosztują one kilka złotych, a zabezpieczają transformator wart kilkadziesiąt razy więcej.

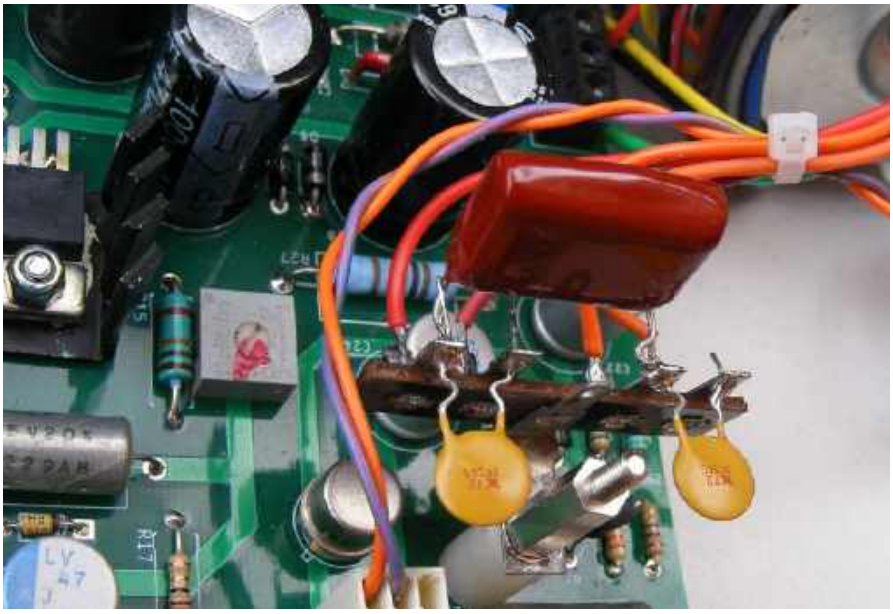
Przepięcia

Gdy stabilizator scalony ulega awarii, dochodzi w nim często do zwarcia, co jest typowe dla elementów półprzewodnikowych. Jeśli zwarcie wystąpi między wejściem a wyjściem, na wyjściu pojawi się wysokie nieregulowane napięcie z prostownika. Takie przepięcie może zniszczyć wszystko, co jest

eprasa.pl 514c4ae447



Rysunek 11. Dołączenie bezpieczników PTC i kondensatora tłumiącego do transformatora. Optymalna wartość i napięcie znamionowe kondensatora zależą od typu transformatora. Dla większości toroidów odpowiedni będzie typ 1...6,8 µF/160 V



Rysunek 12. Kondensator tłumiący i bezpieczniki dodane po stronie wtórnej transformatora

podłączone za stabilizatorem. Dobrym środkiem zabezpieczającym przed przepięciem jest umieszczenie na wyjściu stabilizatora diody Zenera dużej mocy (5 W). W przypadku zasilania 15 V odpowiedni będzie typ na napięcie 20 V. Podobnym rodzajem ochrony są diody zabezpieczające oznaczane skrótem TVS (Transient Voltage Suppressor), znane też pod nazwą „transzorb". Można polecić typ P6KE20 A-E3/54 firmy Vishay o napięciu zadziałania 19 V i dopuszczalnej mocy w impulsie 500 W. Kiedy nastąpi przepięcie i dioda Zenera lub TVS zadziała, spowoduje wyłączenie bezpiecznika PTC.

Ponownie mówimy tu o ulepszeniu za kilka złotych, które może uratować przed zniszczeniem wzmacniacze operacyjne i inne wrażliwe układy scalone.

Drobne ulepszenia

Impulsy prądu, związane z prostowaniem dwupołówkowym, mogą powodować buczenie transformatora z częstotliwością 100 Hz. O tym efekcie wspomniano w artykule Niskoszumny zasilacz do Theremina, „Practical Electronics" sierpień 2020 EdW 8/2023). Buczenie można stłumić, umieszczając za bezpiecznikami PTC kondensator dobrany do typu użytego transformatora. Użycie tego rozwiązania pokazano na schemacie na **rysunku 11**, a zdjęcie układu na **rysunku 12**.

To wszystko na ten temat. Przynajmniej na razie, bo – jak wiadomo – każdy układ można jeszcze ulepszyć! ■

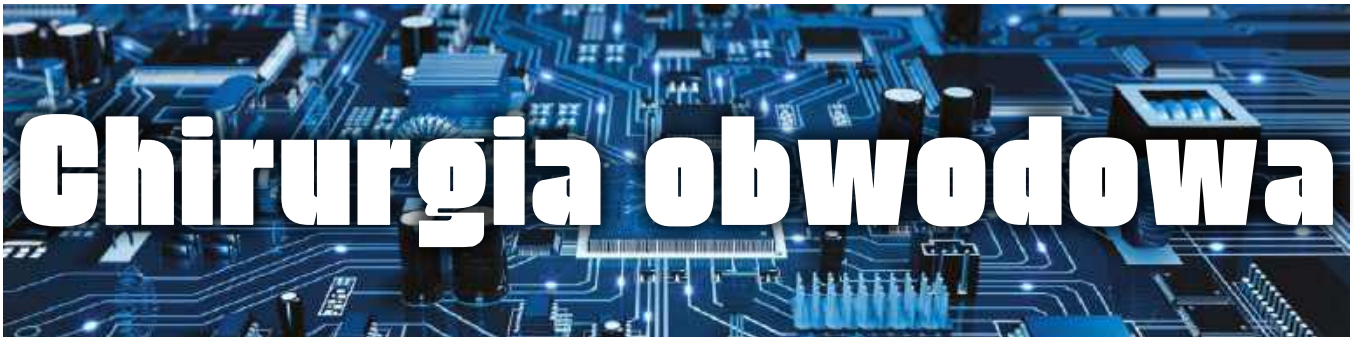
Jake Rothman

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

REKLAMA

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

Aplikacje prosimy kierować na adres:
redakcja@elportal.pl



Napięcie niezrównoważenia wzmacniacza operacyjnego,

część 2

W zeszłym miesiącu rozpoczęliśmy dyskusję na temat napięcia niezrównoważenia wzmacniacza operacyjnego, niejako reagując na pytania użytkownika Deion zamieszczone na forum EEWeb, a dotyczące wzmacniaczy precyzyjnych. Deion cytował kartę katalogową układu OP97 i pytał: „jak rozumieć specyfikację zakresu temperatur?" oraz „czy rezystancje powinny być równe?".

Kwestię zakresu temperatur krótko omówiliśmy (zakres ten jest specyfikowany w karcie katalogowej układu), a następnie przeanalizowaliśmy zagadnienie wejściowego napięcia niezrównoważenia, modelując je w symulatorze LTspice. Wprowadziliśmy też pojęcie „wzmocnienia dla szumu". Szybko podsumujemy teraz kilka kluczowych punktów, a następnie zbadamy problem przesunięcia napięcia wyjściowego wynikającego z wpływania prądów polaryzujących do wejść wzmacniacza operacyjnego. W ten sposób dojdziemy do kwestii „wyrównywania rezystancji", o co dopytywał się Deion.

Przesunięcia napięciowe – podsumowanie

Przesunięcie (offset) to błąd stałoprądowy na wyjściu układu spowodowany niedoskonałościami tego układu lub innych dołączonych elementów. Jest wywołane przez napięcie niezrównoważenia, które zostaje wzmacniane i przetwarzane przez układ. Przesunięcie „dryfuje" z powodu zmian temperatury, starzenia się i innych czynników wpływających na układ. Przesunięcia stanowią istotny problem w układach stałoprądowych i bardzo niskiej częstotliwości, ponieważ nie da się ich zablokować bez wpływu na sygnał użyteczny. Są też przypadki, kiedy przesunięcie na wyjściu jest niepożądane, bo obciążenie musi być zasilane wyłącznie sygnałem zmiennym bez składowej stałej (np. głośnik). Jedynym sensownym rozwiązaniem jest projektowanie układów o naturalnie małym przesunięciu napięcia. Wzmacniacze operacyjne, których podstawową cechą jest niskie napięcie niezrównoważenia, są często określane jako „precyzyjne". Takim wzmacniaczem jest OP97 wspomniany przez Deiona.

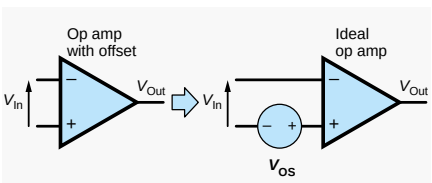
W idealnym wzmacniaczu operacyjnym przy napięciu różnicowym na wejściu równym zero napięcie wyjściowe również wynosi zero. W przypadku wzmacniaczy rzeczywistych na wyjściu pojawi się jednak napięcie różne od zera. Napięcie niezrównoważenia (V_{IO}) definiuje się jako takie napięcie, jakie należy podać na wejście, aby – w układzie z otwartą pętlą sprzężenia zwrotnego – sprowadzić napięcie wyjściowe do zera. Dla celów analizy możemy zastąpić wzmacniacz operacyjny z napięciem niezrównoważenia przez wzmacniacz idealny plus źródło napięcia (**rysunek 1**). Mówimy, że reprezentowane w ten sposób napięcie niezrównoważenia (lub inne niedoskonałości, np. szum) jest „odniesione do wejścia".

Użycie źródeł na wejściu do reprezentowania napięcia niezrównoważenia czy szumu prowadzi do pojęcia „wzmocnienia dla szumu". Dla układu ze wzmacniaczem operacyjnym jest to wzmocnienie, które stosuje się do napięcia przyłożonego bezpośrednio do wejść wzmacniacza operacyjnego. Jest ono równe wzmocnieniu w układzie nieodwracającym – również wtedy, gdy dla sygnału użytecznego konfiguracja układu jest odwracająca.

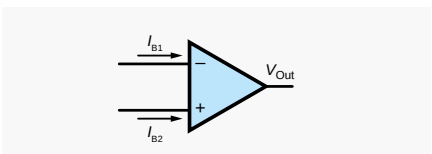
Nawet jeśli wzmacniacz operacyjny ma małe napięcie niezrównoważenia, użytkownik może sobie życzyć możliwości ręcznej regulacji tego napięcia w celu zniwelowania lub przynajmniej zminimalizowania go. Możliwość ręcznego zerowania niezrównoważenia mają niektóre typy wzmacniaczy, w tym OP97. Wzmacniacze takie mają dwa piny (zwykle oznaczone jako „null"), do których dołączany jest potencjometr. Szczegóły są podawane w kartach katalogowych konkretnych typów wzmacniaczy.

Prądy polaryzacji

Przy analizie układów ze wzmacniaczami operacyjnymi zakłada się zwykle, że do wejść wzmacniacza operacyjnego nie wpływa żaden prąd. Założenie to upraszcza analizę układu i jest na ogół uzasadnione, ponieważ prądy wpływające do wejść wzmacniaczy

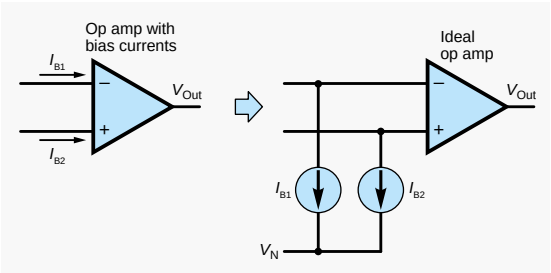


Rysunek 1. Wzmacniacz operacyjny z napięciem niezrównoważenia można modelować przez idealny wzmacniacz operacyjny ze źródłem napięcia dodanym na wejściu nieodwracającym



Rysunek 2. Wejściowe prądy polaryzacji

eprasa.pl 514c4ae447



Rysunek 3. Modelowanie wejściowych prądów polaryzacji

operacyjnych są zwykle znacznie mniejsze niż prądy w rezystorach ustawiających wzmocnienie i innych elementach. W pewnych przypadkach prądy wejściowe mają jednak zauważalny wpływ na parametry układu i nie mogą być ignorowane.

Klasyczny układ scalony wzmacniacza operacyjnego zawiera bipolarne tranzystory złączowe (BJT). Do wejść takiego wzmacniacza musi wpływać prąd, by spolaryzować tranzystory stopnia wejściowego (zapewnić im prąd bazy). W przypadku układów z wejściem na tranzystorach unipolarnych (FETach) prądy wejściowe są zwykle znacznie mniejsze, ponieważ w tranzystorach tych nie występuje prąd polaryzacji. Będą tam jednak występować prądy upływu. W układach z tranzystorami bipolarnymi stosuje się czasem wewnętrzne obwody polaryzujące, co znacznie zmniejsza prądy pobierane z zewnątrz. Wszystko to sprawia, że prąd wejściowy przyjmuje różne wartości w zależności od typu wzmacniacza operacyjnego.

Wejściowy prąd polaryzacji (input bias current, I_{IB}) jest definiowany jako średni prąd obu wejść (I_{B1} i I_{B2}) przy zerowym napięciu wyjściowym (**rysunek 2**):

$$I_B = \frac{I_{B1}+I_{B2}}{2}$$

Wartość tego prądu dla różnych typów wzmacniaczy operacyjnych może być bardzo różna – od femtoamperów (1 fA=10^{-15} A) do dziesiątek mikroamperów, przy czym dla wzmacniaczy operacyjnych z tranzystorami bipolarnymi typowe wartości wynoszą od dziesiątek do setek nanoamperów.

W wyidealizowanym przypadku wzmacniacz operacyjny miałby idealnie symetryczne wejścia, a zatem oba pobierałyby ten sam prąd polaryzacji. w rzeczywistości prądy te jednak nieco się różnią. Wartość bezwzględną różnicy obu prądów wejściowych przy zerowym napięciu na wyjściu definiuje się jako wejściowy prąd niezrównoważenia (input offset current, IOS):

$$I_{OS} = |I_{B1} - I_{B2}|$$

Prąd polaryzacji i prąd niezrównoważenia zmieniają się wraz z temperaturą. Dla danego typu wzmacniacza operacyjnego wielkość zmian tych parametrów wyrażają odpowiednie współczynniki temperaturowe.

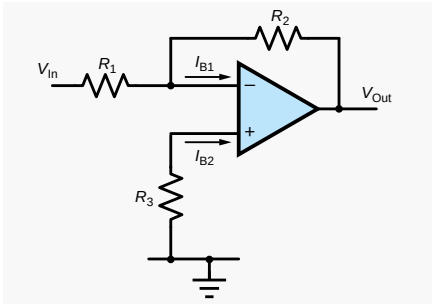
Prądy polaryzacji można modelować przy użyciu idealnego wzmacniacza operacyjnego z dodanymi źródłami prądowymi, co pokazano na **rysunku 3**. Metoda jest analogiczna jak w przypadku modelowania napięcia niezrównoważenia z udziałem idealnego wzmacniacza operacyjnego i źródła napięcia (rysunek 1). W przypadku przyjęcia polaryzacji źródeł odpowiadającej wypływaniu prądu z wejść wzmacniacza operacyjnego, źródła prądowe łączą się od wejść wzmacniacza do najbardziej ujemnego węzła układu. Jest to zazwyczaj ujemny biegun zasilania lub masa; V_N na rysunku 3. Źródła te wywołują przepływ takich prądów w obwodzie zewnętrznym, jakby prądy te były pobierane przez wejścia wzmacniacza operacyjnego. Źródła prądowe nie są jednak dołączone w szereg z wejściami wzmacniacza. W idealnym wzmacniaczu operacyjnym żadne prądy nie będą wpływać do jego wejść ze względu na nieskończenie dużą rezystancję wejściową.

Przesunięcie napięcia wyjściowego wywołane prądami polaryzacji

Prądy polaryzacji wejść wzmacniacza operacyjnego płyną przez dołączone do niego elementy zewnętrzne (np. rezystory używane do ustawienia wzmocnienia), powodując spadki napięć. Spadki te będą różne dla każdego z wejść z powodu różnych impedancji zewnętrznych widzianych przez każde wejście, a także różnic w prądach polaryzacji obu wejść. Różnica spadków napięć zostaje wzmocniona i objawia się jako przesunięcie napięcia na wyjściu.

Jeśli założymy, że wejściowy prąd niezrównoważenia wzmacniacza operacyjnego jest znacznie mniejszy niż jego wejściowe prądy polaryzacji, wówczas powodem przesunięcia napięcia na wyjściu (nieraz znacznego) będą różnice w spadkach napięcia spowodowane różnymi rezystancjami zewnętrznymi. W takiej sytuacji przesunięcie można zmniejszyć poprzez wyrównanie rezystancji widzianych przez każde z wejść. Właśnie o to Deion pytał na forum. W przypadku podstawowych układów wykorzystujących wzmacniacze operacyjne (konfiguracja odwracająca i nieodwracająca) zrównanie rezystancji osiąga się poprzez dołączenie do jednego z wejść pojedynczego rezystora.

Ilustruje to **rysunek 4**. Prąd polaryzacji wejścia odwracającego rozpływa się

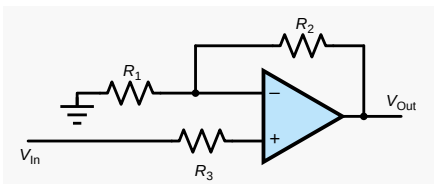


Rysunek 4. Minimalizacja przesunięcia napięcia wyjściowego spowodowanego prądami polaryzacji poprzez wyrównanie rezystancji we wzmacniaczu odwracającym

na rezystory R_1 i R_2. Stosujemy rezystor R_3 o rezystancji takiej jak równoległe połączenie R_1 i R_2. Prąd polaryzacji wejścia nieodwracającego spowoduje na tym rezystorze taki sam spadek napięcia, jaki prąd wejścia odwracającego wywołuje na rezystorach R_1 i R_2 (od red. EdW: oba spadki napięć w efekcie zniosą się do zera, ponieważ występują na wejściach różnicowych wzmacniacza). Zakładamy tu, że prądy polaryzacji obu wejść wzmacniacza są sobie równe.

Wyrównywanie rezystancji

Możemy przeanalizować wymóg wyrównywania rezystancji bardziej szczegółowo, posiłkując się podstawową teorią obwodów. Przyjmiemy przy tym, że wzmacniacz operacyjny jest idealny, z wyjątkiem tego, że występują u niego prądy polaryzacji wejść. W układzie z rysunku 4 skupimy uwagę na dwóch źródłach stanowiących prądy polaryzacji. Mamy również napięcie wejściowe, które potencjalnie należy wziąć pod uwagę. Zakładamy, że układ jest liniowy i nie dopuszczamy np. sytuacji, w której napięcie wyjściowe wzmacniacza jest ograniczane przez napięcie zasilania (byłoby to zachowanie nieliniowe). Aby poradzić sobie z kilkoma źródłami w układzie, możemy użyć metody superpozycji. Wszystkie źródła z wyjątkiem jednego ustawiamy na zero i znajdujemy wpływ na układ tylko tego źródła (na przykład jego wkład w napięcie wyjściowe). Następnie powtarzamy ten proces dla każdego z pozostałych źródeł. Na koniec sumujemy arytmetycznie wszystkie obliczone wkłady. Nie musimy brać pod uwagę wszystkich



Rysunek 5. Wyrównanie rezystancji we wzmacniaczu nieodwracającym

eprasa.pl 514c4ae447

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

źródeł, jeśli interesuje nas wpływ tylko jednego z nich. W naszym przypadku nie musimy uwzględniać napięcia wejściowego, ponieważ interesuje nas tutaj tylko samo przesunięcie napięcia na wyjściu. Zostanie ono po prostu dodane do wzmocnionego sygnału z wejścia.

Zaczynamy od obliczenia wielkości napięcia wyjściowego (w układzie z rysunku 4) spowodowanego wyłącznie przez I_{B1}. Ustawiamy I_{B2}=0 i V_{in}=0. Założenie I_{B2}=0 oznacza, że napięcie na R_3 wynosi zero, a zatem potencjał wejścia nieodwracającego ma wartość 0 V. I_{B1} rozpłynie się na rezystory R_1 i R_2, powodując na wejściu odwracającym niezerowy spadek napięcia, który zostanie wzmocniony. Ponieważ wzmocnienie wzmacniacza operacyjnego jest bardzo duże, napięcie na R_2 (równe napięciu wyjściowemu) będzie znacznie większe niż napięcie na R_1 (czyli napięcie wejściowe wzmacniacza operacyjnego). Oznacza to, że prawie cały I_{B1} przepływa przez R_2, czyli napięcie na tym rezystorze wynosi $I_{B1}\cdot R_2$. Jeden koniec R_2 jest na potencjale V_{out}. Możemy założyć, że drugi koniec rezystora ma potencjał 0 V, ponieważ napięcie między wejściami wzmacniacza operacyjnego podczas normalnej pracy ze sprzężeniem zwrotnym jest bliskie zeru, a jak już wspomnieliśmy, wejście nieodwracające ma potencjał 0 V. Tak więc wkład I_{B1} do napięcia wyjściowego wynosi

$$V_{out} = I_{B1} \cdot R_2$$

Teraz znajdujemy część napięcia wyjściowego wywołaną przez I_{B2}. Przyjmujemy więc I_{B1}=0 i V_{in}=0. Prąd I_{B2} przepływa przez R_3, wytwarzając na nieodwracającym wejściu wzmacniacza operacyjnego napięcie $-I_{B2}\cdot R_3$. Jest ono ujemne ze względu na kierunek prądu I_{B2} przypisany na rysunku 4. W tej części analizy wejście układu jest dołączone do masy (V_{in}=0), a zatem, z punktu widzenia napięcia na R_3, układ zachowuje się jak wzmacniacz nieodwracający. Jego wzmocnienie podaje klasyczny wzór

$$A = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

a zatem wkład I_{B2} do napięcia wyjściowego wynosi

$$V_{out} = -I_{B2} \cdot R_3 \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

Aby znaleźć wartość napięcia wyjściowego wywołanego łącznie obydwoma prądami polaryzacji, sumujemy oba wkłady:

$$V_{out} = I_{B1} \cdot R_2 - I_{B2} \cdot R_3 \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

W następnym kroku postaramy się, by V_{out}=0, czyli żeby oba wkłady wnoszone przez prądy polaryzacji się zniosły. Zakładamy przy tym, że I_{B1}=I_{B2}=I_B. Wprowadzamy te warunki do równania:

$$0 = I_B \cdot R_2 - I_B \cdot R_3 \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

$$I_B \cdot R_2 = I_B \cdot R_3 \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

$$R_2 = R_3 \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

$$R_2 = R_3 \cdot \frac{R_1+R_2}{R_1}$$

„Wyrównanie rezystancji" będzie polegało na znalezieniu takiej wartości , aby powyższe równanie było spełnione. Zakładamy, że R_1 i R_2 są znane i zostały wyznaczone w procesie projektowania wzmacniacza. Przekształcając równanie otrzymujemy

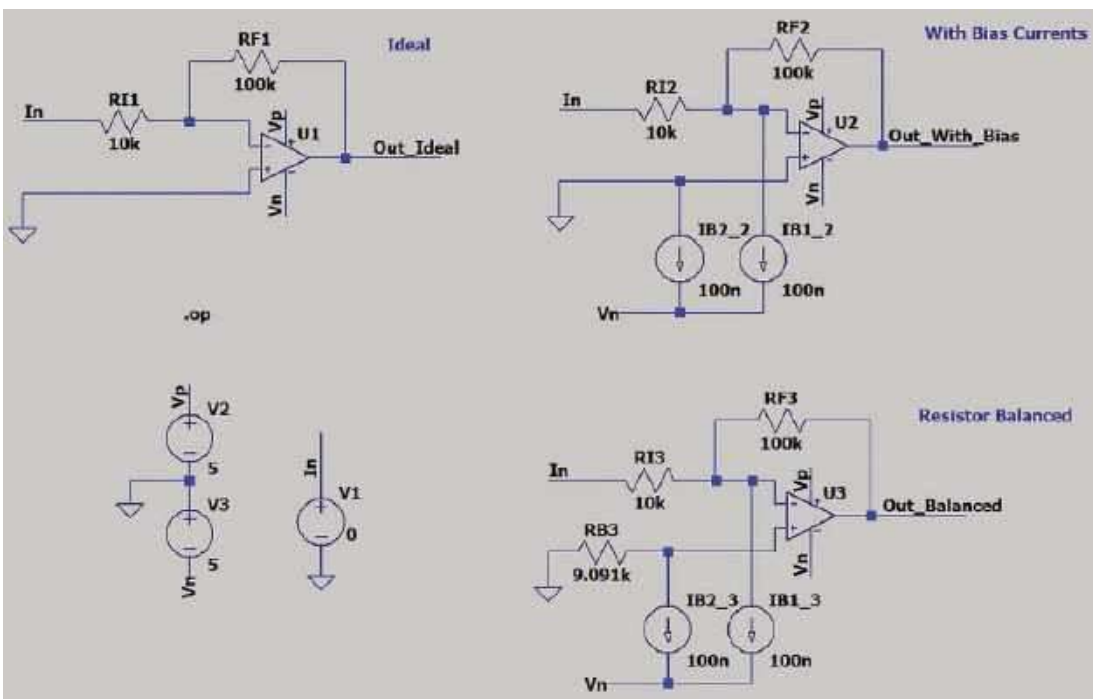
$$R_3 = R_2 \cdot \frac{R_1}{R_1+R_2} = R_1 \parallel R_2$$

Rozpoznajemy tu wzór na równoległe połączenie dwóch rezystorów. A więc dla zminimalizowania przesunięcia napięcia wyjściowego, R_3 powinien mieć wartość taką jak równoległe połączenie R_1 i R_2. Wstawienie rezystora o takiej właśnie wartości między wejście nieodwracające a masę zmniejsza do minimum przesunięcie napięcia wyjściowego wzmacniacza w konfiguracji odwracającej – przy powyższych założeniach dotyczących prądów polaryzacji. W przypadku konfiguracji nieodwracającej postępujemy analogicznie – rezystor o wartości takiej, jak równoległe połączenie obu rezystorów wyznaczających wzmocnienie, wstawiamy między wejście sygnałowe układu a wejście nieodwracające wzmacniacza operacyjnego (R_3 na **rysunku 5**). W obu przypadkach rezystor wyrównujący nie zmienia wzmocnienia całego wzmacniacza.

Metoda z wyrównywaniem rezystancji działa poprawnie, jeśli wejściowe prądy polaryzacji są większe niż wejściowy prąd niezrównoważenia. Prąd niezrównoważenia ogranicza stopień, w jakim dają się zrównoważyć napięcia na wejściach. Na niezrównoważenie mają też wpływ tolerancje rezystorów i zmiany ich rezystancji wynikające ze zmian temperatury i innych czynników.

Nowa wersja modelu wzmacniacza operacyjnego

W poprzednim odcinku omawialiśmy wykorzystanie elementu UniversalOpamp2 w LTspice do modelowania wyidealizowanych wzmacniaczy operacyjnych. Stosowaliśmy go w symulacjach ilustrujących użycie dodatkowego źródła napięcia do modelowania wejściowego napięcia niezrównoważenia (rysunek 1). Modele rzeczywistych wzmacniaczy operacyjnych już zawierają napięcie niezrównoważenia, więc dawanie na wejściu

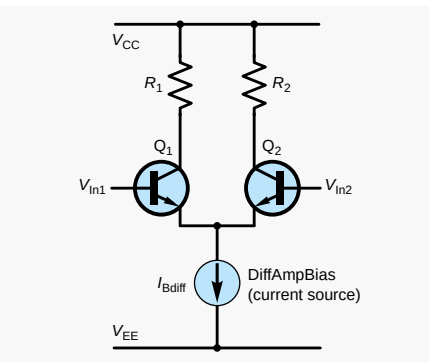


Rysunek 6. Symulacja w LTspice, ilustrująca modelowanie prądów polaryzacji i wyrównywanie rezystancji

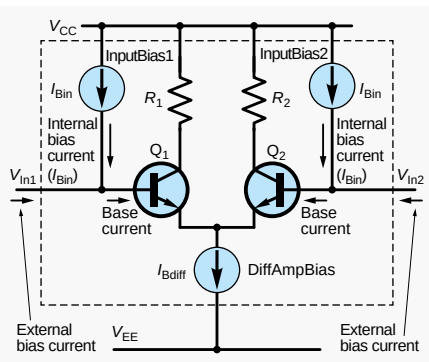
eprasa.pl 514c4ae447

źródła modelującego to napięcie nie miałoby sensu. Tutaj pożądane jest stosowanie takiego wzmacniacza, który jest zbliżony do ideału we wszystkich aspektach z wyjątkiem kilku, interesujących nas w danym przypadku, dzięki czemu można obserwować oddzielenie tylko wybrane zjawiska.

W zeszłym odcinku artykułu symulacje były wykonywane w wersji LTspice, która nie była aktualizowana od kilku tygodni. W tym odcinku, zanim zabraliśmy się za symulacje, przeprowadziliśmy aktualizację programu. Okazało się, że niedawno zmieniono element uniwersalnego wzmacniacza operacyjnego – zamiast jednego o nazwie UniversalOpamp2 istnieje teraz kilka jego wersji. Pliki symulacyjne z zeszłego odcinka, gdy są używane z nowszą wersją LTspice (od końca 2021 r.), mogą powodować błąd (np. „Unknown subcircuit called"). Jak mówiliśmy w zeszłym odcinku, element uniwersalny może modelować wzmacniacze operacyjne z różną ilością szczegółów, wybraną parametrem „poziom". Przed aktualizacją LTspice istniał jeden element i aby ustawić poziom szczegółów lub inne parametry, trzeba było zmieniać jego atrybuty (pokazywaliśmy to w poprzednim odcinku). Teraz dla różnych poziomów modelu istnieją odrębne symbole (UniversalOpamp1, UniversalOpamp2 itd.). Jest też dodatkowy poziom 4. Aby uruchomić pliki symulacyjne sprzed aktualizacji, konieczne jest usunięcie starego symbolu wzmacniacza, wstawienie w jego miejsce UniversalOpamp1 i zmiana jego parametrów Avol i Rin na takie, jak w zeszłym odcinku.



Rysunek 7. Podstawowy układ wzmacniacza różnicowego



Rysunek 8. Wzmacniacz różnicowy ze źródłami prądu polaryzacji na wejściach

Przykładowa symulacja

Rysunek 6 przedstawia układy w LTspice ilustrujące modelowanie prądów polaryzacji i wyrównywanie rezystancji. Badane są trzy wersje wzmacniacza odwracającego o wzmocnieniu 10. Wszystkie trzy układy wykorzystują zbliżony do ideału model wzmacniacza operacyjnego wykorzystujący nowy element UniversalOpamp1 (model o poziomie 1) z parametrami A_{vol}=100 G i R_{in}=10 GΩ (jak w zeszłym odcinku). Układ pierwszy (U1) zawiera tylko wyidealizowany wzmacniacz operacyjny i rezystory określające wzmocnienie. Układ drugi (U2) modeluje wejściowe prądy polaryzacji poprzez źródła prądowe, tak jak omawialiśmy na początku tego odcinka. Układ trzeci (U3) zawiera dodatkowy rezystor równoważący (RB3) o wartości takiej jak równoległe połączenie rezystorów określających wzmocnienie (10 kΩ||100 kΩ=9,091 kΩ).

Symulacja znajduje stałoprądowy punkt pracy. Wyniki są pokazane na **listingu 1**.

Napięcie wyjściowe dla przypadku idealnego wynosi 0 V (nie ma przesunięcia). Po dodaniu prądów polaryzujących przesunięcie na wyjściu wynosi 10 mV (0,01 [V]), co stanowi 100 nA·100 kΩ. Jest to spadek napięcia wywołany prądem polaryzującym w rezystorze sprzężenia zwrotnego RF2. Dodanie rezystora równoważącego RB3 zmniejsza przesunięcie do około 0,1 µV (–1,04308e-007 [V]), co dowodzi, że dodanie rezystora równoważącego może (w sprzyjających okolicznościach) znacznie zredukować przesunięcie spowodowane prądami polaryzacji.

Wewnętrzna polaryzacja wejść

Skuteczne użycie rezystora równoważącego zależy od tego, czy różnice napięcia wejściowego wywołane przez prądy polaryzacji przy braku rezystora są większe niż jakiekolwiek inne efekty spowodowane przez rezystor. W rzeczywistych układach nie zawsze tak jest. We wzmacniaczu operacyjnym na tranzystorach bipolarnych prądy polaryzacji wejść wynikają głównie z prądów bazy tranzystorów wejściowych, a tranzystory te mają niemal identyczne charakterystyki, więc obydwa prądy polaryzacji IB są sobie prawie równe (znacznie większe niż IOS). **Rysunek 7** przedstawia elementarny wzmacniacz różnicowy, będący stopniem wejściowym wzmacniacza operacyjnego (rzeczywiste wzmacniacze są bardziej wyrafinowane, ale chodzi nam tu o ilustrację zjawiska). Przy braku sygnału (V_{in1} i V_{in2} na potencjale 0 V) prąd źródła prądowego DiffAmpBias (I_{BDiff}) dzieli się równo między oba jednakowe tranzystory. Aby przez tranzystory płynął prąd, muszą do nich wpływać prądy bazy. Każdy z tych prądów wynosi

$$\frac{I_{BDiff}}{2\beta}$$

gdzie β to wzmocnienie prądowe tranzystora. Jest to wejściowy prąd polaryzacji. Niezgodność charakterystyk tranzystorów spowoduje nieznaczną różnicę prądów bazy, czyli wejściowy prąd niezrównoważenia. Kierunek prądu bazy tranzystora jest wyznaczony przez jego polaryzację (NPN/PNP), zatem kierunek wejściowego prądu polaryzacji również jest określony.

Zazwyczaj wejściowy prąd niezrównoważenia jest co najmniej dziesięć razy mniejszy od wejściowego prądu polaryzacji i metoda wyrównywania rezystancji zadowalająco spełnia swoje zadanie. Niektóre wzmacniacze operacyjne mają specjalne wewnętrzne obwody prądu polaryzacji. Do baz obu tranzystorów wejściowych dołączone są źródła prądowe, które dostarczają (prawie dokładnie) wymaganego prądu polaryzacji. Spójrzmy na rysunek 8. Źródło prądowe DiffAmpBias zapewnia prąd I_{BDiff} rozpływający się do emiterów, a wymagane prądy bazy (wejściowe prądy polaryzacji, I_{Bin}) są dostarczane przez źródła InputBias1 i InputBias2. Prądy te można w układzie scalonym uzyskać, wytwarzając prąd równy połowie I_{BDiff} (korzystając z tego samego napięcia odniesienia co źródło DiffAmpBias), kierując ten prąd do tranzystora o charakterystyce identycznej z Q_1 i Q_2 i wykorzystując jego prąd bazy jako odniesienie dla źródeł prądowych InputBias.

Niepowodzenie metody wyrównywania rezystancji

W przypadku wzmacniaczy operacyjnych z wewnętrzną polaryzacją wejść, prąd wpływający z zewnątrz jest różnicą między wewnętrznym prądem polaryzującym a prądem bazy, który faktycznie pobiera tranzystor (rysunek 8). Wówczas „wejściowy prąd polaryzacji" wzmacniacza jest równy tej niewielkiej różnicy prądów, a nie pełnemu prądowi polaryzacji tranzystora. W kartach katalogowych różnica ta jest jednak dalej określana jako „wejściowy prąd polaryzacji". Mamy tu do czynienia z balansowaniem między dwiema prawie równymi sobie wielkościami, które

eprasa.pl 514c4ae447

Listing 1.

```
--- Operating Point ---
V(in):                0                    voltage
V(vp):                5                    voltage
V(vn):                -5                   voltage
V(n003):              -0.000909099         voltage
V(n004):              -0.000909099         voltage
V(out_balanced):      -1.04308e-007        voltage
V(n001):              -1.00025e-013        voltage
V(out_with_bias):     0.01                 voltage
V(n002):              0                    voltage
V(out_ideal):         0                    voltage
```

Listing 2

```
--- Operating Point ---
V(in):                0                    voltage
V(vp):                5                    voltage
V(vn):                -5                   voltage
V(n003):              9.09099e-005         voltage
V(n004):              9.09099e-005         voltage
V(out_balanced):      0.00200001           voltage
V(n001):              -9.99025e-015        voltage
V(out_with_bias):     0.001                voltage
V(n002):              0                    voltage
V(out_ideal):         0                    voltage
V(out_ideal):         0                    voltage
```

podlegają naturalnym wahaniom. Zarówno wartość średnia jak i odchyłki prądu wejściowego wzmacniacza są tego samego rzędu, a prąd ten może mieć polaryzację zarówno dodatnią jak i ujemną. Wzmacniacze operacyjne z wewnętrzną polaryzacją mają zwykle podobne wartości wejściowego prądu polaryzacji i wejściowego prądu niezrównoważenia ($I_B \approx I_{OS}$). A to oznacza, że dodanie rezystora równoważącego może przynieść niewielką poprawę, nie przynieść jej wcale albo nawet pogorszyć sytuację, zwiększając przesunięcie napięcia na wyjściu.

Jako przykład powtórzymy symulację z rysunku 6, przyjmując $I_{B1_2}=I_{B1_3}=10$ nA oraz (uwaga na przeciwne znaki! przypis redaktora) $I_{B2_2}=I_{B2_3}=-10$ nA. Symuluje to sytuację mogącą się zdarzyć, gdy wzmacniacz operacyjny ma wewnętrzną polaryzację wejść. Otrzymujemy wyniki pokazane na **listingu 2**.

W tym przypadku dodanie rezystora równoważącego podwoiło – zamiast zniwelować – przesunięcie napięcia wyjściowego: z 1 mV (0,001 [V]) do 2 mV (0,00200001 [V]).

We wzmacniaczach operacyjnych z wejściem FET, prądy „polaryzacji" to prądy upływu bramek tranzystorów i wejściowych diod zabezpieczających. Prądy te są zwykle znacznie mniejsze niż we wzmacniaczach na tranzystorach bipolarnych, ale mogą znacznie wzrosnąć w przypadku napięć wejściowych bliskich napięciu zasilania ze względu na „otwieranie się" diod zabezpieczających. Przypis redaktora: w wysokich temperaturach wzrastają również prądy upływu bramek tranzystorów FET.

W przypadku wzmacniaczy operacyjnych o niskim wejściowym prądzie polaryzacji, przesunięcia napięcia wyjściowego spowodowane przez ten prąd mogą okazać się znacznie mniejsze niż przesunięcia spowodowane wejściowym napięciem niezrównoważenia. W takim przypadku dodanie rezystora wyrównującego może dać niewielką poprawę, ale w ogólnym rachunku nie wniesie dużej różnicy. Z dodaniem takiego rezystora wiąże się natomiast problem wnoszenia do układu szumu cieplnego. Szum na wyjściu będzie tym większy, im większa jest rezystancja i czym większe jest wzmocnienie układu. Szum rezystora wyrównującego będzie wzmacniany „wzmocnieniem dla szumu".

Podsumowanie: zastosowanie rezystora wyrównującego z pewnością ma szansę zmniejszyć przesunięcie napięcia wyjściowego, ale zależy to od typu wzmacniacza operacyjnego i z pewnością nie stanowi uniwersalnej recepty na poprawę parametrów układu. ■

Ian Bell

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

REKLAMA



eprasa.pl 514c4ae447

KickStart

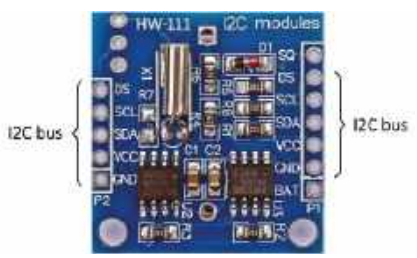
Część 7: łatwe początki z I²C

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 użyć do własnych potrzeb.

Niniejsza, siódma część cyklu stanowi wprowadzenie do popularnego i prostego w użyciu interfejsu I²C. Przedstawimy użyteczny przykład praktyczny w postaci radia FM opartego na Arduino Nano, wykorzystującego I²C do sterowania zarówno modułem radiowym jak i wyświetlaczem OLED.

Współczesne mikrokontrolery i komputery jednopłytkowe dysponują bardzo wygodnym sposobem łączenia się z urządzeniami zewnętrznymi poprzez uniwersalny dwuprzewodowy interfejs, obsługiwany przez szeroką gamę układów scalonych. System ten, znany jako „IIC", „I2C" lub „I²C", pozwala na łatwe połączenie mikrokontrolera z różnymi układami – portami wejścia/wyjścia, czujnikami temperatury, ciśnienia i wilgotności, magnetometrami, zegarami czasu rzeczywistego, czujnikami ruchu oraz sterownikami wyświetlaczy. I²C znajduje się również w szeregu innych interesujących układów – na przykład w radioodbiorniku FM opisanym w tym artykule.

I²C to bardzo prosty system magistrali, w którym na jednej linii (SDA) są dwukierunkowo przesyłane dane szeregowe, a na drugiej linii (SCL) jest podawany sygnał zegarowy. System wymaga więc tylko dwóch przewodów – plus oczywiście masy. Aby nie dochodziło do konfliktów, każde urządzenie podłączone do magistrali I²C jest programowo adresowane przy użyciu unikatowego adresu. Zaletą przyjęcia tych minimalistycznych wymagań jest to, że system oparty na I²C można bardzo łatwo modyfikować i rozszerzać bez konieczności wprowadzania większych zmian sprzętowych.



Rysunek 7.1. Tani moduł zegara czasu rzeczywistego (RTC) do użytku z szeroką gamą mikrokomputerów i mikrokontrolerów z interfejsem I²C

Pomysłodawcą standardu I²C była firma Philips, ale produkty kompatybilne z I²C opracowało też kilku jej wiodących konkurentów (w tym Motorola/Freescale, NEC, Siemens, STM i Texas Instruments). Powstał również standard SMBus firmy Intel – wersja I²C o precyzyjniej zdefiniowanych parametrach, dzięki czemu wzrasta wymienność układów pochodzących od różnych producentów.

Rysunek 7.1 przedstawia typowy układ I²C – moduł zegara czasu rzeczywistego (RTC) zasilany bateryjnie. Interfejs I²C sprawia, że bardzo łatwo jest dołączyć ten moduł do większości systemów mikroprocesorowych i mikrokontrolerów. W celu uproszczenia połączeń złącza magistrali I²C są zdublowane i zostały rozmieszczone na przeciwległych krańcach płytki modułu.

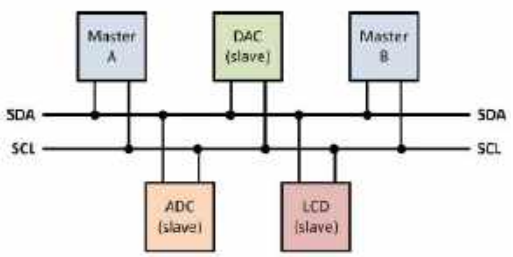
Kluczowe cechy

Podstawowe cechy magistrali I²C:

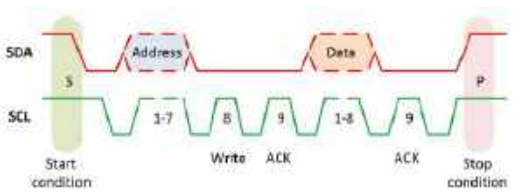
- tylko dwie linie sygnałowe (plus masa), co upraszcza system połączeń;
- każde urządzenie podłączone do magistrali I²C może być programowo adresowane przy użyciu unikatowego adresu (przykłady w **tabeli 7.1**);
- między połączonymi urządzeniami zachodzi relacja *master*/*slave* (urządzenia mogą być **nadrzędne** i **podrzędne**; przypis redaktora); układy nadrzędne mogą być nadajnikami lub odbiornikami;
- magistrala I²C dopuszcza istnienie kilku układów *master*, a jej protokół obejmuje wykrywanie kolizji i arbitraż w celu zapobieżenia utracie danych, gdy dwa lub więcej *masterów* jednocześnie próbuje uruchomić komunikację;
- komunikacja odbywa się szeregowo, dwukierunkowo, z prędkością do 100 kbit/s w trybie standardowym i do 400 kbit/s w trybie szybkim; w większości niekrytycznych aplikacji prędkości te są całkowicie wystarczające;
- w celu zmniejszenia wrażliwości na zakłócenia układy I²C dysponują opcjonalnymi filtrami dla sygnałów magistrali;
- ilość układów, które można ze sobą podłączyć, jest ograniczona jedynie przez maksymalną pojemność elektryczną magistrali wynoszącą 400 pF; sprawia to, że system połączeń I²C jest niezwykle łatwo rozszerzalny.

Logika magistrali

Ze wspólnej linii danych korzysta wiele urządzeń. Do identyfikacji



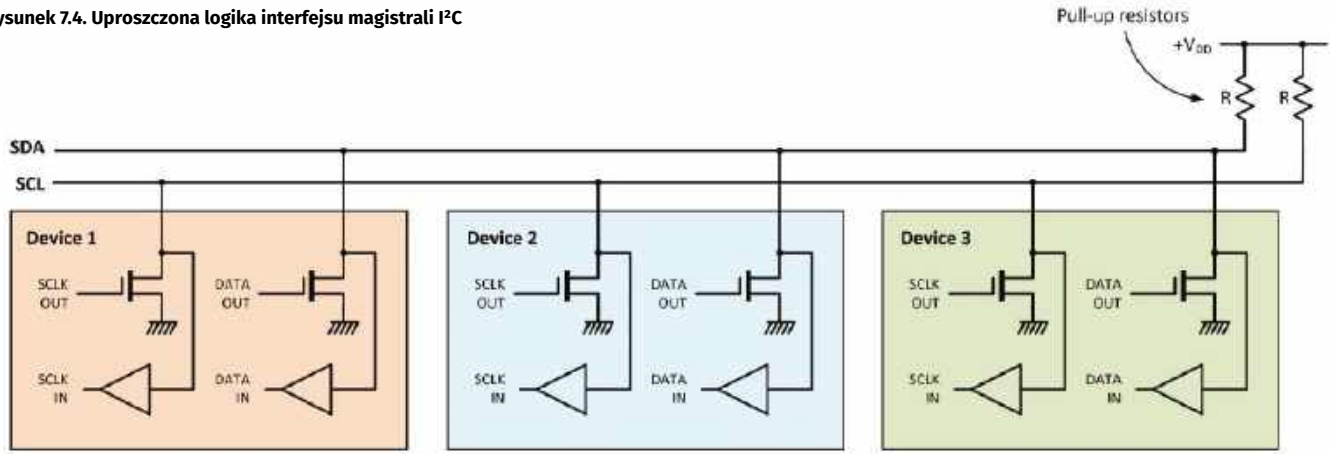
Rysunek 7.2. Magistrala I²C z dwoma urządzeniami nadrzędnymi i trzema podrzędnymi



Rysunek 7.3. Komunikacja na magistrali I²C

eprasa.pl 514c4ae447

Rysunek 7.4. Uproszczona logika interfejsu magistrali I²C



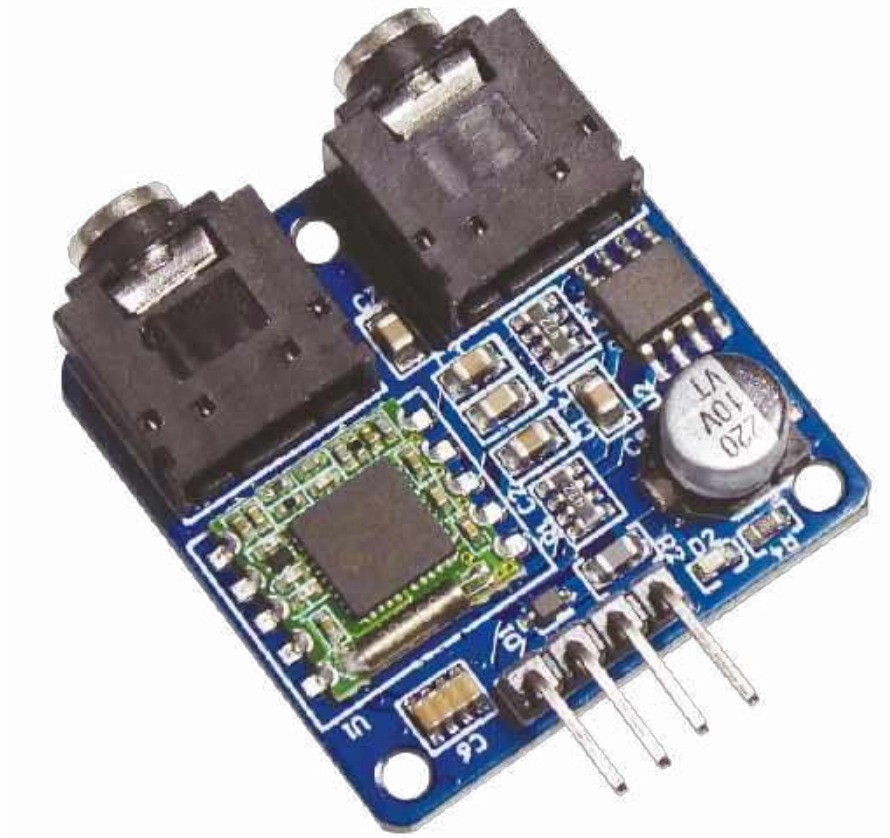
urządzenia, z którym ma się odbyć komunikacja, I²C wykorzystuje system adresowania. Komunikacja danych jest inicjowana specjalną sekwencją startową. Polega ona na ściągnięciu linii danych SDA w stan niski w czasie, gdy linia zegara SCL jest w stanie wysokim. Osiąga się to za pomocą bardzo prostego układu, w którym każda z obu linii jest w stanie spoczynku podciągana do stanu wysokiego (rezystorem; przypis redaktora) i jest ściągana do stanu niskiego przez podłączone do magistrali urządzenie (**rysunek 7.2**).

Rysunek 7.3 pokazuje prostą wymianę danych na magistrali, rozpoczynającą się od sekwencji startu (S) i zakończoną sekwencją stopu (P). Zwróćmy uwagę, że na linii SDA jest najpierw przesyłany adres (od 1. do 7. taktu zegara pierwszego cyklu magistrali), a od 1. do 8. taktu zegara następnego cyklu magistrali transmitowane są dane. Przed i po całej transakcji linie magistrali znajdują się w stanie spoczynku.

Rysunek 7.4 przedstawia uproszczony schemat elektryczny połączeń na magistrali I²C. W każdym urządzeniu do wysyłania i odbierania zarówno zegara (SCL) jak i danych (SDA) jest używany układ dwukierunkowy. Sygnały odbierane są buforowane w bramkach o wielkiej impedancji wejściowej, natomiast sygnały wychodzące wytwarza tranzystor MOS w układzie z „otwartym drenem". Linie magistrali wymagają zatem rezystorów podciągających, wymuszających wysokie stany logiczne przed warunkiem początkowym (S) i po warunku końcowym (P), jak widać na rysunku 7.3.

Adresowanie

Po zakończeniu sekwencji startowej zmiany na linii danych mają prawo zachodzić tylko wtedy, gdy linia zegara jest w stanie niskim. W wersji podstawowej protokołu I²C, na adres urządzenia,



Rysunek 7.5. Moduł radia FM z układem TEA5767

Tabela 7.1. Adresy I²C wybranych układów

układ	funkcja/zastosowanie	zakres adresów
BME280	Czujnik temperatury, ciśnienia i wilgotności	0x76 lub 0x77
CAP1188	8-kanałowy pojemnościowy czujnik dotykowy	0x28 do 0x2D
MCP23008	Ekspander I²C GPIO	0x20 do 0x27
MCP9808	Cyfrowy czujnik temperatury	0x18 do 0x1F
PCA9685	16-kanałowy sterownik PWM	0x40 do 0x7F
SAA2502	Dekoder źródła dźwięku MPEG	0x30 i 0x31
SSD1306	Sterownik wyświetlacza OLED	0x37
TDA9860	Procesor dźwięku Hi-Fi	0x40 do 0x41
TEA5767	Odbiornik radiowy FM	0x60
TMP007	Czujnik temperatury na podczerwień	0x40 do 0x47

eprasa.pl 514c4ae447

z którym się komunikujemy, jest przeznaczonych 7 bitów (rysunek 7.3). Magistrala może obsłużyć 127 urządzeń. Ósmy bit pierwszego bajtu wysyłanego przez układ master informuje, czy kolejne dane będą transmitowane z (0) czy do (1) mastera. Przesyłanie adresu rozpoczyna się od najbardziej znaczącego bitu. W tabeli 7.1 przedstawiono adresy przykładowych układów I²C. To pomoże uzmysłowić sobie jak uniwersalna i przydatna jest ta magistrala. Adresy są podane w układzie szesnastkowym, czyli 0x20 oznacza 32 w systemie dziesiętnym i 100000 w dwójkowym.

I²C w porównaniu z SPI

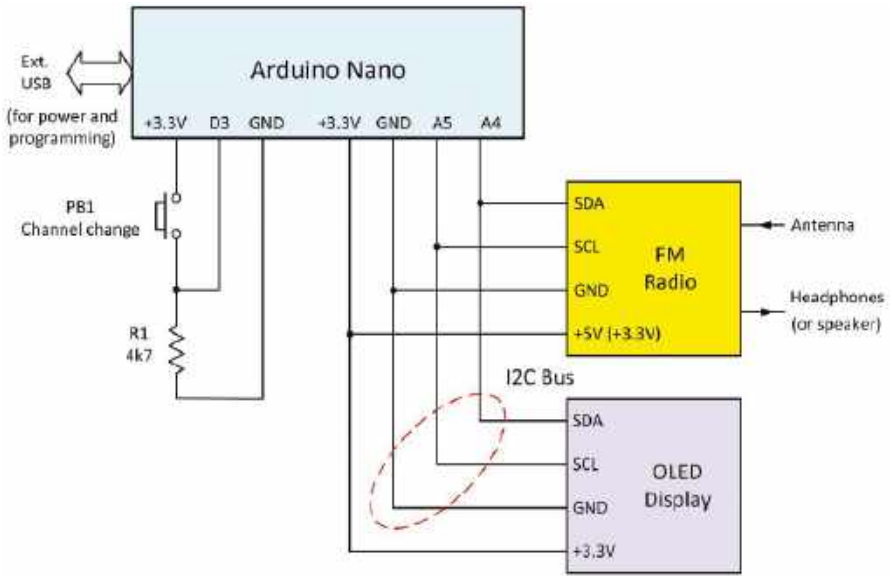
I²C to system bardzo prosty. Dane są przesyłane dwukierunkowo na jednej linii (SDA), a zegar na drugiej (SCL). Standard SPI zapewnia połączenie dupleksowe, gdzie dane są przekazywane w każdym kierunku po oddzielnej linii (MOSI i MISO) i może się to odbywać jednocześnie. SPI jest zatem szybszy. Jest też często łatwiejszy w użyciu niż I²C. Pomimo to często występuje sytuacja, że stosowany jest jednak I²C – tylko dlatego, że jest to jedyny interfejs w układzie lub urządzeniu, które ma być użyte!

Przedstawiamy układ radioodbiornika TEA5767

TEA5767 (**rysunek 7.5**) to jednoukładowy, strojony elektronicznie radioodbiornik stereofoniczny FM, sterowany przez magistralę I²C, zaprojektowany specjalnie do użytku w prostych zastosowaniach niskonapięciowych. Układ nie wymaga żadnej regulacji i potrzebuje jedynie kilku małych i tanich elementów zewnętrznych. Główne cechy tego radia to:

- zintegrowany wzmacniacz w.cz. zapewniający wysoką czułość
- zakres częstotliwości: 87,5...108 MHz (USA i Europa) lub 76...91 MHz (Japonia)
- automatyczna regulacja wzmocnienia (AGC) toru w.cz.
- w pełni zintegrowany demodulator FM
- wewnętrzny selektywny tor pośredniej częstotliwości
- kwarcowy oscylator częstotliwości odniesienia (32,768 kHz lub 13 MHz) albo zegar zewnętrzny 6,5 MHz
- strojenie poprzez syntezer częstotliwości z pętlą synchronizacji fazowej (PLL)
- „miękkie" wyciszanie oraz przełączanie mono/stereo sterowane sygnałem.

TEA5767 jest łatwy w użyciu i do wyboru stacji wymaga napisania tylko kilku wierszy programu. Poniższy wiersz ustawia na przykład częstotliwość odbioru TEA5767



Rysunek 7.6. Schemat radia ze sterowaniem przez I²C

na 104,8 MHz (BBC Radio Sussex; Wielka Brytania):

```
radio.setFrequency(104.8);
// BBC Radio Sussex
```

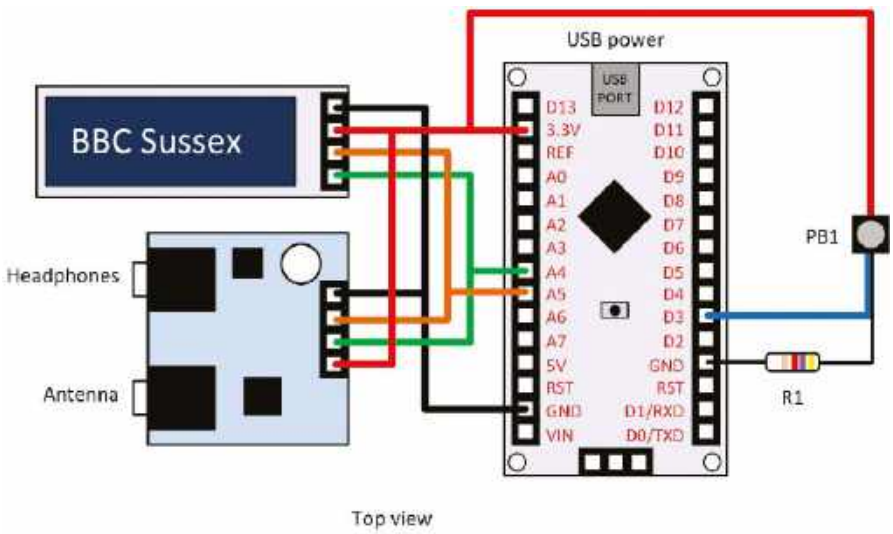
Nie zapominajmy, że najpierw należy dołączyć do programu odpowiednie biblioteki. W przeciwnym razie zostanie wygenerowany komunikat o błędzie, a aplikacja po prostu się nie uruchomi.

Wyświetlacz OLED

W projekcie zastosowano 0,91-calowy wyświetlacz OLED (na organicznych diodach elektroluminescencyjnych), zawierający matrycę 128×32 pikseli. Matryca jest sterowana przez wbudowany układ sterownika SSD1306, wyposażonego w interfejs I²C. Adres tego sterownika to 0x3C. SSD1306 działa przy napięciu zasilania 3,3...5 V, a typowy pobór prądu jest poniżej 8 mA. Wyświetlacz OLED jest bardzo łatwy w użyciu i wymaga jedynie kilku wierszy programu. Poniższy przykładowy fragment programu wyświetla prostą wiadomość tekstową:

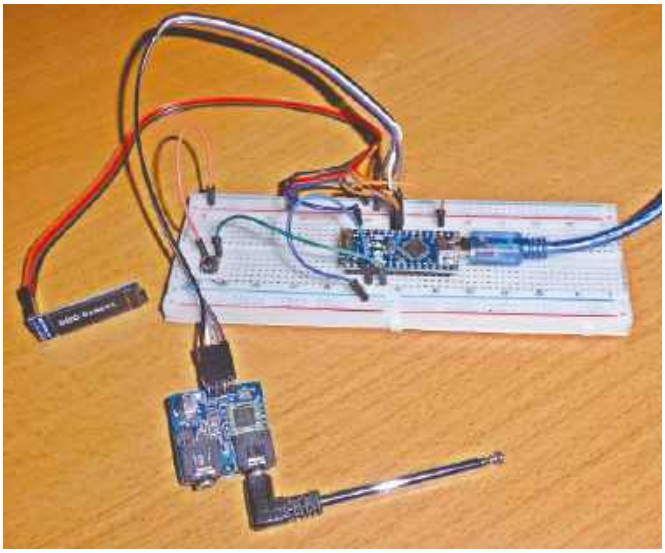
```
u8g2.clearBuffer();
// wyczyść pamięć wyświetlacza
u8g2.setFont(u8g2_font_helvB14_tf);
// wybierz czcionkę
u8g2.drawStr(0,25,„BBC Radio Sussex”);
// przygotuj tekst do wyświetlenia
u8g2.sen dBuffer();
// wyślij go do wyświetlacza
```

Znów należy pamiętać, że do treści programu trzeba dołączyć odpowiednie biblioteki,



Rysunek 7.7. Układ połączeń radioodbiornika

eprasa.pl 514c4ae447



Rysunek 7.8. Test prototypu radioodbiornika dostrojonego do stacji BBC Radio Sussex

a przed użyciem wyświetlacza jego sterownik musi wpierw zostać zainicjalizowany.

Radioodbiornik z I²C

Schemat naszego radia FM sterowanego przez I²C pokazano na **rysunku 7.6**. Widzimy sterownik Arduino Nano, połączony poprzez magistralę I²C z układem radiowym TEA5767 i wyświetlaczem. Linie SDA i SCL są dołączone odpowiednio do pinów A4 i A5 w Arduino Nano.

Program sterujący (I²C_FM_radio.ino) można pobrać ze strony https://elportal.pl/do-pobrania.

Przycisk zmiany stacji (PB1) jest dołączony w Arduino Nano do wejścia cyfrowego D3. Pin ten jest zaprogramowany jako wejście w dwóch wierszach programu:

```
const int buttonPin = 3;
// przycisk zmiany kanału
pinMode(buttonPin,INPUT);
```

Kolejnymi przyciśnięciami przycisku PB1 wybieramy jedną z czterech stacji radiowych. Stan przycisku (HIGH lub LOW) jest zapisywany w zmiennej buttonState.

W programie wpisano parametry stacji nadających w rejonie hrabstwa Sussex w Wielkiej Brytanii, ale można je łatwo zmienić na lokalne. Wystarczy dla każdej z czterech stacji wpisać nowy tekst i częstotliwość. Można też dodawać kolejne stacje, dopisując za blokiem „if (channel == 4)" kolejne bloki. Konieczna będzie wtedy zmiana programu w górnej części pętli głównej, uwzględniająca nową ilość stacji.

Kilka najpopularniejszych stacji wymieniono w **tabeli 7.2**, a większość brytyjskich Czytelników powinna znajdować się w zasięgu jednej lub więcej z nich.

Przypis redaktora: dla polskiego Czytelnika lista stacji z tabeli 7.2 będzie mało przydatna. W miejsce oryginalnych pozycji trzeba będzie wprowadzić parametry kilku stacji krajowych.

Tabela 7.2. Niektóre popularne stacje radiowe FM w Wielkiej Brytanii (i w Polsce)

Stacja	Częstotliwość (MHz)
BBC Radio Bristol	94,9 i 104,6
BBC Radio Cornwall	95,2 i 103,9
BBC Radio Cymru	92,4 i 92,7
BBC Essex	95,3 i 103,5
BBC Radio Humberside	95,9
BBC Radio Kent	96,7 i 104,2
BBC Londyn	94,9
BBC Radio Manchester	95,1
BBC Merseyside	95,8
BBC Radio Scotland	92,5, 92,6, 92,7, 92,8, 92,9 itd.
BBC Radio Sheffield	88,6
BBC Radio Solent	96,1 i 103,8
BBC Radio Ulster	93,1
BBC Radio Wales	90,2, 90,3, 90,4, 90,5, 90,4 itd.
BBC Radio York	95,5, 103,7 i 104,3
Belfast 89FM	89,3
Capital FM	97,4, 103,2
Classic FM	100,1, 100,2, 100,3, 100,4 itd.
Radio Greatest Hits	96,2 i 97,4
Serce (Essex, Solent, Surrey, Sussex)	97,5
Serce (North East, West Midlands)	100,7, 101,2
Serce (Północna Walia)	88,0
Serce (Szkocja)	101,1, 103,3
Heart (South West)	100,8, 101,2
Radio Manx	88,9
RMF FM Warszawa Raszyn	91,0
Eska Rock Warszawa Varso	93,3
Trójka Warszawa Raszyn	98,8
Program 1 Warszawa Raszyn	102,4
Program 2 Warszawa Centrum LIM	104,9
Radio Zet Warszawa PKiN	107,5

Konstrukcja

Schemat połączeń w układzie radia widzimy na **rysunku 7.7**. Wszystkie trzy moduły (Arduino Nano, TEA5767 i wyświetlacz) można wygodnie zamontować w małej obudowie z ABS, wysuwając na zewnątrz dwa gniazda jack 3,5 mm modułu TEA5767, używane do dołączenia anteny i słuchawek/głośnika. Na zewnątrz obudowy należy również wystawić złącze USB modułu Arduino, niezbędne do doprowadzenia zasilania (5 V) i do programowania. Na **rysunku 7.8** pokazano prototyp radia na płytce stykowej.

Projekt daje wiele możliwości modyfikacji i eksperymentowania. Jako przełącznik stacji można zaimplementować pojemnościowy czujnik dotykowy. Można dodać enkoder obrotowy do przestrajania całego pasma UKF (w krokach 100 kHz). Arduino Nano można zastąpić przez Arduino Uno. Zamiast złącza USB można dać standardowe gniazdko do zasilacza. Sporo inspiracji powinny dać Czytelnikowi dwie prezentacje na YouTube, wymienione w rozdziale Idąc dalej.

Co będzie potrzebne?

Do zbudowania radia z I²C wymagane są poniższe elementy:

- Arduino Nano
- moduł radiowy FM TEA5767 z interfejsem I²C (patrz **Idąc dalej**)

eprasa.pl 514c4ae447

Tabela 7.3. Dalsze kroki z I²C

Temat	Źródło	Uwagi
poznajemy magistralę I²C	Przydatne wprowadzenie do I²C ma Texas Instruments: https://bit.ly/pe-Feb22-ks1 Wyczerpujący katalog adresów I²C można znaleźć na stronie https://i2cdevices.org	Doskonałe wprowadzenie do I²C w programie PowerPoint można znaleźć na stronie https://bit.ly/pe-feb22-ks2 Aby zidentyfikować adres I²C podłączonego urządzenia, przyda się aplikacja skanera (i2c_scanner), która jest jednym z przykładowych plików w bibliotece I²C Wire. Uwaga: szkic ten testuje standardowe adresy 7-bitowe; urządzenia o wyższych adresach mogą nie być prawidłowo rozpoznawane
Arduino Nano	Witryna Arduino udostępnia różne zasoby dla Nano: https://bit.ly/pe-dec21-ard1 Zintegrowane środowisko programistyczne (IDE) Arduino można pobrać ze strony https://bit.ly/pe-feb22-ks3 Kompleksowym źródłem pomysłów i praktycznych informacji będzie Electronics Teach-In 8 – Introducing the Arduino (dostępny na stronie Practical Electronics)	Arduino Nano można zastąpić przez Uno, ale będzie to wymagało użycia znacznie większej obudowy. Dla pobrania dwóch plików bibliotecznych wymienionych w programie może być konieczne użycie wbudowanego menedżera bibliotek IDE
Moduł radiowy FM TEA5767	Moduł jest dostępny u kilku dostawców internetowych, w tym w Amazonie i na eBay. Karta katalogowa NXP/Philips samego układu scalonego (nie kompletnego modułu!) jest pod adresem https://bit.ly/pe-feb22-ks4	Bardziej złożony projekt radia FM opartego na TEA5767 można znaleźć na stronie https://bit.ly/pe-feb22-ks5 Szczegółowe informacje na temat radia FM TEA5767 opartego na Arduino Uno (nie Nano!) zawiera samouczek: https://bit.ly/pe-feb22-ks6
0,91-calowy wyświetlacz OLED	Wyświetlacz ze sterownikiem SSD1306 jest dostępny u dostawców internetowych, m.in. AZ-Delivery, Amazon i eBay. Szukaj pod hasłem 0.91" inch OLED SSD1306	AZ-Delivery zapewnia przydatny eBook: przewodnik szybkiego startu. Można go pobrać bezpłatnie spod adresu https://bit.ly/pe-feb22-ks7
Filmy na YouTube	Csongor Varga sporządził szczegółowy film pokazujący moduł radiowy TEA5767 w akcji: https://youtu.be/yp0HVGjakMs Ralph Bacon przygotował inne doskonałe wprowadzenie do TEA5767: https://youtu.be/yWf9uxL6zgE	Prezentacje te różnią się stylem i treścią, ale obie dostarczą wielu przydatnych informacji ogólnych oraz kilku pomysłów przydatnych do dalszego rozwijania tematu

- moduł wyświetlacza OLED z interfejsem I²C (patrz **Idąc dalej**)
- antena teleskopowa z wtyczką jack 3,5 mm (często jest razem w zestawie z modułem TEA5767)
- słuchawki lub głośnik z wtyczką stereo jack 3,5 mm
- miniaturowy przełącznik przyciskowy „NO" (normalnie otwarty)
- rezystor 4,7 kΩ
- przewód USB do podłączenia z komputerem (w celu zaprogramowania)
- zasilacz USB 5 V DC (lub dowolny zasilacz stabilizowany 5 V)
- mała obudowa z ABS albo (do celów testowych) prototypowa płytka stykowa.

Idąc dalej

W **tabeli 7.3** wymieniono szereg źródeł, które pomogą Czytelnikowi zdobyć niezbędne elementy i w których można znaleźć dalsze informacje na temat I²C. Tabela zawiera również linki internetowe do materiałów teoretycznych i kart katalogowych producentów. ■

Mike Tooley

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

REKLAMA

Poprzednie części serii KickStart

Znajdziesz w archiwum na stronie www.ulubionykiosk.pl

eprasa.pl 514c4ae447

Ekscytacje Maxa

Migające diody LED i śliniący się inżynierowie (20)

Właśnie wróciłem z Doliny Krzemowej, gdzie pracowałem nad pilnym zadaniem o charakterze, którego nie mogę zdradzić, dla firmy, której nazwa musi pozostać tajemnicą, z osobami, których tożsamości nie wolno mi ujawnić. Obawiam się, że i tak powiedziałem już zbyt wiele...

Była to z jednej strony ciężka praca. Wstawałem o 5:30 i pracowałem do 23:00, po czym wracałem do hotelu dogodnie położonego po drugiej stronie ulicy – i następnego dnia zaczynałem od nowa.

Z drugiej strony – zabawa była świetna, ponieważ pracowałem z crème de la crème technicznych mądrali. Musiałem przy nich jakoś zabłysnąć, zyskać wiarygodność. Na szczęście wszedłem niedawno w posiadanie nowej inteligentnej wizytówki (**rysunek 1**). Mogłem nią odwracać uwagę od moich skromnych umiejętności. To drewniane cacko (są też wersje plastikowe), grawerowane laserowo, zostało mi podarowane przez miłych ludzi z Mobilo. Zdecydowałem się na wersję drewnianą, ponieważ jestem zauroczony estetyką „steampunk".

Możecie myśleć: „Wielkie mi co, drewniana wizytówka, co w tym takiego wspaniałego?". No, gdybyśmy mieli pod ręką smartfon, to pokazałbym Wam. Chodzi o to, że nie trzeba chodzić zataczając się pod ciężarem kilku takich kart. Jedna wystarczy. Wszystko, co muszę zrobić, to pomachać kartą nad smartfonem wyposażonym w funkcję NFC (komunikacja bliskiego zasięgu), a moje dane kontaktowe – w tym zdjęcie, imię i nazwisko, nazwa firmy, adres, numer telefonu i strona internetowa – pojawią się na ekranie. I wystarczy jedno dotknięcie palcem, by właściciel telefonu dodał mnie do swojej listy kontaktów.

Pomijając wszelkie inne argumenty – kiedy dookoła zagraża nam światowa pandemia, to technika bezkontaktowych wizytówek XXI wieku eliminuje obawy związane z braniem do rąk wizytówek tradycyjnych, mogących przenosić jakieś wirusy. Dla mnie dodatkową zaletą jest to, że ta karta działa na różnych technicznych gamoniów niczym przynęta na ryby. Więcej informacji na MobiloCard.com.

GROK – słowo na cztery litery

Słowo „grok" jest neologizmem ukutym przez amerykańskiego pisarza Roberta A. Heinleina na potrzeby jego powieści science fiction z 1961 roku „Stranger in a Strange Land" (Obcy w obcym kraju).



Rysunek 1. Oto moja nowa wizytówka inteligentna

Oxford English Dictionary ujmuje znaczenie słowa „grok" jako: „rozumieć intuicyjnie, ze zrozumieniem, nawiązywać relację" i „empatyzować lub komunikować się empatycznie (z)"; także „doświadczać przyjemności". U Heinleina sens był nieco odmienny.

Oto powód, dla którego o tym wspominam. W jednym z poprzednich odcinków (EdW 4/2025) pisałem, że jedną z rzeczy, które planuję zrobić z moim 10-znakowym wyświetlaczem wiktoriańskim (gdzie każdy znak jest tworzony z 21 segmentów), jest zrealizowanie dzieła sztuki słownej wykreowanego w 2007 roku przez Matta Gorbetta (https://bit.ly/2THZLQf). W ramach tej realizacji zamierzam pod każdym znakiem zamontować potencjometr. W realizacji Matta wszystko zaczynało się od wyświetlenia komunikatu „I #### YOU" (JA CIĘ ####) – który, jeśli policzymy dwie spacje, zająłby wszystkie 10 znaków mojego wyświetlacza. Idea dzieła polega na tym, że uczestnik eksperymentu może zmieniać odpowiednim potencjometrem każdą z 4 liter oznaczonych krzyżykiem. Mogą przy tym powstawać różne zdania, m. in. wyrażające uczucia – np. I LOVE YOU (KOCHAM CIĘ), choć może też powstać deklaracja I HATE YOU (NIENAWIDZĘ CIĘ), co pewnie skończyłoby się dla kogoś spaniem na kanapie zamiast w małżeńskiej sypialni... Po ustawieniu przez uczestnika jakiegoś słowa jest ono wyświetlane przez kilka sekund, po czym system zaczyna zmieniać poszczególne litery, tworząc wypowiedzi alternatywne – aż w końcu powraca do pierwotnego zdania „I #### YOU".

Ile może być słów czteroliterowych? Gdybyśmy mieli uwzględnić każdą kombinację liter alfabetu angielskiego, mielibyśmy tych słów 26·26·26·26=456 976. Oczywiście wielu z tych kombinacji nie używamy – z tego czy innego powodu. Są wśród nich takie, które dosłownie łaskoczą w uszy. Na przykład od dawna nie miałem ochoty, żeby xqzn mój oiwk. Chyba nie jestem już tak elastyczny jak kiedyś... Gdy nikt nie patrzył, wygooglowałem, że według 6. tomu Oficjalnego Słownika Scrabble, w języku angielskim legalnych słów czteroliterowych jest 3996.

Tak przy okazji – Word-Buff.com informuje nas, że 93 z tych czteroliterowych słów zawiera trzy samogłoski i jedną spółgłoskę, natomiast jest jedno składające się wyłącznie z samogłosek: EUOI, które było „okrzykiem beznamiętnego uniesienia w starożytnych biesiadach bachicznych". Myślę, że podobnego uniesienia doznałem kiedyś, gdy upuściłem sobie młotek na stopę...

Dla porównania: 47 czteroliterowych słów zawiera po trzy spółgłoski, np. HYMN: pieśń religijna lub wiersz pochwalny na cześć boga, LYCH: saksońskie słowo oznaczające martwe ciało (być może kogoś, kogo hymny uznano za niezadowalające) czy MYTH: szeroko rozpowszechnione, ale fałszywe przekonanie lub idea (np. przekonanie, że ma się pojęcie, o czym się mówi).

Mała dygresja. Załóżmy, że przechowujemy listę 3996 słów czteroliterowych w pamięci naszego mikrokontrolera. Będzie to wymagało 15984 bajtów pamięci (jeden bajt na każdą literę). Dla Arduino Uno

eprasa.pl 514c4ae447

stanowiłoby to problem. Ale gdy przypomnimy sobie, że do sterowania moim wiktoriańskim wyświetlaczem używam Teensy 3.6, a to cudeńko może się pochwalić 1 MB pamięci Flash i 256 KB pamięci RAM, problem znika.

A jak moglibyśmy generować słowa pochodne na podstawie słowa oryginalnego, wprowadzonego przez uczestnika eksperymentu? Najprościej byłoby po prostu losowo wyszukać jedno ze słów, które różni się od słowa obecnego jedną literą, i zamienić tę literę, a następnie powtarzać cały proces przez pewną liczbę cykli, po czym wrócić do stanu „I #### YOU". Z jednej strony – ujrzymy wiele zdań bezsensownych, ale z drugiej – wieloma pojawiającymi się wyrażeniami będziemy zaskoczeni i zachwyceni.

Inna możliwość to skojarzenie każdego słowa z naszej listy z jego logicznym przeciwieństwem (np. LOVE – HATE), a następnie utworzenie w systemie „drabiny słów". Jest to adaptacja gry słownej wymyślonej przez Lewisa Carrolla (autora „Alicji w krainie czarów", przypis redaktora). Drabina zaczyna się od dwóch słów. Należy znaleźć łańcuch innych słów, łączących te dwa, w którym każda para słów sąsiednich różni się tylko jedną literą. Przykład: LOVE-LAVE-LATE-HATE. Albo: LOVE-LOOE-LOOK-GOOK-GROK.

Ale zanim zacznę wymyślać algorytm, który to zrealizuje, pomyślałem, że rozpocznę dyskusję na ten temat. Czy przychodzą Wam do głowy jakieś inne formy gry słów, które moglibyśmy wykorzystać w tym zadaniu? Jeśli tak, to napiszcie do mnie i podzielcie się swoimi pomysłami.

Świat SMAD

Nie mam pojęcia dlaczego, ale właśnie pomyślałem o amerykańskiej komedii z 1963 roku It's a Mad, Mad, Mad, Mad World (To szalony, szalony, szalony, szalony świat) z gwiazdorską obsadą: Spencerem Tracym, Buddym Hackettem, Mickeyem Rooneyem, Ethel Merman i Philem Silversem. Jako dziecko uwielbiałem też oglądać Phila Silversa z gangiem w sitcomie Sierżant Bilko (oficjalnie znanym jako The Phil Silvers Show), który pierwotnie był emitowany w latach 1955–1959.

„Niewiele osób o tym wie" to powiedzenie powszechnie kojarzone z Sir Michaelem Caine'em. No więc, niewiele osób wie, że amerykański serial animowany Top Cat, który był pierwotnie emitowany w latach 1961–1962, miał swoje korzenie w Sierżancie Bilko. Na przykład do postaci Top Cat'a głos podkładał Arnold Stang, a jego sposób mówienia był wzorowany na sposobie mówienia Phila Silversa. Co więcej, Maurice Gosfield, który w Sierżancie Bilko grał szeregowca Duane'a Dobermana, użyczył w Top Cat głosu Benny'emu Ballowi...

...Przepraszam. O czym rozmawialiśmy? Aha, o niesamowitych wyświetlaczach Steve'a i Maxa (SMAD), z których każdy zawiera ni mniej, ni więcej tylko 45 trójkolorowych diod LED. Jak już pisaliśmy wcześniej (EdW 3/2025), wyświetlacze te – wymyślone i zbudowane przez Steve'a Manleya oraz moją skromną osobę – można ulepszyć poprzez dodanie „powłok", które rozdzielają światło z diod LED. Dysponujemy obecnie dwoma różnymi rodzajami powłok, które pozwalają nam tworzyć wyświetlacze 29-segmentowe (w których 13 przedziałów powłoki ma jedną diodę LED, a 16 przedziałów ma po dwa LEDy) oraz wyświetlacze 45-segmentowe (w których każdy przedział ma własną diodę).

W jednym z poprzednich odcinków (EdW 4/2025) wspominałem o tym, że zbudowałem dwie „głowy robotów", z których każda ma po dwa SMAD-y. Jedna głowa ma dwa wyświetlacze 29-segmentowe, a druga dwa 45-segmentowe. W tej chwili są to konstrukcje zamknięte, ale w przyszłości można by było stworzyć ich ulepszone wersje z czujnikami (do wykrywania obecności ludzi i lokalizowania źródła dźwięków) oraz serwomechanizmami do obracania i pochylania głów, co pozwoli oczom SMAD śledzić osobę poruszającą się w pomieszczeniu (aż strach pomyśleć). W tym samym numerze przedstawiliśmy rozmieszczenie diod LED i segmentów w 29-segmentowych wersjach tych wyświetlaczy (**rysunek 2**). Liczby odnoszą się do pozycji diod LED w łańcuchu (w obydwu typach SMAD), natomiast kombinacje liter to nazwy, których używamy w wersjach 29-segmentowych do identyfikacji segmentów.

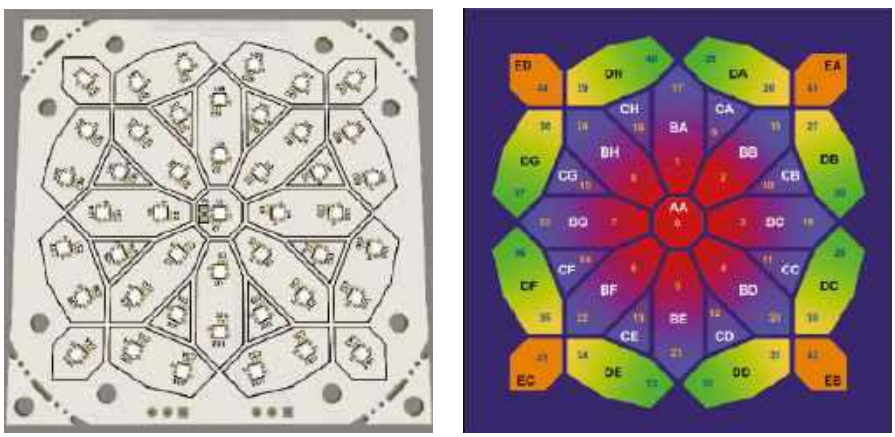
Mów mi Don Kichot

Pamiętacie może, że Steve zrobił fajny film, w którym porównuje ze sobą SMAD „goły", SMAD z powłoką 29-segmentową i SMAD z powłoką 45-segmentową (https://bit.ly/2VNhhUh). Steve demonstruje w tym filmie różnego rodzaju wymyślne kolorowe efekty. Z biegiem czasu będziemy te wyrafinowane prezentacje tworzyć. Jednak zanim się zacznie biegać, trzeba najpierw nauczyć się chodzić. Więc róbmy wszystko krok po kroku, zaczynając od prostego efektu wiatraka (a z wiatrakami walczył Don Kichot... przepraszam, czasami po prostu nie mogę się powstrzymać).

Zaczniemy od prostego efektu, w którym w kółko obraca się tylko jedno ramię wiatraka (**rysunek 3a**). Tu warto wspomnieć, że SMADy są sprzedawane w PE PCB Service (https://bit.ly/3 wVUgLq) w cenie zaledwie 11,95 funtów za sztukę. Cena ta obejmuje wysyłkę na terenie Wielkiej Brytanii (wysyłka poza Wielką Brytanię jest wyceniana osobno). A zatem dość łatwo można wziąć udział w całej zabawie.

Jak zwykle nie będziemy tutaj przedstawiać kompletnych programów. Można jednak śledzić ich działanie, pobierając je ze strony Practical Electronics z października 2021 r. spod adresu https://bit.ly/3oouhbl). Nasz pierwszy szkic (program) znajduje się w pliku CB-Oct21-01.txt.

Zacznijmy od omówienia kilku zadań porządkowych. We wcześniejszym odcinku (EdW 5/2024) utworzyliśmy przydatne funkcje narzędziowe o nazwach GetRed(), GetGreen() i GetBlue(), z których każda jako dane wejściowe przyjmuje 24-bitową wartość koloru (w rzeczywistości słowo jest 32-bitowe, ale używane są tylko 24 bity) i zwraca odpowiadającą mu 8-bitową wartość koloru. Utworzyliśmy również funkcję BuildColor(), która przyjmuje trzy 8-bitowe składowe koloru czerwonego, zielonego i niebieskiego i zwraca odpowiadającą im wartość 24-bitową koloru. Te funkcje użytkowe można znaleźć w naszym szkicu, wraz z funkcją ModifyBrightness(), przyjmującą kolor

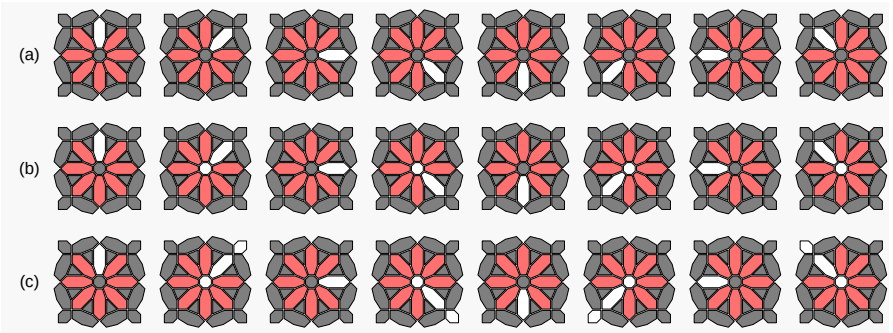


Rysunek 2. Płytka SMAD (po lewej), dioda LED i mapa segmentów (po prawej); źródło: Steve Manley

eprasa.pl 514c4ae447

24-bitowy i zwracającą wartość zmniejszoną, odpowiadającą przyciemnieniu do określonego procentu względem oryginału.

Co do funkcji ModifyBrightness() – której używam głównie, gdy chcę ściemniać obraz przy nagrywaniu filmów – warto zauważyć, że wykonujemy w niej najpierw mnożenie, a następnie dzielenie, a nie na odwrót. Załóżmy na przykład, że chcemy zmodyfikować kanał czerwony tak, aby stanowił tylko 20% oryginalnej jasności. Wówczas działania, które przeprowadzimy, to (czerwony · 20)/100. Gdybyśmy wykonywali te obliczenia ręcznie, na liczbach rzeczywistych z częściami ułamkowymi, to ten sam wynik osiągnęlibyśmy, licząc: (czerwony/100) · 20. Ale w naszym programie nie powinniśmy liczyć w tej kolejności – używamy dzielenia całkowitoliczbowego, które obcina resztę z dzielenia. Przeprowadzenie dzielenia przed mnożeniem spowodowałoby utratę istotnej informacji, co bardzo zmniejszyłoby dokładność naszego wyniku.



Rysunek 3. Wariacje na temat prostego efektu wiatraka

Postanowiłem, że ramię mojego wiatraka będzie wykonywało pełny obrót wyświetlacza co sekundę. Ustawiłem zatem CYCLE_TIME na 1000 milisekund. Zdefiniowałem również NUM_NEOS_PER_SMAD (liczba diod LED tworzących każdy SMAD) jako 45.

W moim przypadku są cztery SMADy (po dwa dla każdej z moich „głów robota"), więc NUM_SMADS ustawiłem na 4. Przy innej liczbie istniejących SMADów należy tę wartość zmienić.

Połączyłem szeregowo wszystkie moje SMAD-y, tworząc pojedynczy ciąg 45 · 4=180 diod LED, zdefiniowałem więc stałą NUM_NEOS równą (NUM_NEOS_PER_SMAD * NUM_SMADS). Dzięki tej definicji, jeśli masz na przykład tylko dwa SMADy, to wszystko, co musisz zrobić, to zmienić wartość NUM_SMADS – i program zadziała.

Trzymajcie się krzesła!

Mam nadzieję, że siedzicie wygodnie, bo zaczyna się robić ciekawe. Dla realizacji pierwszego efektu zdefiniowałem NUM_PATTERNS_IN_EFFECT jako 8 (odpowiada to sytuacji, że mamy 8 „szprych", jak widać na **rysunku 3a**), a MAX_LEDS_IN_EFFECT jako 2 (w każdej ze szprych są po dwie diody LED). W oparciu o te parametry utworzyłem dwuwymiarową tablicę 8-bitowych liczb całkowitych o nazwie EffectMap[][], która składa się z NUM_PATTERNS_IN_EFFECT (ośmiu) wierszy, a każdy z nich zawiera MAX_LEDS_IN_EFFECT+1 (trzy) elementy. Inicjalizujemy tę tablicę w następujący sposób:

```
{
{2, 1, 17}, // BA
{2, 2, 18}, // BB
{2, 3, 19}, // BC
{2, 4, 20}, // BD
{2, 5, 21}, // BE
{2, 6, 22}, // BF
{2, 7, 23}, // BG
{2, 8, 24} // BH
};
```

W każdym rzędzie pierwszy element mówi nam, ilu diod LED używamy do utworzenia wzoru, a pozostałe wartości są numerami użytych LEDów. Na przykład, pierwszy wiersz mówi nam, że mamy do czynienia z 2 LEDami o numerach 1 i 17. Z rysunku 2 wiemy, że te LEDy odpowiadają segmentowi BA, który w naszym wiatraku jest szprychą pionową.

Można rzecz jasna odnieść wrażenie, że skoro w każdym wzorze są dwie diody LED, to definiowanie ich ilości w pierwszym elemencie każdego rzędu jest stratą czasu, miejsca i wysiłku. Tworzymy jednak podstawy dla czegoś, co ma być zrealizowane później.

I na koniec definiujemy kolor tła i kolor pierwszego planu. W przyszłości na pewnym etapie będziemy eksperymentować z dynamizacją jednego lub obu tych kolorów (tworząc np. efekt falującej tęczy). Na razie jednak pozostaniemy przy wartościach stałych. W tym odcinku używamy w programie czerwonego koloru tła z domyślną wartością 25% jasności oraz białego koloru pierwszego planu z domyślną wartością 100% jasności. Wartości obu tych kolorów są modyfikowane przez funkcję ModifyBrightness().

Przejdźmy teraz do głównego podprogramu loop(). Jeśli dopiero niedawno dołączyłeś do naszej imprezy, możesz być zaskoczony, widząc, że nie korzystamy z funkcji delay() w Arduino. Zamiast tego za każdym razem, gdy wykonamy pętlę, sprawdzamy, czy upłynął określony interwał czasu, zdefiniowany w zmiennej o nazwie IntervalTime. Zmienna ta jest ustawiona na wartość CYCLE_TIME (jedna sekunda) podzielone przez liczbę wzorców w naszym efekcie. Jeśli interwał upłynął, to najpierw ustawiamy LEDy w dotychczasowym (bieżącym) wzorze na kolor tła, a następnie ustawiamy LEDy w nowym wzorze na kolor pierwszego planu. Technika ta została wprowadzona w akapicie Wyrzuć delay()! we wcześniejszym odcinku cyklu (EdW 7/2024).

Przyjrzyjmy się temu nieco bardziej szczegółowo. W przypadku tego konkretnego programu mamy zmienną o nazwie EffectMapIndex, której używamy do wskazywania bieżącego wiersza (wzorca) w naszej dwuwymiarowej tablicy EffectMap[][]. Zaczynamy od określenia liczby diod LED w bieżącym wzorcu:

```
numLeds = EffectMap[EffectMapIndex][0];
```

Korzystając z tej wartości ustawiamy diody LED w bieżącym wzorze na kolor tła:

```
for (int iLed = 1; iLed <= numLeds; iLed++)
{
int iNeo = EffectMap[EffectMapIndex][iLed];
Neos.setPixelColor(iNeo, BackgroundColor);
}
```

Następnie indeks zwiększamy, aby wskazywał następny wzorzec:

```
EffectMapIndex = (EffectMapIndex + 1) % NUM_PATTERNS_IN_EFFECT;
```

Użycie operatora modulo „%" zostało szczegółowo omówione we wcześniejszym odcinku cyklu – (EdW 10/2024).

eprasa.pl 514c4ae447

Każdorazowo po zwiększeniu indeksu ponownie określamy, ile diod LED mamy w bieżącym wzorze, a następnie, korzystając z tych informacji, ustawiamy LEDy na kolor pierwszego planu.

Im więcej tym... weselej

Jak widzimy, uruchomienie prostego efektu obracającego się wiatraczka z jednym ramieniem (segmentem) i na jednym SMADzie to „bułka z masłem", czyli, jak mówią w USA, „easy peasy cytryna squeezy". Na pewno nie chcemy, by było odwrotnie, czyli „masło z bułką"...

A teraz załóżmy, że chcemy sterować dodatkowe układy SMAD, połączone w łańcuch – na przykład cztery SMADy w moich dwóch głowach robota.

Rozważmy część programu, w której ustawiamy diody LED we wzorze bieżącym na kolor tła. Można to zrobić „na bezczelnego" (innymi słowy „szybko i skutecznie") w następujący sposób:

```
for (int iLed = 1; iLed <= numLeds; iLed++)
{
int iNeo = EffectMap[EffectMapIndex][iLed];

Neos.setPixelColor((iNeo + 0), BackgroundColor);
Neos.setPixelColor((iNeo + 45), BackgroundColor);
Neos.setPixelColor((iNeo + 90), BackgroundColor);
Neos.setPixelColor((iNeo + 135), BackgroundColor);
}
```

Pełny listing jest w pliku do pobrania: CB-Oct21-02.txt.

Każdorazowo w pętli, zamiast ustawiać kolor tylko jednej diody LED, ustawiamy od razu kolor czterech diod, używając za każdym razem przesunięcia o 45 pikseli. W pierwszej instrukcji dodajemy przesunięcie równe 0. Jedynym powodem wprowadzenia takiego zapisu jest spójność tekstu programu. Kompilator, tworząc kod maszynowy, dodawanie zera rzecz jasna pominie. Podobny sposób da się zastosować przy ustawianiu kolorów LEDów na kolor pierwszego planu.

Problem z tą metodą polega na tym, że ilość SMADów (cztery) jest tutaj zakodowana w programie na sztywno. Jeżeli mamy np. tylko dwa SMAD-y, trzeba będzie niektóre wiersze programu „wykomentować" lub usunąć. Podejście bardziej ogólne jest następujące (znów ustawiamy bieżący wzór na kolor tła):

```
numLeds = EffectMap[EffectMapIndex][0];

for (int iSmad = 0; iSmad < NUM_SMADS; iSmad++)
{
int smadOffset = iSmad * NUM_NEOS_PER_SMAD;

for (int iLed = 1; iLed <= numLeds; iLed++)
{
int iNeo = EffectMap[EffectMapIndex][iLed];
Neos.setPixelColor((iNeo + smadOffset),
BackgroundColor);
}
}
```

Jak widać, dodaliśmy pętlę zewnętrzną, która cyklicznie przebiega wszystkie SMADy. Wewnątrz tej pętli numer piksela, który ma zostać zmodyfikowany, obliczamy na podstawie bieżącego numeru SMADa. Podobny zabieg można wykonać dla ustawiania wzoru na kolor pierwszego planu. Pełny program można znaleźć w pliku CB-Oct21-03.txt.

Wariacje na temat

Nasz efekt wiatraka z pojedynczym ramieniem jest może nieco prymitywny, ale jednak daje nam możliwość przeprowadzenia kilku interesujących eksperymentów. Załóżmy na przykład, że chcemy, aby środkowy segment pulsował – był włączony, gdy ramię jest skierowane w kierunkach NE, SE, SW i NW, a wyłączony, gdy ramię jest skierowane na N, E, S i W (**rysunek 3b**). Poświęćcie chwilę na zastanowienie się, jak by to można było zrealizować.

Otóż wszystko, co trzeba zrobić, to zmienić wartość stałej MAX_LEDS_IN_EFFECT na 3, a następnie uaktualnić zawartość tablicy EffectMap[][] w następujący sposób:

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

Reszta programu pozostaje bez zmian. Pełny program można obejrzeć w pliku CB-Oct21-04.txt.

Co może być mylące, to wartości 0 umieszczone w tej tablicy. Używamy ich do dwóch różnych celów. W przypadku wierszy, które mają podaną ilość diod LED równą 3, wartość 0 w drugiej kolumnie odnosi się do LEDa powiązanego z segmentem AA. Natomiast w wierszach, które w swoich wzorach mają tylko dwie diody LED, zera w czwartej kolumnie służą jedynie jako „wypełniacze". Moglibyśmy przypisać im dowolne wartości i nie miałoby to żadnego wpływu na przebieg programu, ponieważ nigdy ich nie użyjemy.

Na marginesie – do utworzenia tej tablicy użyliśmy 8-bitowych liczb całkowitych bez znaku. Gdybyśmy zdecydowali się na użycie 8-bitowych liczb całkowitych ze znakiem, elementom wypełniającym przestrzeń przypisałbym prawdopodobnie wartość -1. Byłaby to wizualna wskazówka, że są to „wartości specjalne".

Teraz ostatnia wariacja na ten temat. Załóżmy, że zdecydowaliśmy się rozszerzyć obecną wersję programu o zaświecanie segmentów EA, EB, EC i ED, gdy ramię znajduje się w pozycjach odpowiednio NE, SE, SW i NW (**rysunek 3c**). I znów niewiele jest do zrobienia – musimy zmienić stałą MAX_LEDS_IN_EFFECT na 4 oraz zaktualizować zawartość tablicy EffectMap[][] w następujący sposób:

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

Pełny program można obejrzeć w pliku CB-Oct21-05.txt.

eprasa.pl 514c4ae447

Aby sprawić Wam przyjemność, stworzyłem filmik pokazujący wszystkie te przypadki testowe w akcji: https://youtu.be/BBFFyQP_yhE.

Teraz Twoja kolej!

To niesprawiedliwe, że tylko ja się bawię i wykonuję całą robotę. Co Wy na to, aby z zapałem i zaangażowaniem wskoczyć do walki? Na przykład – jak byście zmodyfikowali nasz najnowszy program tak, aby były cztery wzory, każdy z dwoma ramionami pod kątem 180° względem siebie?

Dalej – jak zmodyfikowalibyście to najnowsze wcielenie programu tak, by wzory wiatraków w jednym „oku" SMAD obracały się zgodnie z ruchem wskazówek zegara, a w drugim „oku" – w kierunku przeciwnym?

Kolejny eksperyment: program obejmujący dwa lub więcej SMAD-ów. Program rozpoczyna się od wyświetlenia przez każdy z nich pojedynczego ramienia wiatraka skierowanego w górę. „Najmniej znaczący" SMAD (ten po prawej) obraca swoje ramię zgodnie z ruchem wskazówek zegara, wykonując pełny obrót co sekundę. Za każdym razem, gdy jego ramię powraca do pozycji pionowej, ramię na sąsiednim SMADzie przesuwa się o jedną pozycję. I podobnie – za każdym razem, gdy ramię drugiego modułu powraca do pozycji pionowej, ramię trzeciego modułu SMAD przesuwa się o jedną pozycję. I tak dalej dla wszystkich modułów SMAD w łańcuchu...

I wreszcie – pamiętając, że planuję, aby SMADy w głowach moich robotów sprawiały wrażenie oczu – nadszedł właściwy moment, abyśmy zaczęli się zastanawiać, jakich kombinacji kolorów i segmentów użyć, by SMADy wyglądały jak oczy patrzące w lewo, w prawo, w górę, w dół i prosto przed siebie. A czy damy radę – używając różnych kombinacji kolorów i segmentów – odzwierciedlić emocje, na przykład szczęście, smutek albo złość? Jak zawsze czekam na komentarze, pytania i sugestie. ■

Max Wspaniały

REKLAMA

PRENUMERATA EdW+

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

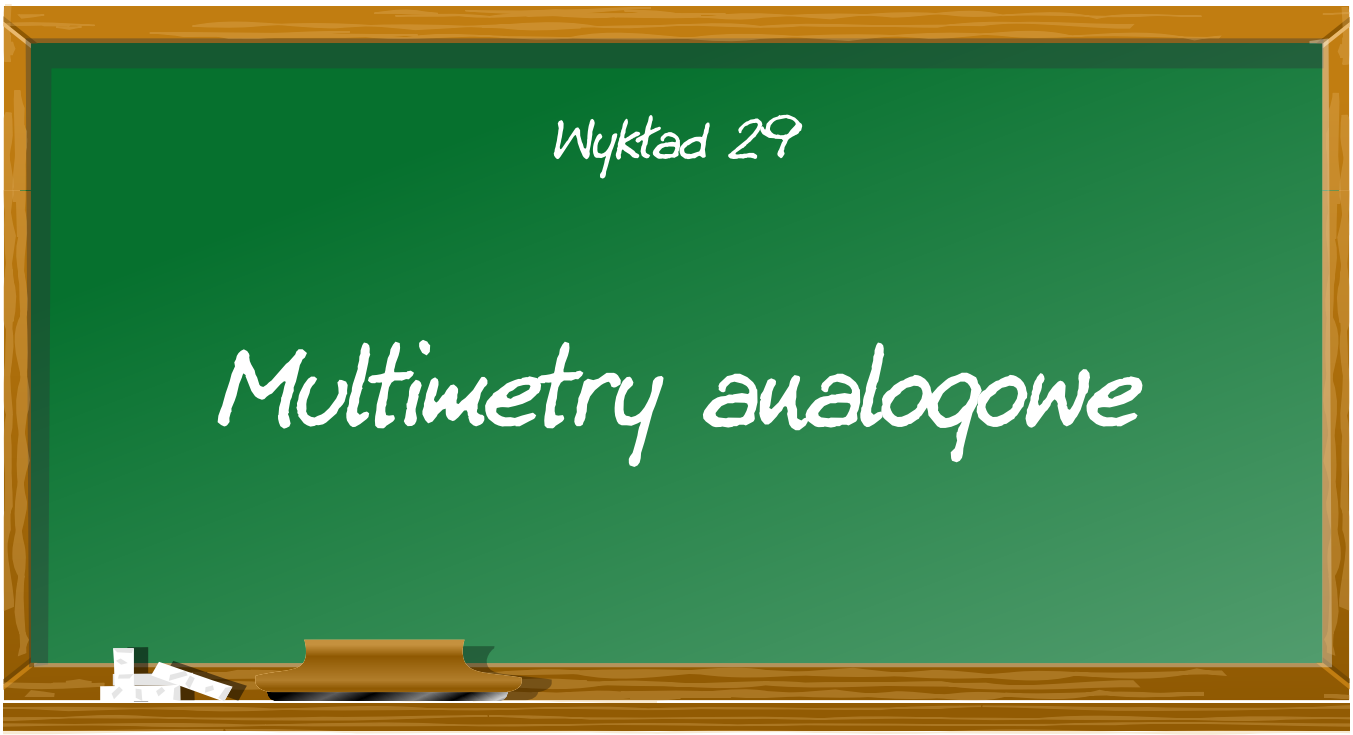
Na PKE składa się zestaw edukacyjny EDW A09 KPL, w którym znajdziesz:
1. Projekt – samodzielnie uruchamiany układ elektroniczny. Wszystkie układy są montowane na dołączonej płytce stykowej, do której wkłada się „nóżki" elementów na wcisk,
2. Pendrive z wykładami i materiałami multimedialnymi kursu PKE,
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 514c4ae447

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.



Artykuł o multimetrach analogowych w 2025 roku? Dlaczego nie? W sprzedaży wciąż znajdują się dziesiątki modeli tych mierników, we wszystkich przedziałach cenowych. Mają one pewne niezaprzeczalne zalety w porównaniu z ich cyfrowymi odpowiednikami.

Multimetr analogowy, miernik AVO, miernik VOM

Urządzenia o których mowa tym artykule są różnie nazywane. Oficjalnie noszą nazwę „multimetr analogowy". Określenie „miernik AVO" odnosi się do najbardziej znanego producenta tego typu przyrządów pomiarowych, brytyjskiej firmy AVO. Określenie „miernik VOM" oznacza „Volt, Om, Miliamper", czyli są to trzy wielkości, które można zmierzyć za pomocą takiego miernika.

Definicja

Multimetr analogowy to przyrząd pomiarowy, pozwalający na odczyt mierzonej wielkości w wyniku obserwacji położenia ruchomej wskazówki na tle skali. Odczytaną wielkość należy odpowiednio zinterpretować, w zależności od ustawienia przełącznika zakresów.

Miernik z ruchomą cewką, serce multimetru analogowego

Multimetry analogowe wykorzystują ustrój pomiarowy z ruchomą cewką. Z definicji jest to miernik prądu stałego. Wszystkie wielkości, które może zmierzyć multimetr analogowy, muszą zostać przekształcone na prąd stały.

Historia multimetrów analogowych

Wynalezienie multimetru analogowego przypisuje się brytyjskiemu inżynierowi Donaldowi Macadie. Był on zmęczony koniecznością noszenia ze sobą wielu przyrządów pomiarowych, więc w 1927 roku zaprojektował miernik, który mierzył napięcie, prąd, a także rezystancję.

Pierwowzorem wszystkich dostępnych w handlu multimetrów analogowych jest bez wątpienia „Model 8" brytyjskiej firmy AVO. Model ten został wprowadzony na rynek w 1958 roku i był produkowany do 2008 roku. Ostatnią produkowaną wersją był model „Mark 7". Praktycznie każdy inżynier elektronik urodzony



Słynny „Model 8" AVO (© Peter Vis)

eprasa.pl 514c4ae447



Przykładowe multimetry analogowe (© 2024 Jos Verstraten)

w drugiej połowie XX wieku pracował z użyciem tego multimetru. Dlatego wiele osób nadal mówi „miernik AVO" zamiast „multimetr analogowy". We wszystkich szkołach technicznych był to miernik używany do eksperymentalnej demonstracji podstawowych praw elektrotechniki. „Model 8" mógł mierzyć napięcie stałe, napięcie przemienne, prąd stały, prąd przemienny i rezystancję.

Oferta handlowa multimetrów analogowych

Pomimo faktu, że prawie każdy współczesny entuzjasta elektroniki dokonuje pomiarów za pomocą multimetru cyfrowego, oferta mierników analogowych jest nadal bogata. Na poniższej ilustracji pokazanych jest siedem z dziesiątek modeli, dostępnych w różnych przedziałach cenowych. Trzeci od lewej to multimetr „MAVOWATT 4" firmy Gossen, który można kupić za nieco ponad tysiąc euro. Za pomocą tego przyrządu można mierzyć nie tylko napięcia i prądy, ale także moc i cosφ. Szósty od lewej to chiński multimetr „Qhintec", który można zamówić na stronie Ali Express za niecałe 7 euro.

Zalety multimetrów analogowych

Zalety multimetrów analogowych wynikają z faktu, że ludzki mózg lepiej interpretuje ruch wskazówki na skali niż ciąg szybko zmieniających się liczb na wyświetlaczu cyfrowym. Na podobnej zasadzie duże zbiory danych są lepiej interpretowane na wykresie niż w tabeli. Ta zaleta mierników analogowych jest szczególnie istotna, gdy trzeba dokonać regulacji, polegającej na uzyskaniu wartości minimalnej lub maksymalnej jakiejś wielkości. Ekstremum jest osiągane, gdy wskazówka miernika zatrzymuje się, a później zmienia kierunek ruchu. Producenci multimetrów cyfrowych próbowali uzyskać podobny efekt wprowadzając skalę analogową z podświetlanymi słupkami, jednak rozdzielczość takiego odczytu nie jest duża i nie może konkurować z odczytem na mierniku analogowym.

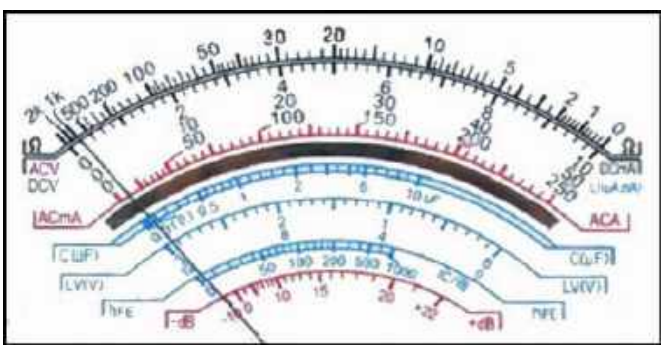
Inną zaletą jest to, że każdy multimetr analogowy jest wyposażony w potencjometr „ZERO-OHM", który pozwala ustawić wskazówkę omomierza w pozycji zerowej, gdy sondy pomiarowe są zwarte. W ten sposób rezystancja przewodów pomiarowych jest kompensowana i nie wpływa na wynik pomiarów. Takiej cechy nie ma większość tanich multimetrów cyfrowych. Zatem za pomocą multimetru analogowego można mierzyć małe rezystancje dokładniej niż za pomocą taniego miernika cyfrowego.

Kolejną zaletą jest to, że wszystkie multimetry analogowe mierzą rezystancję bardzo szybko. Niektóre tanie multimetry cyfrowe potrzebują na to kilku sekund.

Na koniec jeszcze jedna, rzadziej wspominana zaleta. Jeśli trzeba przetestować dużą liczbę identycznych urządzeń, na przykład przez pomiar napięcia w określonym punkcie, na przedniej szybce miernika analogowego można zrobić dwie kreski, pomiędzy którymi musi mieścić się zmierzona wartość, aby można ją było uznać za dobrą. Wzrokowa ocena położenia wskazówki miernika przebiega znacznie szybciej niż analiza ciągu pomiarów w mierniku cyfrowym.

Wady multimetrów analogowych

Jedną z głównych wad mierników analogowych jest niezbyt duża rezystancja wejściowa podczas pomiarów napięcia stałego, która na dodatek zmienia się przy zmianach zakresów pomiarowych. Tymczasem każdy multimetr cyfrowy podczas pomiarów napięcia stałego ma rezystancję wejściową wynoszącą 10 MΩ, niezależnie od zakresu. W przypadku multimetrów analogowych rezystancję wejściową określa się na podstawie ich czułości, wyrażanej liczbą kΩ/V. Jeśli przykładowo, czułość wynosi 20 kΩ/V zaś zakres pomiarowy jest ustawiony na 3 V prądu stałego, miernik ma rezystancję wejściową równą zaledwie 60 kΩ! Implikacje wynikające z tego faktu są przedstawione w dalszej części artykułu.



Przykłady różnych skal multimetrów (© 2024 Jos Verstraten)

Drugą wadą mierników analogowych jest niezbyt prosty odczyt wyniku pomiarów. To, że taki przyrząd pomiarowy ma na swojej skali wiele pól odczytowych nie jest wyjątkiem, patrz rysunek poniżej.

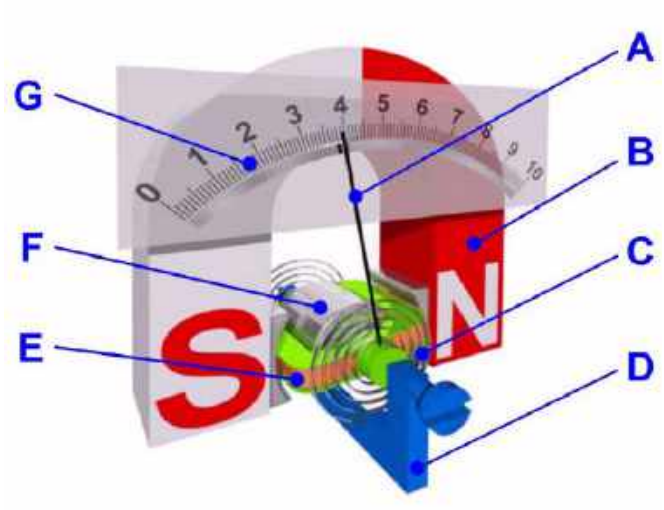
Trzecią wadą mierników analogowych jest wysoka podatność ustroju pomiarowego z ruchomą cewką na uszkodzenia mechaniczne. Upuszczenie multimetru analogowego na podłogę może spowodować uszkodzenie bardzo delikatnego zawieszenia cewki i wskazówki. Zawieszenie to nie jest

eprasa.pl 514c4ae447

również odporne na przeciążenie prądowe. Jeśli przykładowo, zakres pomiarowy miernika wynosi 3 V prądu przemiennego i zostanie on przypadkowo podłączony do sieci oświetleniowej, wskazówka uderzy w prawy róg skali z taką siłą, że zawieszenie cewki zostanie uszkodzone. Tymczasem upuszczenie na podłogę miernika cyfrowego lub jego znaczne przeciążenie nie powoduje nieodwracalnych skutków.

Czwartą wadą mierników analogowych jest brak możliwości automatycznego przełączania zakresów. Właściwy zakres pomiarowy trzeba ustawić ręcznie. Niektóre mierniki mają przełącznik obrotowy z kilkudziesięcioma pozycjami, więc trzeba bardzo uważać, aby ustawić go we właściwej z nich.

Piątą wadą mierników analogowych jest utrudniony odczyt wyników pomiarów w słabo oświetlonych miejscach. Na rynku dostępnych jest niewiele mierników, w których można włączyć podświetlenie skali.



Budowa miernika z ruchomą cewką (© electrical4you)

Serce miernika: ustrój pomiarowy z ruchomą cewką

Ustrój pomiarowy z ruchomą cewką lub galwanometr jest często określany w anglojęzycznej literaturze fachowej jako „PMMC". Jest to skrót od słów „Permanent Magnet Moving Coil". Miernik taki działa na zasadzie opracowanej przez D'Arsonvala już w 1880 roku.

Na rysunku obok przedstawione są wszystkie części składowe ustroju pomiarowego z ruchomą cewką. Najbardziej masywnym elementem jest magnes stały w kształcie podkowy [B]. W szczelinie między nabiegunnikami magnesu obraca się metalowy rdzeń [F], do którego przymocowana jest cewka [E] i wskazówka [A]. Cewka [E] jest nawinięta na metalowej ramce. Rdzeń [F] zamocowany obrotowo w jarzmie [D] jest utrzymywany w pozycji spoczynkowej przez dwie sprężyny [C]. W efekcie wskazówka [A] ustawia się w pozycji zerowej na skali [G]. Cała ta konstrukcja nazywana jest ustrojem pomiarowym miernika z ruchomą cewką i jest wspaniałym osiągnięciem mechaniki precyzyjnej.

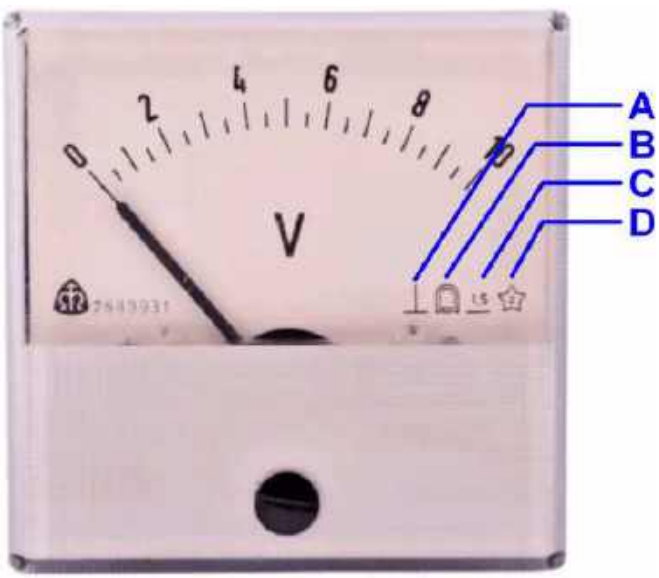


Ustrój pomiarowy słynnego Modelu 8 firmy AVO (© Peter Vis)

Działanie miernika z ruchomą cewką

Jeśli przez cewkę [E] przepływa prąd stały, wokół cewki powstaje pole magnetyczne, które koliduje z polem magnesu stałego [B]. W rezultacie na metalowy rdzeń [F] wywierana jest siła powodująca jego obrót w jarzmie [D]. Wielkość tej siły zależy od natężenia pola magnetycznego wokół cewki, a zatem zależy od natężenia prądu przepływającego przez cewkę [E]. Ta siła jest równoważona przez dwie sprężyny [C]. W efekcie rdzeń obróci się o pewien kąt a wskazówka [A] ustawi się w niezerowej pozycji.

Ten system można zaprojektować tak, aby zależność między natężeniem prądu płynącego przez cewkę a kątem obrotu rdzenia, a tym samym wychyleniem wskazówki, była liniowa. Wynika z tego, że wychylenie wskazówki jest miarą natężenia prądu przepływającego przez cewkę.



Znormalizowane symbole na skali miernika z ruchomą cewką (© 2024 Jos Verstraten)

Ustrój miernika z ruchomą cewką w praktyce

Na poniższym zdjęciu przedstawiony jest wygląd ustroju pomiarowego miernika z ruchomą cewką. W tym konkretnym przypadku jest to konstrukcja stosowana w słynnym Modelu 8 firmy AVO.

eprasa.pl 514c4ae447

Oznaczenia na skali miernika z ruchomą cewką

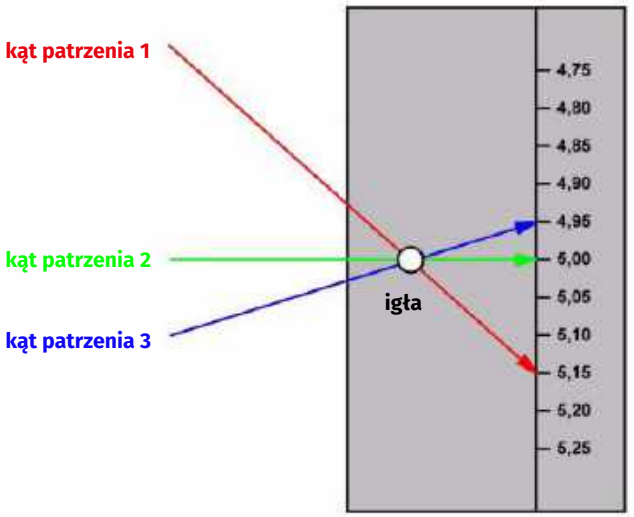
Na skali każdego miernika z ruchomą cewką umieszczone są symbole określające jego właściwości i warunki pracy:

A: Miernik przeznaczony do użytku w pozycji pionowej. Symbol ⊓ oznacza miernik przeznaczony do użytku w pozycji poziomej.

B: Symbol miernika z ruchomą cewką.

C: Dokładność miernika określana w procentach w stosunku do pełnej skali. Liczba ta jest również nazywana klasą miernika. Przykładowo, jeśli miernik klasy 1,5 wskazuje dokładnie 10 mA, oznacza to, że rzeczywiste natężenie prądu mieści się w zakresie od 9,85 mA do 10,15 mA.

D: Napięcie testowe w kV, któremu poddawany jest miernik.



Błąd paralaksy (© 2024 Jos Verstraten)

Błąd paralaksy

Wskazówka porusza się nad powierzchnią skali miernika w odległości kilku milimetrów. Odległość ta może powodować błąd odczytu wyniku pomiarów w wyniku zjawiska paralaksy. Błąd paralaksy powstaje na skutek tego, że pozorna pozycja obiektu w stosunku do tła zmienia się, gdy obiekt jest obserwowany pod różnymi kątami. Jeśli odczyt wyniku pomiaru odbywa się z pozycji skośnej w stosunku do powierzchni skali, jest on obarczony błędem paralaksy. Zostało to wyjaśnione na poniższym rysunku. Przedstawia on skalę i wskazówkę analogowego przyrządu pomiarowego. Patrząc prostopadle, wskazówka znajduje się dokładnie nad wartością 5,00 na skali. Jednak w przypadku odczytu pod kątem [1] wskazówka znajduje się powyżej właściwej wartości, na liczbie 5,15. W przypadku odczytu pod kątem [2] wskazówka znajduje się poniżej właściwej wartości, na liczbie 4,95. Tylko prostopadły odczyt [3] daje poprawny wynik pomiarów, wskazówka znajduje się dokładnie nad wartością 5,00.

Odczyt z użyciem lusterka

Powszechnie stosowaną metodą na uniknięcie błędu paralaksy jest odczyt lustrzany. W skali miernika wycięty jest rowek o szerokości około 5 mm, w którym umieszczone jest lusterko. Patrząc prostopadle na skalę, wskazówka i jej lustrzane odbicie pokrywają się wzajemnie, a odczyt jest prawidłowy. Jest to wyjaśnione na poniższej ilustracji. W lewej części ilustracji odczyt jest wykonywany pod złym kątem, odbicie wskazówki nie pokrywa się z nią samą. W prawej części ilustracji wskazówka zasłania własne odbicie i jest odczytywana dokładna wartość pomiaru. Praktycznie wszystkie multimetry analogowe są wyposażone w skalę z lusterkiem.

Mechaniczna korekcja punktu zerowego

Każdy miernik z ruchomą cewką jest wyposażony w śrubę regulacyjną, która pozwala na precyzyjne ustawienie wskazówki w punkcie zerowym skali, gdy miernik jest w stanie spoczynkowym.

Zakres pomiarowy miernika z ruchomą cewką

Najczulsze mierniki z ruchomą cewką wykazują maksymalne wychylenie wskazówki przy natężeniu prądu płynącego przez cewkę równym 50 µA. Rezystancja cewki takiego miernika wynosi 3 kΩ, co odpowiada minimalnemu zakresowi pomiarowemu napięcia równemu 150 mV. Są to minimalne zakresy pomiarowe natężenia prądu i napięcia osiągane w najczulszych miernikach z ruchomą cewką.



Lusterko zapobiega błędom paralaksy (© Wikimedia Commons)

eprasa.pl 514c4ae447

Wielkość skali multimetru

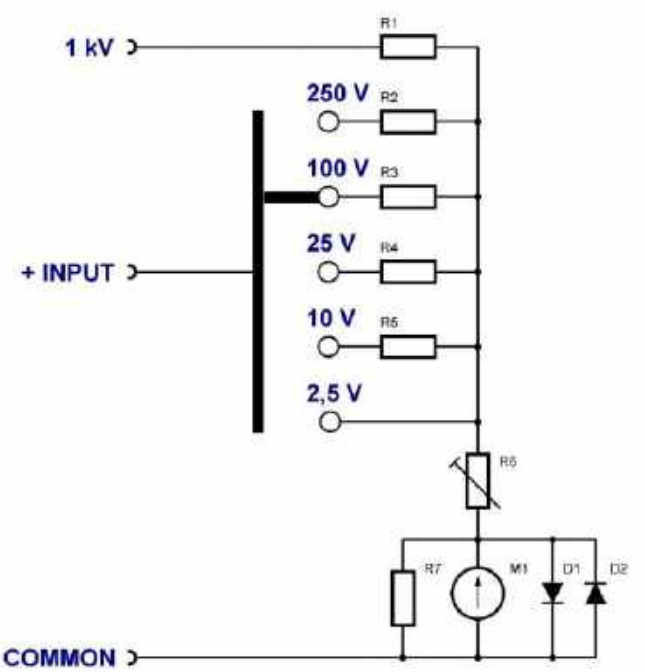
Fizyczna wielkość skali jest istotną cechą miernika z ruchomą cewką. Im szersza jest skala, tym łatwiej na podstawie obserwacji położenia wskazówki dokładnie odczytać mierzoną wartość. Najmniejsze mierniki mają skalę o szerokości około 60 mm, a największe około 135 mm.

Układy wewnętrzne multimetru analogowego

Układy opisane w poniższych paragrafach są stosowane w multimetrach analogowych, ale nie tylko w nich. Można je również wykonać samodzielnie, jeśli na przykład chce się wyposażyć własny zasilacz w dwa analogowe mierniki panelowe do pomiaru napięcia wyjściowego i natężenia prądu.

Pomiar napięcia stałego

Na poniższym rysunku przedstawiony jest układ do pomiaru napięcia stałego. Ujemna końcówka miernika z ruchomą cewką jest podłączona bezpośrednio do zacisku wspólnego multimetru „COMMON". Zacisk wejściowy multimetru „+INPUT" jest połączony z dodatnią końcówką miernika z ruchomą cewką, za pośrednictwem rezystorów szeregowych, przełączanych z użyciem przełącznika zakresów. Te precyzyjne rezystory są dobrane tak, aby dla każdego z zakresów pomiarowych, przez cewkę Przepływał prąd o ściśle określonym natężeniu.



Układ do pomiaru napięcia stałego (© 2024 Jos Verstraten)

Rezystory R6 i R7 stanowią dzielnik napięcia dla najniższego zakresu pomiarowego multimetru, ponadto ustalają rezystancję zestawu R6-R7-M1 w taki sposób, by w głównym dzielniku napięcia można było zastosować rezystory o znormalizowanych wartościach. Rezystor regulacyjny R6 służy do kalibracji multimetru. Jeśli sumaryczna rezystancja obwodu R6-R7-M1 jest znana, można obliczyć wartość pozostałych rezystorów szeregowych stosując prawo Ohma.

Niektóre multimetry analogowe mają osobne wejście do pomiaru wysokich napięć stałych. Mierzone napięcie nie przechodzi przez przełącznik zakresów, lecz jest doprowadzane do zestawu R6-R7-M1 przez rezystor szeregowy R1. Czasami, ze względów bezpieczeństwa, rezystor R1 ma postać kilku rezystorów połączonych szeregowo, dzięki temu spadek napięcia na każdym z nich jest kilkukrotnie mniejszy.

Diody D1 i D2 połączone równolegle z cewką miernika chronią ją przed przegrzaniem. Diody te zaczynają przewodzić przy napięciu około ±650 mV i nie zapobiegają uderzaniu wskazówki miernika w prawy róg skali, zapobiegają natomiast przepaleniu się delikatnego, cienkiego drutu stanowiącego uzwojenie cewki.

Czułość woltomierza analogowego

Rezystancja wejściowa woltomierza prądu stałego jest jedną z najważniejszych cech każdego multimetru. Było to opisane w akapicie dotyczącym wad mierników z ruchomą cewką. Aby ten parametr określić liczbowo, wprowadzone zostało pojęcie czułości woltomierza, definiowanej jako stosunek rezystancji wejściowej do napięcia odpowiadającego pełnemu wychyleniu wskazówki. Czułość jest wyrażana w kΩ/V. Przykładowo, woltomierz o zakresie pomiarowym równym 1 V, z cewką pobierającą (przy pełnym wychyleniu wskazówki) prąd o natężeniu 50 µA ma czułość równą 20 kΩ/V.

Praktyczne znaczenie wysokiej czułości woltomierza

Im wyższa jest czułość woltomierza, tym mniejsze jest prawdopodobieństwo wprowadzenia zmian w działaniu układu podlegającego pomiarom. Wynika to z faktu, że woltomierz pobiera prąd o niewielkim natężeniu z punktu, w którym dokonywany jest pomiar napięcia. Jeśli pomiar jest wykonywany w układzie o wysokiej rezystancji, wpływ woltomierza może być bardzo duży, a pomiar bardzo niedokładny.

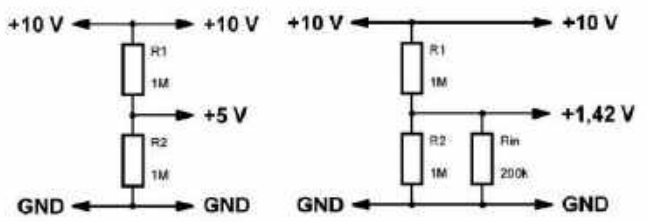
Przykładowo, wyobraźmy sobie prosty układ, składający się z dwóch rezystorów o rezystancji równej 1 MΩ, połączonych szeregowo. Do tak powstałego układu jest doprowadzone napięcie o wartości 10 V. Na każdym z rezystorów odłoży się połowa tego napięcia, czyli 5 V. Jeśli do pomiaru napięcia w punkcie środkowym użyty będzie woltomierz o czułości 20 kΩ/V jego rezystancja wejściowa wyniesie 200 kΩ. Rezystancja o takiej wartości zostanie dołączona równolegle do dolnego rezystora. Zastępcza rezystancja tak połączonych elementów wyniesie160 kΩ. Wynik pomiaru napięcia będzie obarczony bardzo dużym błędem, gdyż rozkład napięć w układzie z podłączonym woltomierzem wyniesie 8,64 V i 1,42 V, a nie 5 V i 5 V. Tak więc, woltomierz podłączony do punktu o wysokiej rezystancji, poważnie zakłóca działanie testowanego układu.

eprasa.pl 514c4ae447

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

Dobrze się zastanów zanim zaczniesz coś mierzyć!

Ten przykład pokazuje, że przed przystąpieniem do pomiarów należy zadać sobie pytanie, jak duży będzie ewentualny błąd. Nawiasem mówiąc, dotyczy to nie tylko multimetrów analogowych. Jeśli w układzie składającym się z rezystorów o wartości rzędu kilku kΩ mierzone jest napięcie stałe, obciążenie wywołane użyciem woltomierza o rezystancji wejściowej, powiedzmy, 200 kΩ będzie miało pomijalny wpływ na dokładność pomiarów i działanie układu.



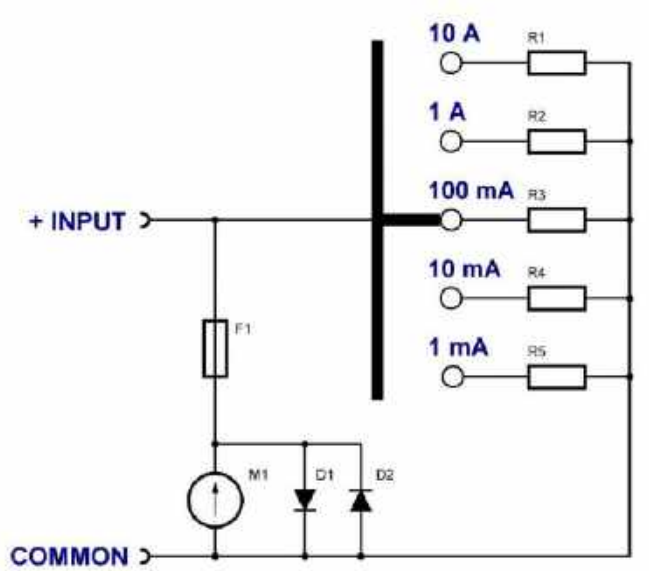
Niska rezystancja wejściowa multimetru może całkowicie zakłócić działanie testowanego układu (© 2024 Jos Verstraten)

Pomiar prądów stałych

W przykładowym multimetrze natężenie prądu przepływającego przez ruchomą cewkę nie powinno przekraczać 50 µA. Aby móc mierzyć prądy o wyższym natężeniu stosowany jest rezystor bocznikujący, włączany równolegle do cewki miernika, patrz rysunek poniżej. Im mniejsza będzie jego rezystancja w stosunku do rezystancji cewki, tym szerszy będzie zakres pomiarowy multimetru.

Przełącznik zakresów przełącza rezystory R1, R2, R3, R4 i R5 połączone równolegle z ustrojem pomiarowym M1 i diodami zabezpieczającymi D1 i D2.

Czasami, szeregowo z ruchomą cewką, włączany jest szybki bezpiecznik F1. Zabezpiecza on cewkę przed uszkodzeniem w przypadku omyłkowego pomiaru napięcia multimetrem, w którym wybrany jest zakres pomiaru natężenia prądu.



Układ do pomiaru natężenia prądu stałego (© 2024 Jos Verstraten)

Alternatywna metoda pomiaru natężenia prądu

Problemem powstającym podczas pomiaru natężenia prądu jest konieczność przerwania mierzonego obwodu, który jest ponownie zamykany przez miernik. Jeśli zachodzi potrzeba pomiaru natężenia prądu płynącego przez rezystor o znanej wartości, wygodniej jest zmierzyć spadek napięcia na tym rezystorze i podzielić wynik przez wartość rezystancji, bez konieczności rozłączania czegokolwiek. Na przykład: 10 V podzielone przez 1 kΩ równa się 10 mA.

Pomiar rezystancji

Jedną z głównych cech pomiaru rezystancji za pomocą multimetru analogowego jest odwrócenie skali. To, co jest zerem przy pomiarach prądu i napięcia odpowiada nieskończoności przy pomiarach rezystancji. Czyli dotychczasowy punkt zerowy na skali miernika jest teraz oznaczony symbolem ∞. Punkt zerowy w pomiarach rezystancji znajduje się zawsze po prawej stronie skali.

Drugą cechą jest to, że skala rezystancji nigdy nie jest liniowa. Poniższy rysunek przedstawia typową skalę rezystancji multimetru analogowego. Taka nieliniowa skala ma wady i zalety. Na przykład można dokładnie odczytać zarówno rezystancję o wartości 20 Ω, jak i 500 Ω. Tego nie da się zrobić przy użyciu skali liniowej.

Poniższy rysunek przedstawia schemat układu do pomiaru rezystancji. Ten rodzaj pomiaru wymaga użycia pomocniczego źródła napięcia, dlatego w każdym multimetrze analogowym znajduje się bateria.

Bateria Ubat jest włączona szeregowo w obwód pomiarowy, składający się z miernika z ruchomą cewką M1 i potencjometru R6, przełącznika zakresów i zestawu rezystorów pomiarowych. Jeśli oba wejścia omomierza zostaną zwarte, powstanie obwód zamknięty. Wskazówka miernika wychyli się, a potencjometr R6 pozwoli na jej ustawienie w skrajnej prawej pozycji, odpowiadającej rezystancji równej 0 Ω. Tą regulację należy wykonywać zawsze przed przystąpieniem do pomiarów rezystancji. Jeśli zamiast zwarcia, między wejścia omomierza zostanie włączony mierzony rezystor, natężenie prądu płynącego w obwodzie pomiarowym spadnie, wskazówka miernika przesunie się w lewo, a przyrząd wskaże zmierzoną wartość rezystancji.

Różne zakresy pomiarowe uzyskuje się przez bocznikowanie opisanego powyżej obwodu pomiarowego jednym z rezystorów od R1 do R5.

Trzecią podstawową właściwością pomiaru rezystancji za pomocą multimetru analogowego jest to, że natężenie prądu płynącego przez mierzoną rezystancję zależy od zakresu pomiarowego.



Typowy wygląd skali do pomiaru rezystancji (© 2024 Jos Verstraten)

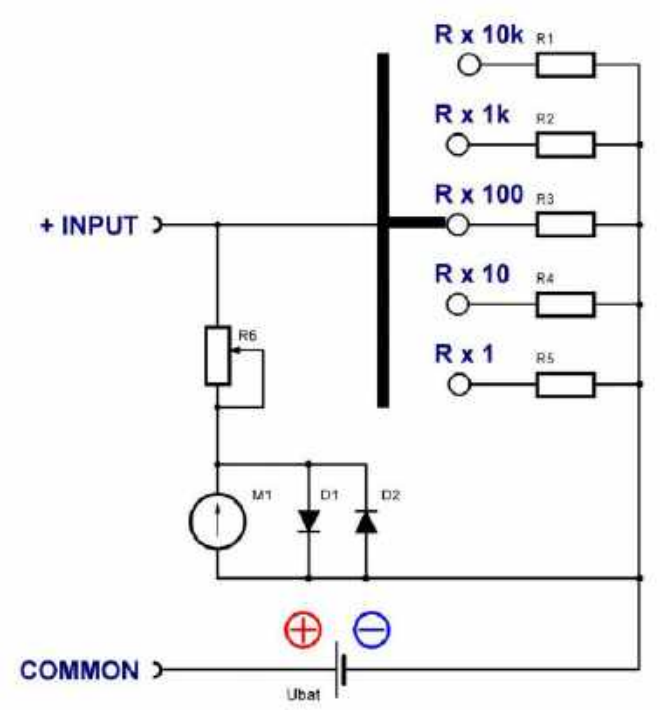
eprasa.pl 514c4ae447

Po ustawieniu najwyższego zakresu pomiarowego natężenie prądu jest niewiele wyższe od czułości prądowej ustroju pomiarowego, np. 50 µA. Po przełączeniu miernika na kolejny, niższy zakres, natężenie prądu pomiarowego wzrasta dziesięciokrotnie. Podczas pomiaru bardzo niskich rezystancji, przez mierzony element przepływa prąd o relatywnie dużym natężeniu. W niektórych multimetrach prąd ten może wynosić nawet 100 mA!

Jest to ważna właściwość multimetrów analogowych, o której należy pamiętać. Dlatego nigdy nie należy używać multimetru analogowego przełączonego na najniższy zakres pomiaru rezystancji do testowania tranzystorów. Prąd o wysokim natężeniu może zniszczyć złącze baza-emiter!

Odwrotna biegunowość wejść pomiarowych!

Osobliwością pomiaru rezystancji za pomocą multimetrów analogowych jest odwrotna polaryzacja wejść pomiarowych. Dodatni biegun baterii jest podłączony do zacisku „COMMON”, a ujemny, poprzez układ pomiarowy, jest dołączony do zacisku „+INPUT”. Jest to konieczne, by wskazówka miernika przesuwała się po skali we właściwym kierunku. Należy o tym pamiętać podczas testowania diod i tranzystorów.



Zasada pomiaru rezystancji (© 2024 Jos Verstraten)

Pomiar napięć przemiennych

Ponieważ w multimetrach analogowych nie stosuje się złożonych układów elektronicznych, ułatwiających dokładny pomiar napięć przemiennych, konieczne jest użycie zwykłego prostownika. W większości przypadków składa się on z jednej lub dwóch odpowiednio połączonych diod krzemowych. Multimetr analogowy nigdy nie mierzy efektywnej wartości napięcia przemiennego, gdyż reaguje na jego wartość średnią. Ponieważ diody prostownicze nie mają liniowych charakterystyk, skala do odczytów napięć przemiennych także nie jest liniowa. Głównie dotyczy to najmniejszych zakresów pomiarowych, patrz rysunek poniżej.

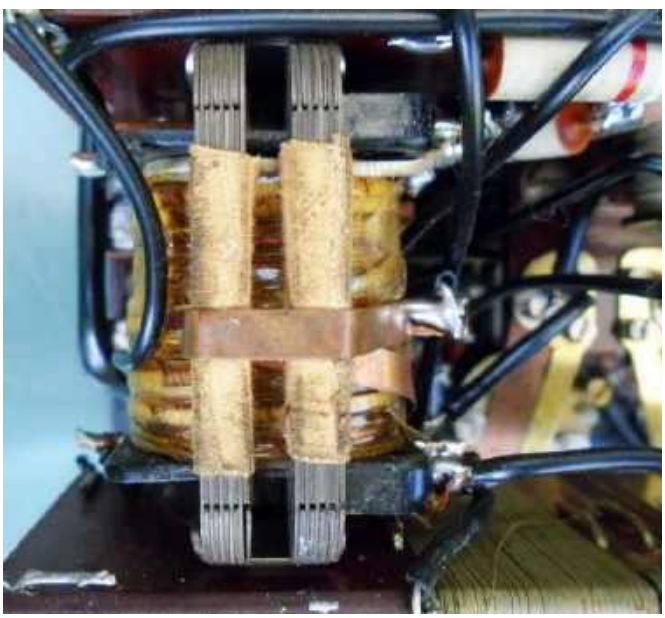


Przykład nieliniowej skali dla napięć przemiennych (© 2024 Jos Verstraten)

Pomiar prądów przemiennych

Za pomocą większości multimetrów analogowych nie można mierzyć prądów przemiennych. Wynika to z faktu, że klasyczny system używany do pomiaru napięć przemiennych nie może być tutaj użyty. Napięcie odkładające się na rezystorach bocznikujących jest zbyt niskie, aby spowodować przewodzenie diod prostowniczych.

Jeśli ktoś chce zaprojektować multimetr zdolny do pomiaru prądów przemiennych musi użyć przekładnika prądowego, który wytwarza napięcie przemienne proporcjonalne do natężenia przepływającego prądu. Pomiar natężenia prądu przemiennego jest wtedy sprowadzony do pomiaru napicia przemiennego. Jednak taki przekładnik jest nieporęczny w użyciu i dość drogi, stosowany jest tylko w profesjonalnych multimetrach, takich jak AVO „Model 8”.



Przekładnik prądowy w „Modelu 8” AVO (© Peter Visser)

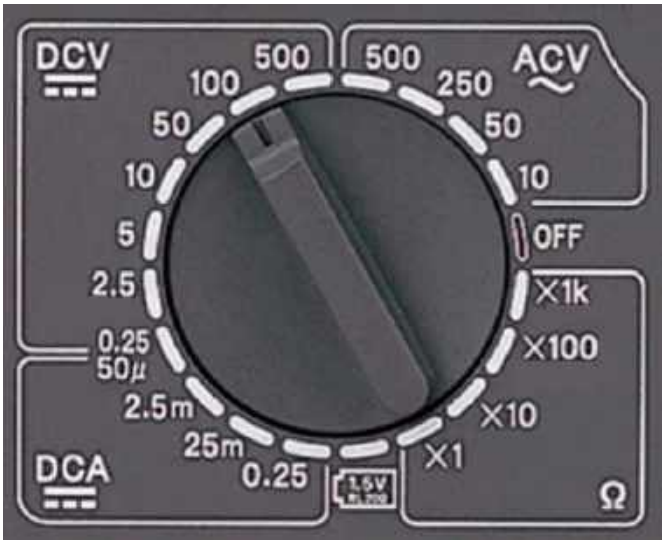
eprasa.pl 514c4ae447

Multimetry analogowe w praktyce

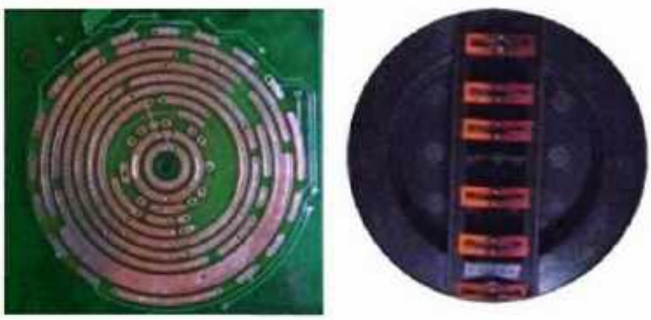
Prawie wszystkie multimetry analogowe mają tylko jedno duże pokrętło do wyboru żądanego zakresu pomiarowego. Oznacza to, że taki przełącznik ma często kilkadziesiąt pozycji. Przed przystąpieniem do pomiarów należy dokładnie sprawdzać, czy wybrany został właściwy zakres pomiarowy. Inaczej przedstawia się sytuacja w przypadku multimetrów cyfrowych, w których wystarczy wybrać mierzoną wielkość za pomocą przycisków lub przełącznika obrotowego z zaledwie kilkoma pozycjami!

Przełączanie z jednej wielkości pomiarowej na drugą za pomocą tylko jednego pokrętła jest absolutnie niemożliwe do osiągnięcia za pomocą przełącznika obrotowego o tradycyjnej konstrukcji. Wynika to z konieczności jednoczesnego przełączania wielu obwodów. Taki przełącznik byłby nieporęczny w użyciu i drogi w produkcji.

Dlatego prawie wszystkie multimetry analogowe wykorzystują pola stykowe wytrawione na płytce drukowanej. W droższych modelach pola stykowe są pozłacane, aby zapewnić długotrwałą, niezawodną pracę przełącznika. Część ruchoma ma wiele styków ślizgowych, które przesuwają się po polach stykowych i tworzą połączenia między różnymi częściami miernika, wymagane dla każdej pozycji przełącznika.



Przełącznik zakresów (© 2024 Jos Verstraten)



Konstrukcja przełącznika obrotowego (© 2024 Jos Verstraten)

Przykład multimetru analogowego: CT393A+ firmy A-BF

Ten chiński przyrząd pomiarowy, wyceniony na 45,57 euro, należy do średniej klasy multimetrów analogowych dostępnych w sprzedaży. Ma pięć zakresów pomiarowych napięcia stałego, od 0,1 V do 250 V i czułość równą 20 kΩ/V. Do pomiaru prądu stałego dostępnych jest pięć zakresów, od 50 µA do 10 A. Rezystancja może być mierzona w pięciu zakresach od R razy 1 Ω do R razy 10 kΩ. Miernik realizuje kilka funkcji dodatkowych, takich jak testowanie tranzystorów, kontrola ciągłości przewodów, pomiar napięcia wbudowanych baterii. Miernik jest zasilany z baterii 6F22 o napięciu 9 V i z dwóch baterii AA o napięciu 1,5 V każda.

Jak pokazano na poniższym rysunku, elementy miernika są chronione przez dwa bezpieczniki topikowe. Bezpiecznik o obciążalności równej 10 A jest połączony szeregowo z oddzielnym wejściem amperomierza o zakresie 10 A. W pobliżu tego bezpiecznika widoczny jest metalowy element w kształcie litery U. Jest to bocznik prądowy dla zakresu 10 A. Bezpiecznik o obciążalności 0,5 A jest połączony szeregowo z przewodem „+INPUT". Na płytce drukowanej jest miejsce na termistor PTC stanowiący dodatkowe zabezpieczenie wejścia „+INPUT" przed nadmiernym napięciem. Co dziwne, element ten nie jest fabrycznie montowany.



Przykładowy multimetr CT393 A+ firmy A-BF (© 2024 Jos Verstraten)

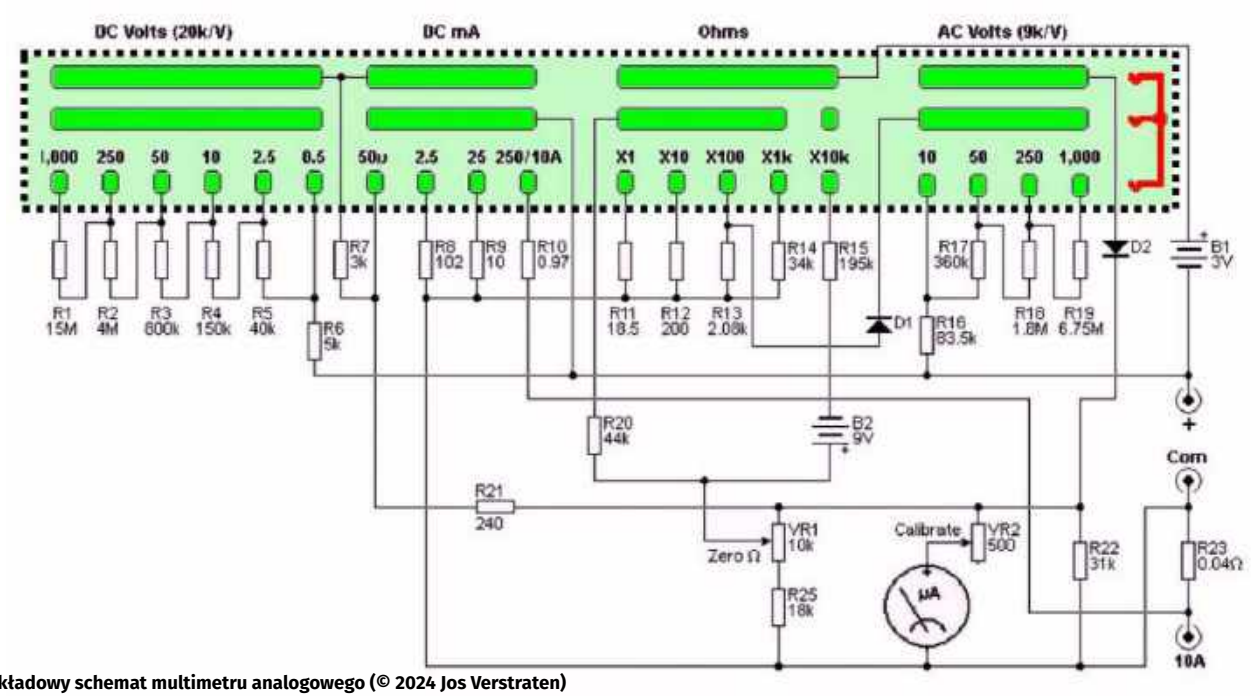
Przykładowy schemat multimetru

Na poniższym rysunku przedstawiono pełny schemat przykładowego multimetru analogowego (innego niż CT393A+). Na tym przykładzie wyraźnie widać w jaki sposób styki umieszczone na części ruchomej przełącznika zakresów (kolor czerwony) łączą pola stykowe wytrawione ma płytce multimetru (kolor zielony).

Praca z multimetrem analogowym

Multimetr analogowy jest delikatnym przyrządem i dlatego powinien być używany z dużą ostrożnością. Częste przeciążenia miernika prowadzą do szybkiej deformacji wskazówki lub nawet uszkodzenia elementów zawieszenia ruchomej cewki. Aby uzyskać prawidłowe pomiary, należy zawsze zwracać uwagę na następujące czynniki:

eprasa.pl 514c4ae447



Przykładowy schemat multimetru analogowego (© 2024 Jos Verstraten)

- Przed pomiarem należy sprawdzić, czy wskazówka znajduje się w pozycji zerowej i w razie potrzeby wyregulować jej położenie za pomocą śruby.
- Początkowo przełącznik zakresów należy ustawiać na najwyższy zakres pomiarowy wybranej wielkości.
- Jeśli wskazówka wychyla się tylko nieznacznie należy zmienić zakres pomiarowy na niższy, tak by wskazówka znajdowała się co najmniej na środku skali.
- W przypadku pomiarów rezystancji należy najpierw sprawdzić, czy przy zwartych przewodach pomiarowych wskazówka znajduje się w położeniu zerowym, po prawej stronie skali. Jeśli tak nie jest należy dokonać regulacji za pomocą pokrętła „ZERO-OHM".
- Nie należy mierzyć rezystancji elementów wmontowanych do jakiegoś urządzenia. Przed pomiarem rezystancji należy te elementy wylutować z układu lub zastosować wcześniej opisaną metodę alternatywną. ■

Jos Verstraten

REKLAMA



eprasa.pl 514c4ae447

Bezprzewodowy „radar” ultradźwiękowy z wyświetlaczem TFT

Opisywane urządzenie jest miniaturową wersją prawdziwego systemu radarowego. Wykorzystuje ono fale ultradźwiękowe do wykrywania pobliskich obiektów, prezentując ich dokładną odległość w cm i kierunek w stopniach na wyświetlaczu TFT LCD o przekątnej 10,9 cm (4,3 cala). LCD wyświetla tarczę radarową i pokazuje położenie i ruch wykrywanego obiektu, tak jak prawdziwy monitor radarowy. Urządzenie skanuje obiekty w czasie rzeczywistym w zakresie kątów 0...180° (półkole). Po wykryciu obiektu, na ekranie jest wyświetlana odległość od niego i kąt widzenia. Rysunek 1 ilustruje trzy etapy wykrywania obiektu i wyświetlania informacji.

Na wyświetlaczu rysowana jest półokrągła tarcza radarowa z zaznaczonymi kątami 15°, 30°, 45° itd., jak widać na rysunku 1. Pokazywany jest animowany proces skanowania. Po wykryciu obiektu wyświetlana jest odległość od niego i kąt, a kierunek jest zaznaczany na tarczy radaru czerwonymi liniami.

Cały „radar” jest systemem bezprzewodowym. Składa się z dwóch jednostek: nadajnika i odbiornika. Nadajnik w sposób ciągły skanuje falami ultradźwiękowymi półokrągły obszar o promieniu około 500 cm. Po wykryciu obiektu nadajnik mierzy jego odległość i kąt, a następnie wysyła te parametry przez radio do odbiornika znajdującego się w pewnej odległości. Zasięg transmisji wynosi w prostej linii ponad kilometr. Odbiornik pokazuje na wyświetlaczu tarczę radaru i animację procesu skanowania, podaje też odległość i kąt obiektu.

Nadajnik zawiera ultradźwiękowy czujnik pomiaru odległości (UDM) typu HC-SR04, płytkę mikrokontrolera Arduino Nano (MCU) oraz radiowy moduł nadawczo-odbiorczy (HC-12). Odbiornik również składa się z płytki Arduino i modułu HC-12, zawiera ponadto wyświetlacz TFT LCD o przekątnej 10,9 cm (4,3 cala) i rozdzielczości 480×320 px z łączem SPI. Podzespoły urządzenia są wymienione w liście elementów.



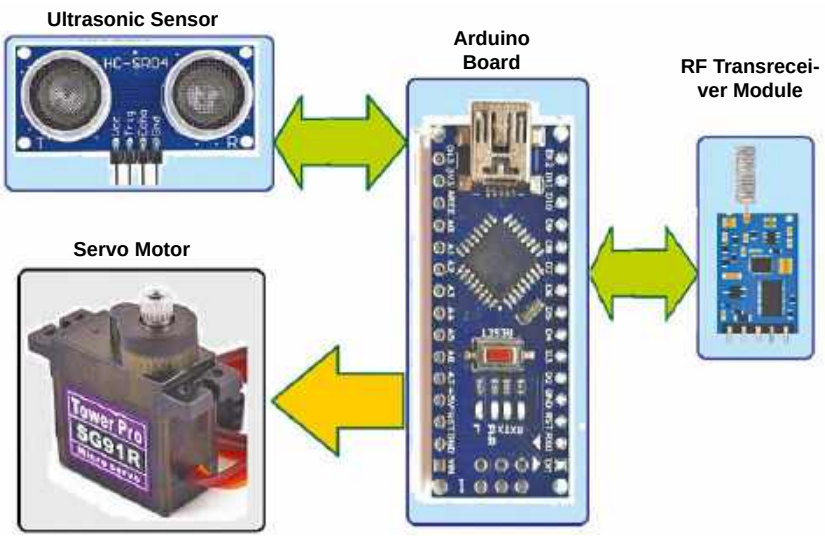
Rysunek 1. Trzy fazy działania radaru na wyświetlaczu LCD

Układ i działanie

Prześledźmy działanie skanera radarowego w oparciu o jego schemat blokowy.

Najpierw nadajnik (rysunek 2). Sekcja ta składa się z czujnika ultradźwiękowego (HC-SR04), serwa, płytki Arduino Nano i modułu radiowego.

Czujnik ultradźwiękowy HC-SR04 służy do wysyłania fali ultradźwiękowej i odbierania fali odbitej od obiektu znajdującego się przed czujnikiem. Mierzona jest odległość od obiektu. Czujnik wytwarza przebieg prostokątny z modulacją szerokości impulsu (PWM), a szerokość ta jest proporcjonalna do odległości od obiektu. Serwo obraca



Rysunek 2. Schemat blokowy nadajnika

eprasa.pl 514c4ae447

czujnik ultradźwiękowy w lewo i prawo w zakresie 0...180°. Skanowany jest więc obszar półokręgu. Moduł radiowy, pracujący na częstotliwości nośnej 434 MHz, służy do przesyłania w formacie szeregowym wartości odległości i kąta wykrytego obiektu.

Głównym elementem tej sekcji jest Arduino Nano. Steruje on serwo przebiegiem PWM, obracając moduł w zakresie od 0° do 180°. Mierzy szerokość impulsów na wyjściu czujnika ultradźwiękowego i na tej podstawie oblicza odległość od obiektu. Wysyła łączem szeregowym obliczoną odległość i kąt obiektu do modułu radiowego.

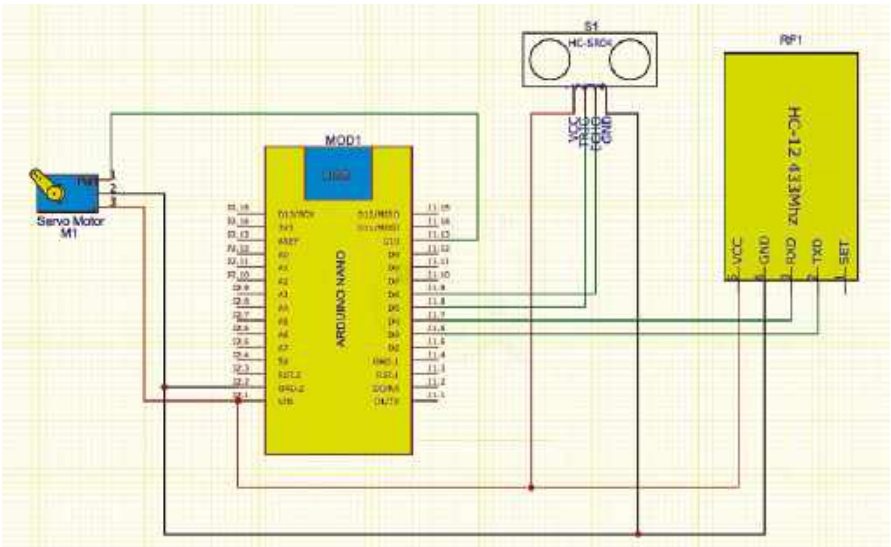
Schemat ideowy sekcji nadajnika widzimy na **rysunku 3**. Sekcja składa się z czterech podstawowych elementów: czujnika HC-SR04, serwomotoru, modułu radiowego HC-12 i płytki Arduino Nano. Ich wzajemne połączenia są następujące: moduł czujnika HC-SR04 ma cztery piny: Vcc, Gnd, Trig i Echo. Vcc jest podłączone do 5 V płytki Arduino, Gnd do masy, natomiast piny Trig i Echo – odpowiednio do pinów D5 i D6 płytki Arduino. Serwomotor ma trzy zaciski: Vcc, Gnd i Signal. Vcc jest dołączone do 5 V Arduino, Gnd do masy, Signal do pinu wyjściowego PWM D11 płytki Arduino. Moduł HC-12 ma zaciski Vcc, Gnd, Tx i Rx. Vcc jest dołączony do 5 V Arduino, Gnd do masy, a piny Tx i Rx odpowiednio do pinów D3 i D4 w Arduino.

Teraz sekcja odbiornika. Jej schemat blokowy widzimy na **rysunku 4**. Sekcja składa się z trzech elementów: Arduino Nano, nadawczo-odbiorczego modułu radiowego oraz wyświetlacza TFT o przekątnej 10,9 cm (4,3 cala).

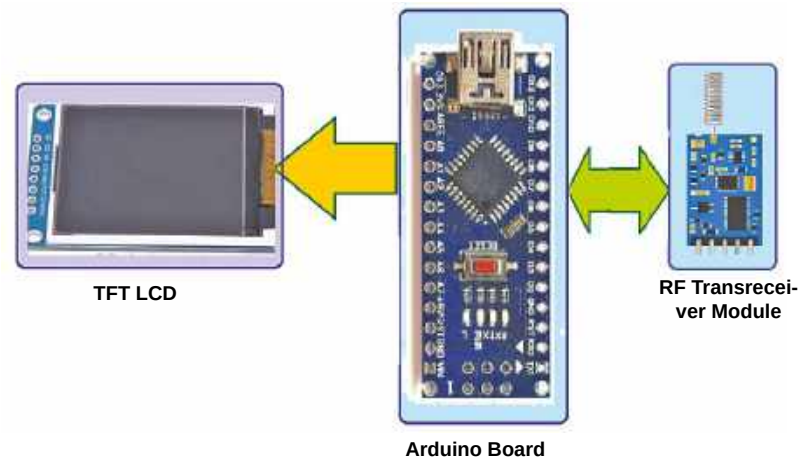
Również tu centralnym elementem jest Arduino Nano. Moduł radiowy odbiera informacje o odległości i kącie obiektu i wysyła je szeregowo do Arduino, który z kolei wyświetla te informacje na wyświetlaczu. Wyświetlana jest półokrągła tarcza radaru i przeprowadzana animacja procesu skanowania obiektu.

Rysunek 5 przedstawia schemat ideowy sekcji odbiornika. układ zawiera wyświetlacz TFT LCD, moduł HC-12 i płytkę Arduino. Zamiast Arduino Nano można użyć Arduino Uno, jak w prototypie, co widać na **rysunku 8b**. Zamiana taka nie ma wpływu na działanie urządzenia.

Jak widać na rysunku 8a (sekcja nadajnika), moduł HC-SR04 jest zamontowany na wałku serwomotoru. Z korpusem serwomotoru połączona jest tarcza z podziałką kątową 0...180°, a do jego wałka przymocowany jest wskaźnik. Gdy serwomotor obraca się, na tarczy jest wskazywany kąt obrotu. Ponieważ do wałka jest również przymocowany czujnik HC-SR04, kąt obrotu jest kątem widzenia wykrywanego obiektu.



Rysunek 3. Schemat ideowy nadajnika



Rysunek 4. Schemat blokowy odbiornika

Szczegóły

Początkowo zarówno nadajnik, jak i odbiornik radaru są wyłączone. Najpierw załączany jest odbiornik. Po włączeniu wyświetla on tarczę radaru i czeka na sygnały z nadajnika.

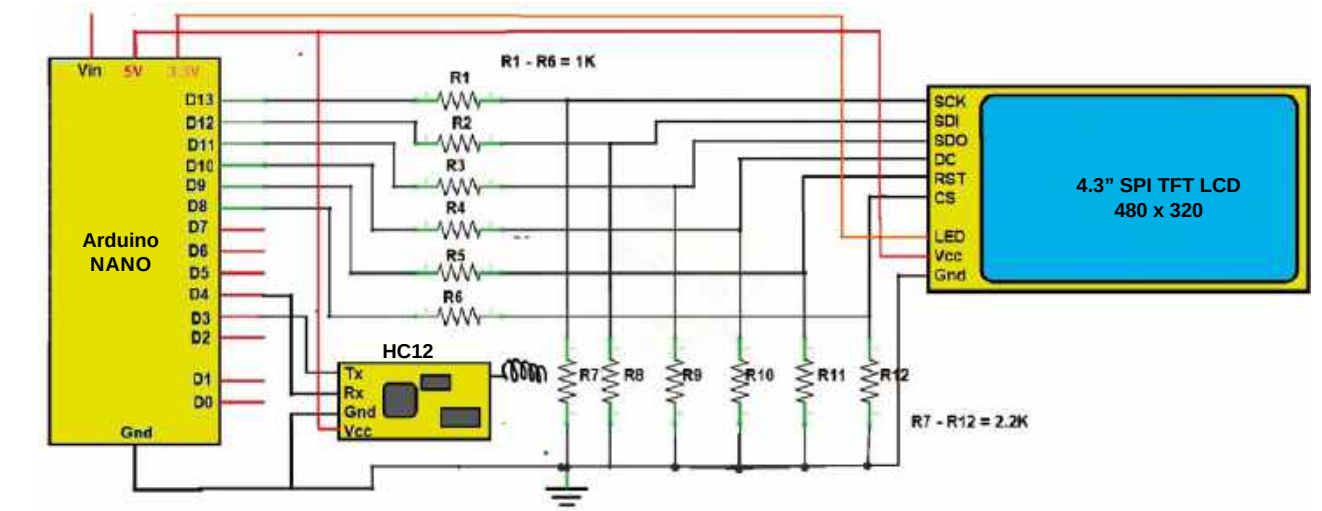
Następnie załączany jest nadajnik. Arduino wysyła na pinie D11 przebieg PWM do serwa, przesuwając go do pozycji 0°. Nadajnik jest gotowy do rozpoczęcia skanowania. Arduino zaczyna przesuwać serwomotor od 0° do 180° w krokach co 1°, zwiększając liniowo szerokość impulsu. Za każdym razem, gdy zwiększa się kąt serwomotoru, Arduino wykonuje jednocześnie następujące zadania:

(1) wysyła przez radio do sekcji odbiornika dane synchronizujące skanowanie,
(2) wysyła impuls wyzwalający do czujnika HC-SR04, rozpoczynając jego działanie.

Lista Elementów

element	ilość
Arduino Nano/Uno (MOD1, MOD2)	2
Serwo (M1)	1
Czujnik ultradźwiękowy HC-SR04 (S1)	1
Moduł radiowy HC-012 (RF1, RF2)	2
wyświetlacz TFT LCD, przekątna 10,9 cm (4,3 cala) (LCD1)	1
Rezystory R1-R6 (1 kΩ)	6
Rezystory R7-R12 (2,2 kΩ)	6
Zasilacz napięcia stałego 5 V	2 (nadajnik i odbiornik)
Zworki i przewody	według schematu

eprasa.pl 514c4ae447

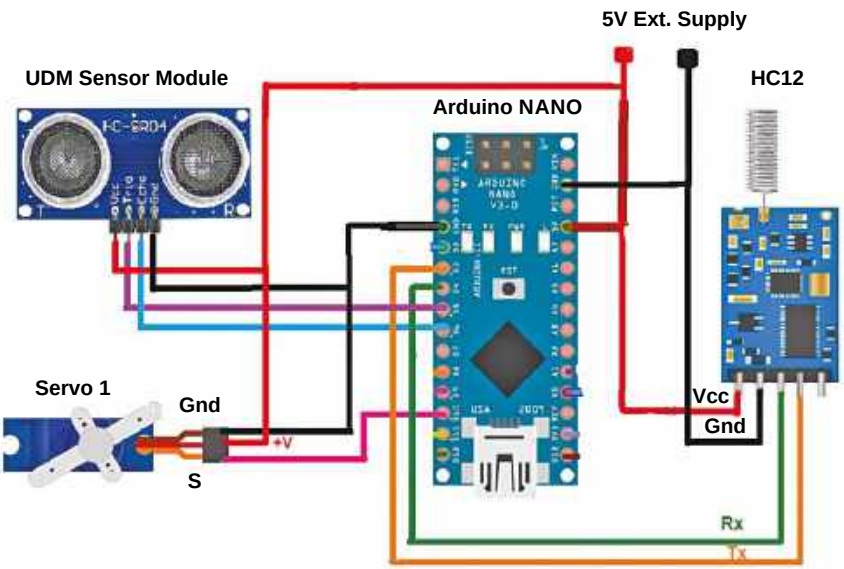


Rysunek 5. Schemat ideowy odbiornika

Gdy w sekcji odbiornika Arduino odbierze przez radio dane synchronizujące skanowanie, rozpoczyna na wyświetlaczu animację skanowania. Na monitorze radaru jest wyświetlany stopniowo rosnący kąt skanowania – ten sam, co po stronie nadajnika. Skanowanie jest przeprowadzane od 0° do 180° i z powrotem. Proces skanowania jest monitorowany na tarczy radaru w odbiorniku. Skanowanie trwa, dopóki nie zostanie wykryty jakiś obiekt.

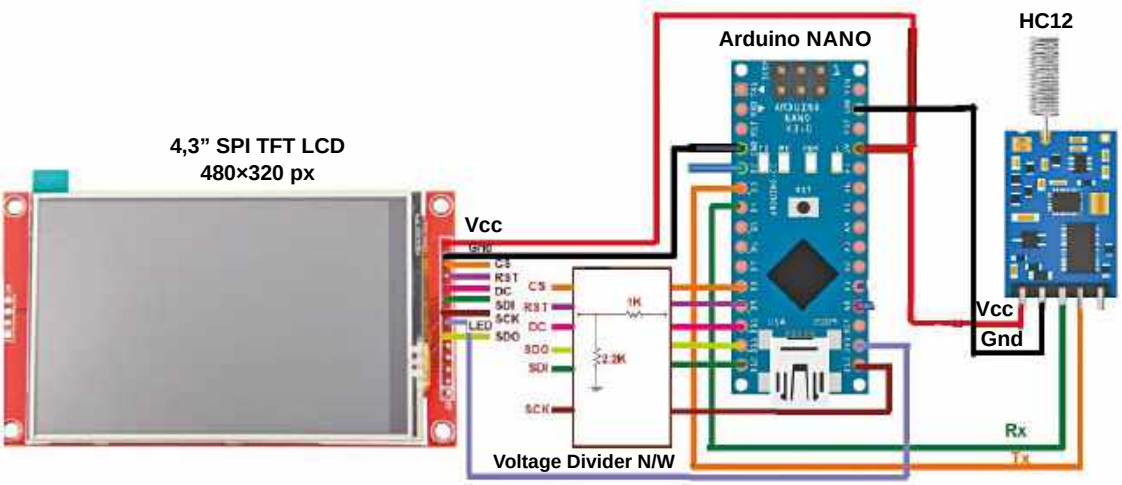
Gdy czujnik HC-SR04 wykryje obiekt, mierzy odległość od niego i wysyła do Arduino sygnał PWM z impulsami o odpowiedniej szerokości. Arduino mierzy szerokość tych impulsów i oblicza odległość, po czym przesyła łączem szeregowym informacje o odległości i kącie do modułu HC-12, który z kolei wysyła te dane drogą radiową do odbiornika.

Taki sam moduł odbiera dane po stronie odbiornika i wysyła je w postaci szeregowej do Arduino. Odległość i kąt zostają wyświetlone na monitorze radaru, a na tarczy radaru



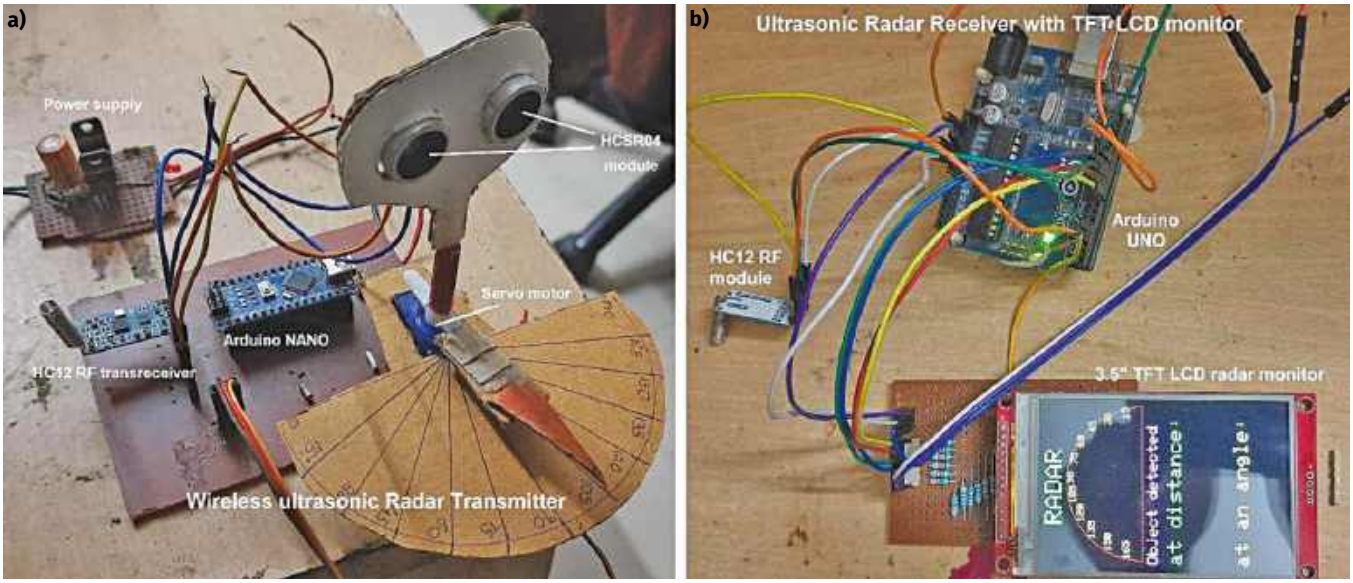
Rysunek 6. Połączenia nadajnika

Dla tego projektu przygotowano film, dostępny pod adresem: https://youtu.be/di-yTlOLZ0c.



Rysunek 7. Połączenia odbiornika

eprasa.pl 514c4ae447



Rysunek 8. Prototyp Autora: a) nadajnik i b) odbiornik

rysowane są pod odpowiednim kątem czerwone linie.

W ten sposób stale skanowany jest półkolisty obszar o promieniu 500 cm (maksymalny zasięg czujnika HC-SR04). Po wykryciu obiektu informacja jest przesyłana do odbiornika mogącego się znajdować w odległości ponad kilometra. Odległość i kąt wykrytych obiektów są wyświetlane przy użyciu wielokolorowej, animowanej grafiki.

Oprogramowanie

Działanie układów nadajnika i odbiornika jest sterowane programami wgranymi do wewnętrznej pamięci FLASH mikrokontrolerów na płytkach Arduino (ATMega328). Są dwa programy: jeden dla nadajnika, drugi dla odbiornika. Oba są napisane w języku Arduino C/C++ i skompilowane w środowisku Arduino IDE, a kod wynikowy zostaje załadowany do pamięci FLASH ATMega328.

Program nadajnika wykonuje następujące zadania:

1. Obraca serwomotor w zakresie 0...180° i z powrotem poprzez generowanie sygnału PWM na pinie wyjściowym D11.
2. Za pośrednictwem modułu HC-SR04 wykrywa obiekt i mierzy odległość od niego.
3. Po wykryciu obiektu odczytuje kąt serwomotoru.
4. Przesyła szeregowo dane odległości i kąta do modułu radiowego HC-12.

Program wykorzystuje następujące biblioteki:

1. Servo. Służy do obracania serwomotoru o żądany kąt, zgodnie lub przeciwnie do ruchu wskazówek zegara.
2. SoftwareSerial. Służy do komunikacji z modułem radiowym HC-12. Wysyła szeregowo dane na pinie D4 (UART Tx). Biblioteka aktywuje piny D3 i D4 jako linie Rx i Tx układu UART.

Program odbiornika wykonuje następujące zadania:

1. Pokazuje na wyświetlaczu animację procesu skanowania radarowego.
2. Odbiera szeregowe dane z modułu radiowego HC-12.
3. Wypisuje na wyświetlaczu odległość i kąt wykrytego obiektu.

Wykorzystane są następujące biblioteki:

1. LCDWIKI_GUI.h. Służy do wyświetlania na ekranie znaków, liczb, grafiki, animacji itp. oraz zrealizowania graficznego interfejsu użytkownika.
2. LCDWIKI_SPI.h. Służy do komunikacji z wyświetlaczem TFT poprzez czteroprzewodowy interfejs SPI.
3. SoftwareSerial. Służy do komunikacji z modułem radiowym HC-12, podobnie jak w mikrokontrolerze po stronie nadajnika. Odbiera szeregowe dane pinem D3 (UART Rx). Jak już wspomniano, biblioteka ta aktywuje piny D3 i D4 jako linie Rx i Tx UARTa.

Konstrukcja i testowanie

Przed przystąpieniem do zbudowania urządzenia należy zapoznać się ze schematami ideowymi nadajnika i odbiornika (**rysunki 6** i **7**) i zdjęciami prototypu (**rysunek 8**).

Programy do płytek Arduino Nano nadajnika i odbiornika wgrywamy przed wykonaniem połączeń elektrycznych.

Po zmontowaniu nadajnika i odbiornika należy zasilić oba urządzenia. Na wyświetlaczu odbiornika powinien pojawić się obraz skanowania. ■

Ashutosh M. Bhatt

Ten artykuł był wcześniej opublikowany na łamach „EFY”, sierpień 2024 (efymag.com)

REKLAMA

numery archiwalne • prenumerata • książki
www.UlubionyKiosk.pl

eprasa.pl 514c4ae447

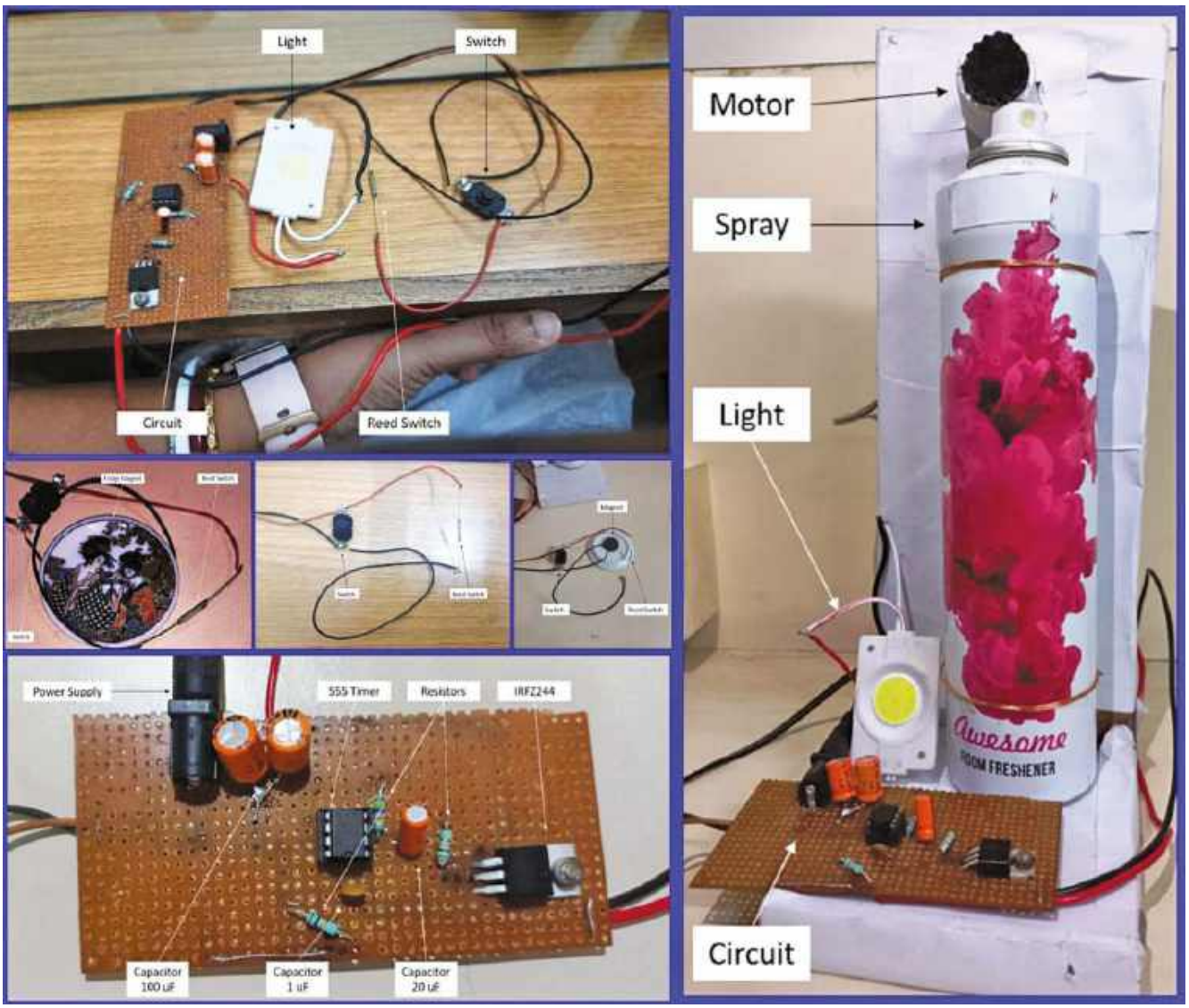
Moduł sterujący odświeżaczem powietrza i oświetleniem

Tematem tego projektu jest moduł sterujący silniczkiem, który uruchamia rozpylacz i równocześnie włącza lampkę LED. Moduł wyposażono w dwojakiego rodzaju styki. Silniczek rozpylacza uruchamiany jest zawsze na kilka sekund, a światło może być włączane również na krótki odcinek czasu lub na stałe. Moduł ten może sterować np. nocną lampką wraz z rozpyleniem Twojego ulubionego zapachu.

Na **rysunku 1** zamieszczono zdjęcia prototypu wykonanego przez autora, a na **rysunku 2** pokazano schemat blokowy pracy modułu. W tabelce zamieszczonej niżej, zebrano spis podzespołów wymaganych do wykonania tego projektu.

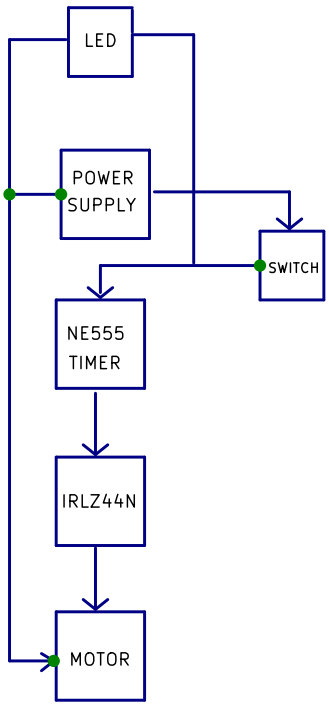
Poza elektroniczną częścią projektu, istotne jest także poprawne wykonanie strony mechanicznej. W szczególności, przeróbki wymaga zastosowany silniczek. Autor wykorzystał 12 V silnik prądu stałego o małym momencie obrotowym i szybkich obrotach 4000RPM (cztery tysiące obrotów na minutę). Do aktywacji spray-u z rozpylaczem potrzeba tylko jednego pełnego obrotu i dosyć dużego momentu siły. To wymaga zastosowania przekładni, którą autor przełożył z innego większego silnika.

Podstawowym elementem elektronicznej części projektu jest popularny układ scalony NE555. To układ timera zawierający komparatory, przerzutnik flip-flop i wszystkie



Rysunek 1. Prototyp wykonany przez autora – moduł wraz z jego aplikacją

eprasa.pl 514c4ae447



Rysunek 2. Schemat blokowy układu

podzespoły pozwalające na elastyczną konfigurację układu. Układ ten jest dostępny w kilku obudowach, w szczególności DIP (dual in-line package) jak i w wersji SMD do montażu powierzchniowego. To wszystko sprawia, iż układ ten jest bardzo wygodny i często aplikowany w wielu projektach. Drugim istotnym elementem naszego projektu jest tranzystor MOSFET typu IRLZ44N. Tranzystor ten jest również stosowany w wielu projektach jako element kluczujący. Tutaj także pracuje jako klucz uruchamiający pracę silnika. Można go znaleźć w wielu układach które charakteryzuje praca impulsowa, w szczególności w zasilaczach, inwerterach, ale także we wzmacniaczach.

W module będącym tematem bieżącego projektu wykorzystano kontaktron. To element z mechanicznymi stykami zatopionymi w rurce wypełnionej gazem obojętnym. W „stanie normalnym" styki pozostają rozwarte, natomiast ulegają zwarciu w obecności pola magnetycznego. Z reguły wystarcza niewielkie natężenie pola, wytwarzane np. przez magnes stały. Może to być niewielki magnesik, często stosowany do umocowania drobnych elementów na drzwiach lodówek.

Opis układu i jego działanie

Schemat ideowy zaproponowanego tu modułu pokazano na **rysunku 3**.

Poza drobnymi elementami biernymi, schemat zawiera układ scalony NE555, tranzystor IRLZ44N, silnik oraz dwojakiego rodzaju styki. S1 to wspomniany wcześniej kontaktron, a S2 to zwykły przełącznik SPDT.

Zwarcie S1 lub S2 uruchamia silnik na krótki odcinek czasu, pozwalający na krótkotrwałą pracę rozpylacza, wytwarzającego jedną dawkę ulubionego zapachu.

Od redakcji EDW: Należy się domyślać, że aplikacja autora jest tak rozwiązana, iż zwarcie styków kontaktronu jest krótkotrwałe, natomiast przełącznik S2 może być włączony na stałe. Ze schematu odczytujemy, iż układ nie ma trwałego zasilania. Zasilanie jest włączane właśnie stykami S1 lub S2. Należy się również domyślać, że dioda LED1 nie jest pojedynczą diodą LED, ale zespołem (prawdopodobnie trzech) diod z rezystorem ograniczającym prąd. Równie dobrze, może to być lampka LED złożona z większej ilości białych diod LED, pozwalająca na zasilanie wprost z napięcia 12 V. Ze schematu na rysunku 3 można wnioskować, że LED1 świeci tak długo, jak długo zwarty jest jeden z przełączników (S1 lub S2). Natomiast silnik M1 jest zawsze włączany na krótki, kilkusekundowy czas. Jeśli jednak, czas zwarcia styków kontaktronu będzie krótszy od czasu wyznaczonego timerem, to czas włączenia silniczka również ulegnie skróceniu.

W układzie widocznym na schemacie zamieszczono dwa obwody RC. R3xC2 ma krótką stałą czasową, około pół sekundy. Obwód ten służy do tego, aby wystartować timer zaraz po włączeniu napięcia zasilania. NE555 połączono w konfigurację przerzutnika monostabilnego, wyznaczonego stałą czasową drugiego obwodu RC – R1 i C3. Tutaj stała czasowa (dla R1=10 kΩ i C3=200 µF) wynosi dwie sekundy. Należy to przemnożyć przez czynnik 1,1 (tj. ln3, co wynika z poziomów komparacji w timerze NE555).

Wyjście Q (pin 3 układu scalonego) powinno przyjąć stan wysoki na czas 2,2 sekundy. I na taki czas włącza klucz w postaci tranzystora polowego T1. Równolegle do silnika włączono dość sporej pojemności kondensator C4=100 µF. To jest w pełni uzasadniony zabieg w przypadku komutatorowego silnika prądu stałego. Zabezpiecza on i tranzystor i redukuje promieniowane zakłócenia EMI, generowane wskutek iskrzenia styków szczotek z komutatorem silnika prądu stałego.

Od redakcji EdW: W komentarzach do schematu ideowego, warto jeszcze zauważyć dwie rzeczy. Obecność kondensatora C4 zwalnia z obowiązkowej zwykle diody antyrównoległej, wymaganej w przypadku każdego obciążenia o charakterze indukcyjnym.

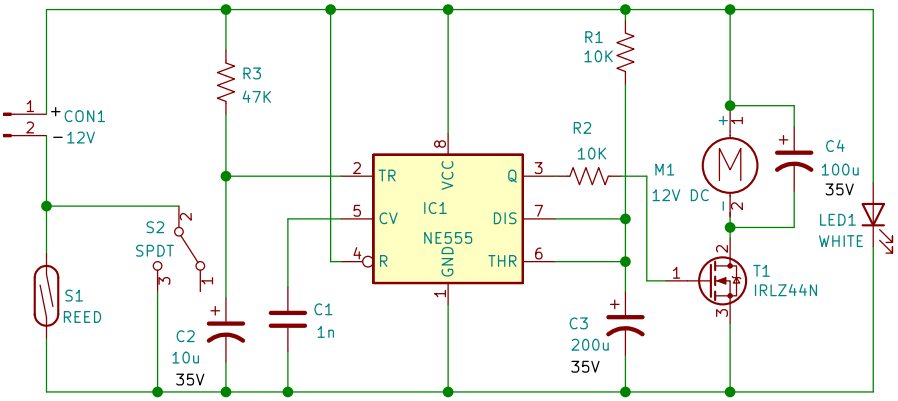
Druga uwaga dotyczy obwodu wyzwalania monoflopu wykonanego na NE555. Wyzwalanie odbywa się zwykle jakimś krótkim impulsem na wejściu TRIGGER (wyprowadzenie 2). Tutaj należy ściągnąć potencjał poniżej 1/3 zasilania. Zadanie to wykona rozładowany kondensator C2. Czyli, zaraz po włączeniu zasilania, monoflop wystartuje i wyjście Q przyjmie stan wysoki, włączając M1 na z góry zdeterminowany czas.

Dla tego (bardzo prostego projektu) kluczowe jest umieszczenie i sposób aktywacji przycisków S1 i S2. Autor na ten temat nic nie wspomniał, a to jest najistotniejszy fragment całej konstrukcji. W tym przypadku warto zwrócić uwagę, co się dzieje po wyłączeniu przełącznika (co oznacza kompletne wyłączenie zasilania całego układu). Kondensator C3 ulega rozładowaniu za sprawą aktywacji wyprowadzenia DISCHARGE (wyprowadzenie 7) układu scalonego (o ile S1 lub S2 był zwarty na dłużej niż czas monoflopu). Natomiast C2 pozostaje naładowany do pełnego napięcia zasilania. Aby kolejne włączenie S1 lub S2 aktywowało układ, trzeba odczekać, aż C2 się rozładuje (co najmniej do 1/3 zasilania). W stosunkowo krótkim czasie ładunek z C2 przepłynie na (znacznie większej pojemności) kondensator C3. Jednak, dla pełnego rozładowania obu kondensatorów i przywrócenia „zerowych warunków początkowych" w układzie, może być potrzeba odczekania dość długiego odcinka czasu.

Wykaz podzespołów

Element	- ilość	- Pełniona funkcja w układzie
Timer NE555 (IC1)	- 1szt.	- układ wypracowuje sygnał włączający silnik
IRLZ44N/IRFZ44 (T1)	- 1szt.	- MOSFET włączający silnik
Kondensatory (C1-C4)	- 4szt.	- dla obwodu czasowego i filtracji zakłóceń
Rezystory (R1-R3)	- 3szt.	- układy czasowe i polaryzacja
Silnik (z przekładnią)	- 1szt.	- uruchamianie rozpylacza
Switch SPDT (S2)	- 1szt.	- włączanie/wyłączanie obwodu
Kontaktron (S1)	- 1szt.	- uruchamianie obwodu przy pomocy magnesu
12 V LED (LED1)	- 1szt.	- w celu oświetlenia lub indykacji
Zasilacz wtyczkowy 12 V	- 1szt.	- zasilanie urządzenia

eprasa.pl 514c4ae447



Rysunek 3. Schemat ideowy układu

Podsumowując, zaproponowany tu projekt można traktować jako ciekawy pomysł, który dla indywidualnych potrzeb może wymagać rozbudowy i przeprojektowania.

Konstrukcja i testowanie pracy układu

Układ można zmontować na uniwersalnej płytce PCB. Należy się kierować przede wszystkim schematem ideowym, a pomocne może być też zdjęcie pokazujące prototyp wykonany przez autora. Jeśli nie popełnimy błędu, układ powinien od razu działać poprawnie.

Od redakcji EdW: W tym miejscu należy uczulić, iż w zależności od mechanicznej strony projektu (zastosowanego silnika, przekładni i krzywki uruchamiającej rozpylacz) należy odpowiednio dobrać czas timera elementami R1 i C3. Autor pisze, że krzywka powinna wykonać jeden pełny obrót. To może być ważne i trudne do ustawienia czasem włączenia silnika. Lepszym rozwiązaniem może być zastosowanie jakiegoś dodatkowego styku na krzywce w przekładni, który w określonym położeniu zatrzyma silnik. Zatrzymanie się krzywki w nieodpowiedniej pozycji, może skutkować trwałym uruchomieniem rozpylacza, czego na pewno chcemy uniknąć. W przypadku modyfikacji układu z dodatkowymi stykami na krzywce, sensowna może być też zmiana trybu pracy timera, z przerzutnika monostabilnego na bistabilny. Zapewnienie, dokładnie jednego pełnego obrotu krzywki i zatrzymanie się jej w pozycji, gdy nie naciska na spray, może być głównym mankamentem tego projektu. Silnik uruchamiany obwodem czasowym, po wielu cyklach włączenia, na pewno zatrzyma się w złej pozycji. Również, jeśli zewrzemy styki kontaktronu na czas krótszy od wymaganego (dla pełnego obrotu 360°), co może być nieuniknione, spowoduje, iż spray będzie „rozpylał cały czas". Usunięcie tego mankamentu można wykonać na drodze elektronicznej lub mechanicznej. To znaczy w obrębie samego silniczka, nie pozwalając mu się zatrzymać w niewłaściwej pozycji.

Testowanie układu sprowadza się po prostu do sprawdzenia, czy działa zgodnie z założeniami. Uruchomienie układu magnesem zbliżonym do kontaktronu powinno uruchomić rozpylacz „na jedną dawkę" i LED1 powinna również zgasnąć po cofnięciu magnesu. Trwałe zwarcie styków przełącznika S2 powinno również uruchomić spray na jeden obrót krzywki, a lampka LED powinna świecić cały czas. W zależności od indywidualnych potrzeb, LED1 może służyć jako indykacja zasilania układu, lub służyć do oświetlenia.

Konkludując można stwierdzić, że ten prosty projekt może być ciekawą, dostosowaną do indywidualnych potrzeb i niedrogą alternatywą dla podobnych urządzeń dostępnych w handlu. ■

Dr Geetali Saha
Dhruv Vachhani

Ten artykuł był wcześniej opublikowany na łamach „EFY", maj 2024 (efymag.com)

REKLAMA

Publikujemy dla projektantów i programistów elektroniki

ELPORTAL.pl



eprasa.pl 514c4ae447

Prędkościomierz GPS do samochodów i rowerów

W dzisiejszym szybko zmieniającym się świecie jest szereg dziedzin – od pojazdów samochodowych po drony i sport – w których istotne znaczenie ma dokładny pomiar prędkości. Z myślą o tych dziedzinach opracowaliśmy przełomowe rozwiązanie – prędkościomierz oparty na GPS, zdolny do pomiaru prędkości do 1854 kilometrów na godzinę. Nasz prędkościomierz wyróżnia się zwartą konstrukcją i małymi rozmiarami. Wykorzystuje moduł Quectel L86 GPS + GPS oraz płytkę IndusBoard z akcelerometrem 3D i kompasem elektronicznym. Wszystko to mieści się w niewielkiej obudowie IndusBoard o średnicy 3 cm.

Małe rozmiary sprawiają, że opisywany prędkościomierz należy do najmniejszych przyrządów tego typu. Nadaje się do każdego samochodu, roweru, drona czy robota. Będzie łatwy w użyciu przez biegaczy i innych sportowców.

Układ umożliwia pomiar prędkości w czasie rzeczywistym. Zapewnia ponadto połączenie z Internetem Rzeczy (IoT) i łączność z prawie każdym urządzeniem obsługującym Wi-Fi, np. laptopem, telefonem czy tabletem. Cecha ta daje możliwość śledzenia w czasie rzeczywistym prędkości i pokonanego dystansu.

Zastosowania prędkościomierza opartego na GPS są bardzo szerokie. Może być używany w samochodach, informując kierowców na bieżąco o szybkości pojazdu, co zwiększa bezpieczeństwo jazdy i skłania do przestrzegania ograniczeń prędkości. Rowerzystom pomoże monitorować prędkość podczas treningu lub jazdy rekreacyjnej. Przyda się również biegaczom, zapewniając precyzyjny pomiar prędkości, co umożliwi śledzenie wydajności i przyczyni się do optymalizacji treningu. Ułatwia kontrolę prędkości i dokładność nawigacji w dronach i robotach, co ma kluczowe znaczenie dla poprawności autonomicznego ruchu i omijania przeszkód. Monitorowanie prędkości optymalizuje wydajność botów w szeregu zastosowań robotycznych.

Rysunek 1 przedstawia prototyp Autora zamontowany na rowerze. Elementy niezbędne



Rysunek 1. Autorski egzemplarz prędkościomierza GPS, użyty w rowerze

Lista Elementów

element	opis
IndusBoard	płytka rozwojowa o boku 3 cm
L86	moduł GPS
GC9A01A	okrągły wyświetlacz LCD
CST816	pojemnościowy układ dotykowy
obudowa	

Speedometeriot.ino | NotoSansBold36.h | dial.h

```
#define NEEDLE_LENGTH 8  // Visible length
#define NEEDLE_WIDTH  8  // Width of needle - make it an odd number
#define NEEDLE_RADIUS 118  // Radius at tip
#define NEEDLE_COLOR1 TFT_MAROON  // Needle periphery colour
#define NEEDLE_COLOR2 TFT_RED     // Needle centre colour
#define DIAL_CENTRE_X 120
#define DIAL_CENTRE_Y 120
#include <TinyGPS++.h>
#include <HardwareSerial.h>
#include <WiFi.h>
#include <WebServer.h>
#include <Arduino_JSON.h>
#include <math.h>

const char* ssid = "ESP32_S2_AP"; // SSID for the Access Point
const char* password = "password"; // Password for the Access Point
const int serverPort = 80;
float totalDistance = 0.0;
WebServer server(serverPort);

// The TinyGPS++ object
TinyGPSPlus gps;

// Use HardwareSerial for GPS
// On ESP32, Serial1 can be repurposed to use custom pins.
// RX (GPS TX) is 43, TX (GPS RX) is 44
HardwareSerial GPSSerial(1);

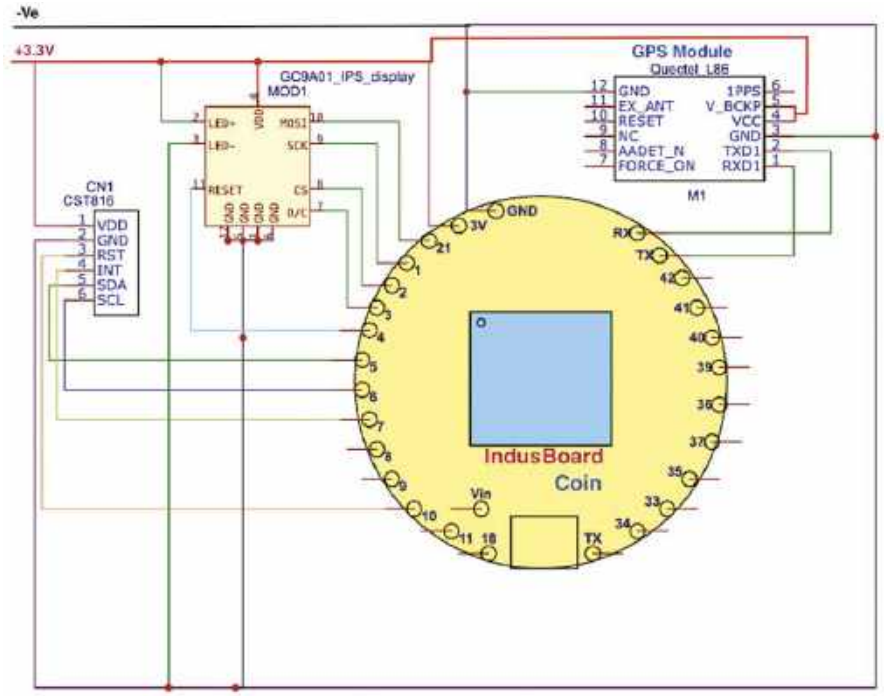
// Font attached to this sketch
#include "NotoSansBold36.h"
#define AA_FONT_LARGE NotoSansBold36

#include <TFT_eSPI.h>
```

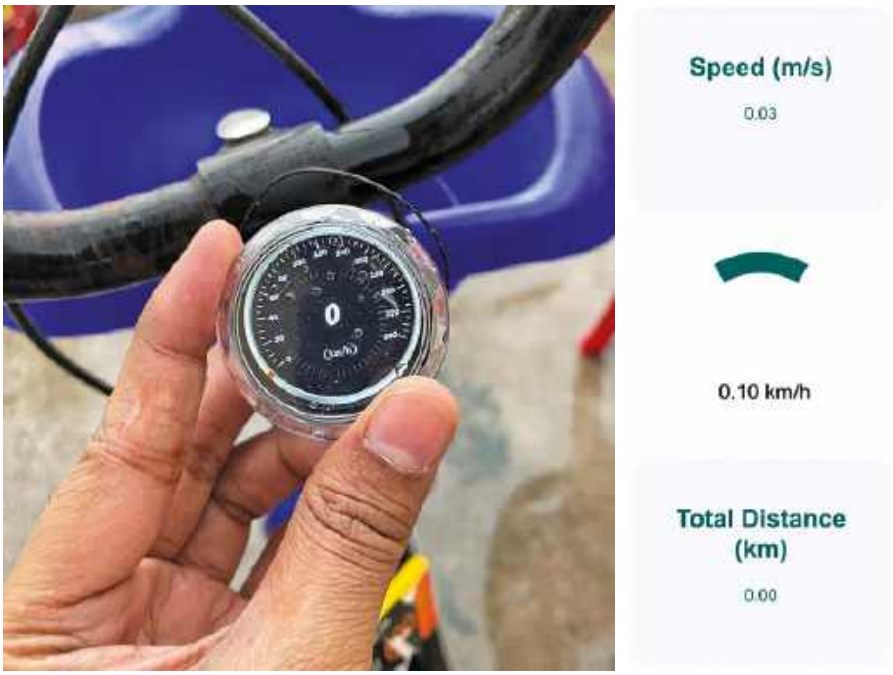
Rysunek 2. Fragment kodu źródłowego

https://github.com/Bodmer/TFT_eSPI
https://github.com/mikalhart/TinyGPSPlus

eprasa.pl 514c4ae447



Rysunek 3. Schemat prędkościomierza



Rysunek 4. Wersja końcowa prędkościomierza zamontowana na kierownicy roweru

Dla tego projektu przygotowano film, dostępny pod adresem: https://youtu.be/AIOhGSUB2Go.

do wykonania prędkościomierza przedstawiono w Liście Elementów.

Aby wgrać program, konieczne jest uprzednie zainstalowanie bibliotek TFT espi i TINY GPS Plus. Kolejne kroki zostały objaśnione w treści programu. Fragment kodu źródłowego przedstawiono na **rysunku 2**.

Układ i działanie

Rysunek 3 przedstawia schemat prędkościomierza. Konstrukcja opiera się na płytce IndusBoard, pojemnościowym układzie dotykowym CST816, okrągłym wyświetlaczu GC9A01A i module GPS L86.

Moduł L86 wysyła dane GPS przez port szeregowy o szybkości transmisji 9600 bodów. Piny RXD1 i TXD1 modułu L86 są dołączone odpowiednio do pinów TX i RX1 płytki IndusBoard. Według karty katalogowej modułu L86 może być on zasilany napięciem 2,8...4 V i w trybie roboczym pobiera prąd ok. 100 mA.

Płytka IndusBoard ma cztery piny, które mogą służyć do zasilania. Do zasilenia modułu GPS zostały użyte piny 3,3 V i GND. Więcej informacji na temat zasilania modułu L86 zawiera wydanie „Electronics For You" z czerwca 2024 roku oraz karta katalogowa modułu.

Konstrukcja i testowanie

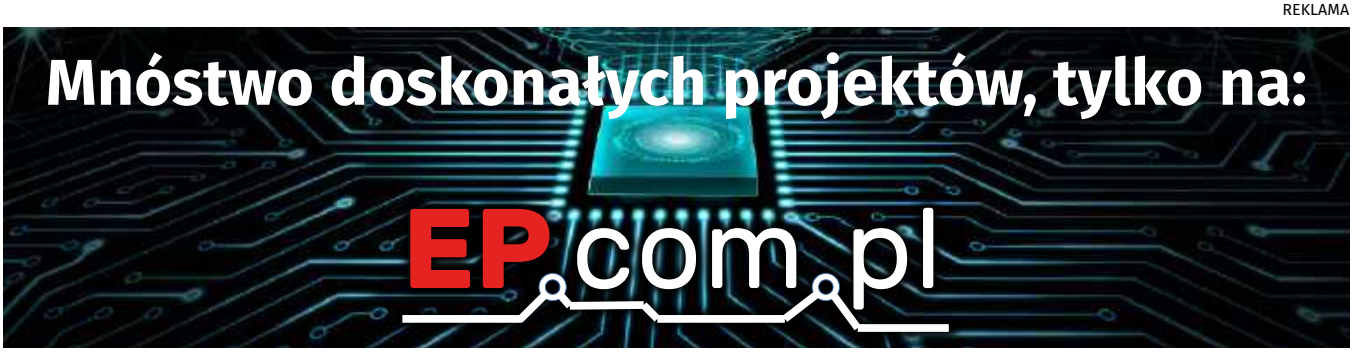
Wszystkie elementy należy przylutować zgodnie ze schematem (rysunek 2). Po przylutowaniu elementów przymocowujemy urządzenie do kierownicy roweru lub deski rozdzielczej samochodu. Załączamy urządzenie i rozpoczynamy jazdę.

W oparciu o zmiany lokalizacji GPS prędkościomierz oblicza i wyświetla prędkość, co pokazuje **rysunek 4**. ■

Ashwini Kumar Sinha

Ten artykuł był wcześniej opublikowany na łamach „EFY", lipiec 2024 (efymag.com)

REKLAMA



eprasa.pl 514c4ae447

Sięgnij po archiwalne wydania

Przesyłka **GRATIS**

ELEKTRONIKI dla WSZYSTKICH

















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









Zamów wygodnie na **www.UlubionyKiosk.pl**

eprasa.pl 514c4ae447

ELEKTRONIKA dla wszystkich
JUNIOR
nr 5/2025 (11)



Adam. Młodzi Entuzjaści Elektroniki, Szkoła Podstawowa nr 86, Wrocław

Uwielbiam spędzać z Wami czas, ponieważ już samym swoim jestestwem przypominacie mi moją własną młodość. A ja po prostu kocham wracać myślami do magicznego okresu dzieciństwa. Gdy przychodzi moment na przedstawienie młodym Czytelnikom układu elektronicznego kwiatka, wspomnienia wzbierają swą moc.



Fotografia 1. Od lewej: Krystian i Kornel podczas montażu Dwukolorowego kwiatka LED (zestaw AVTEDU643)

Moją rodzinną miejscowością jest Polanica-Zdrój. Tam mieszkałem, tam dorastałem. Tam spędziłem całe dzieciństwo. W tej samej miejscowości mieszkała wraz z dziadkiem moja babcia. Pasjonowała się roślinami. W każdym z pokoi miała po kilkanaście donic z przeróżnymi kwiatkami, a pokoi tych było co najmniej kilka. Miała też wielki ogród, na którym uprawiała warzywa, drzewa owocowe, krzewy, rośliny ozdobne i kwiaty. Płot wokół domu okalały róże jadalne, z których płatków babcia przyrządzała co roku różany sok. O cały ten roślinny gaj należało dbać, podlewać i nieustannie doglądać. Czerpiąc inspiracje i pasje od bliskich, w najmłodszych swych latach ciągnęło mnie więc nie tylko do lutownicy, ale i… „w kwiaty". Miałem nawet własny ogródek z mini-sadzawką. Kolekcjonowałem różnego typu rośliny, w związku z czym, jak tylko zobaczyłem u kogoś coś nowego, natychmiast pytałem o szczepkę. Często „podkradałem" nadmiarowo występujące kwiatki z ogródka babci, by posadzić je na własnej rabatce. Owszem, sporo czasu spędzałem z lutownicą w dłoni. Jednak babcia twierdziła, że „przesadzam też z… przesadzaniem".

Idziemy w kwiaty!

Jeśli czytasz ten tekst i „czujesz pismo nosem", to chyba dobrze Cię Twój zmysł węchu prowadzi, bo zbudujesz dziś kwiat! Ten, co prawda, może i pachniał nie będzie, ale wizualnych atutów odmówić mu nie sposób.

Zmontowany układ pokazano na **fotografii 2**.

Omówienie schematu

W przypadku układu dwukolorowego kwiatka LED (AVTEDU643) mamy do omówienia w zasadzie dwa tematy. Pierwszym z nich są dość nietypowe diody LED – dwukolorowe, ze wspólną katodą i zawierające aż trzy wyprowadzenia oraz układ generatora astabilnego, wykonanego z użyciem szalenie popularnej i niezwykle lubianej przez elektroników hobbystów „kostki" 555, spotykanej zazwyczaj pod nazwami NE555 lub LM555.

Schemat układu elektronicznego przedstawiono na **rysunku 1**.

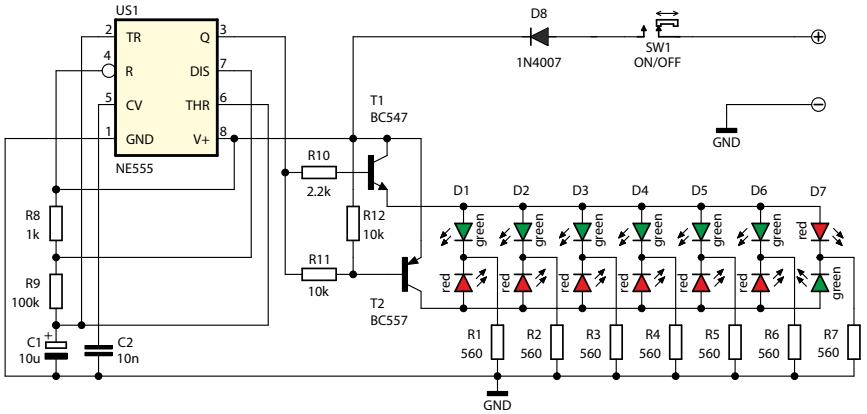


Fotografia 2. Dwukolorowy kwiatek LED, kod handlowy: AVTEDU643

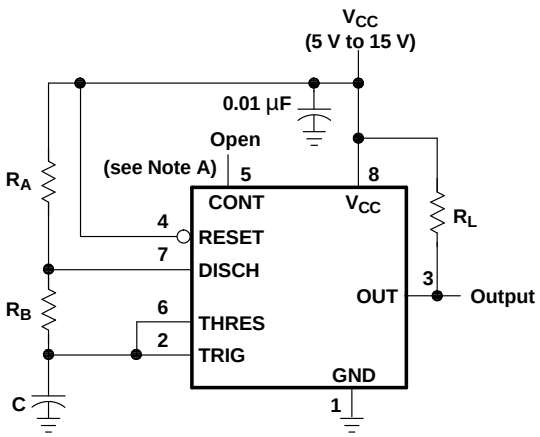
Koncepcja układu

Jeśli spojrzysz na schemat z rysunku 1, na „plusie" zasilania zauważysz włącznik zasilania SW1 oraz diodę prostownicza D8. Włącznik służy oczywiście do odłączenia baterii, gdy skończymy zabawę z układem, a dioda D8 zabezpiecza układ przed podłączeniem zasilania o niewłaściwej polaryzacji. Nieco poniżej tych elementów zobaczysz dwa rządki diod LED, załączane przez

eprasa.pl 514c4ae447



Rysunek 1. Schemat ideowy układu



Rysunek 2. Przedruk rysunku 6-5 z noty katalogowej TI – konfiguracja układu dla pracy astabilnej. Źródło: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ne555.pdf

tranzystory T1 i T2. Oba tranzystory sterowane są wspólnym sygnałem z wyprowadzenia numer 3 układu scalonego US1, za pośrednictwem rezystorów R10 oraz R11. Pytanie tylko: jaki sygnał pojawia się na wyjściu tego układu?

Generator astabilny

Choć schemat układu naszego kwiatka jest dosyć prosty i wszystko widać w nim jak na dłoni, to – nie mając wiedzy na temat budowy i działania obwodów zamkniętych w ośmionóżkowej obudowie użytego układu scalonego – o sygnale na jego wyjściu można by, co najwyżej, snuć przypuszczenia. Sama nazwa układu nie powie nam zazwyczaj zbyt wiele. Na szczęście w takich sytuacjach z pomocą przychodzi dokumentacja producenta, czyli nota katalogowa. Można śmiało założyć, że gdzieś wewnątrz niej znajdziesz podobny schemat i wzór na wyznaczenie charakterystyki sygnału na wyjściu. By się o tym przekonać, możesz teraz otworzyć notę katalogową, na przykład tę od Texas Instruments: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ne555.pdf, a następnie spojrzeć na opublikowany w niej rysunek 6–5 (strona 12). Przedruk dostępny jest na **rysunku 2**.

Już sama nazwa sekcji noty katalogowej, w której odnaleźliśmy aplikację układu NE555, dokładnie pokrywająca się z aplikacją zastosowaną na schemacie kwiatka LED, zdradza, jaką rolę odgrywa w układzie kwiatka element NE555. Otóż nie ulega już najmniejszej wątpliwości, że odgrywa on tutaj rolę generatora astabilnego.

W nocie katalogowej, zaraz pod rysunkiem 6–5, można odnaleźć kilka bardzo przydatnych wzorów, z pomocą których z łatwością „odszyfrujesz" parametry generowanego sygnału, które zastosował w układzie kwiatka LED jego konstruktor. Podpowiem, że zrobił to, odpowiednio dobierając elementy dyskretne, okalające scalak.

NE555 generuje w zastosowanej konfiguracji sygnał prostokątny, w którym pojawiają się naprzemiennie napięcie bliskie napięciu zasilania oraz napięcie bliskie potencjałowi masy.

Spójrzmy na wzory, które zamieszczono w nocie katalogowej, zaraz pod wspomnianym rysunkiem.

Pierwszy wzór pozwala wyliczyć czas trwania stanu wysokiego:

$$t_H \cong 0{,}693 \cdot (R_A + R_B) \cdot C$$

Spoglądając na schemat kwiatka, w naszych warunkach wzór przyjmie postać:

$$t_H \cong 0{,}693 \cdot (R8 + R9) \cdot C1$$

Po podstawieniu zastosowanych wartości elementów, przekonamy się, jak długo trwa stan wysoki, na wyjściu naszego generatora:

$$t_H \cong 0{,}693 \cdot (1k\Omega + 100k\Omega) \cdot 10\mu F \cong$$
$$\cong 0{,}693 \cdot (1000\Omega + 100000\Omega) \cdot 0{,}00001F \cong$$
$$\cong 0{,}693 \cdot 101000\Omega \cdot 0{,}00001F \cong$$
$$\cong 69993\Omega \cdot 0{,}00001F \cong 0{,}69993s$$

Jeśli zdziwiło Cię, że po pomnożeniu „Ω" (Om – jednostka oporu) przez „F" (Farad – jednostka pojemności) wyszła „s" (sekunda – jednostka czasu), spieszę z wytłumaczeniem.

Om (Ω) to jednostka oporu:

$$R = \frac{U}{I} \rightarrow 1\Omega = \frac{1V}{1A}$$ (prawo Ohma)

Farad (F) to jednostka pojemności elektrycznej:

$$C = \frac{Q}{U} \rightarrow 1F = \frac{1C}{1V}$$

Culomb (C) to jednostka ładunku elektrycznego:

$$Q = I \cdot t \rightarrow 1C = 1A \cdot 1s$$

Można więc napisać, że:

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{I \cdot t}{U} \rightarrow 1F = \frac{1C}{1V} = \frac{1A \cdot 1s}{1V}$$

Teraz, gdy pomnożymy jednostki i otrzymamy właśnie sekundę:

$$\Omega \cdot F = \frac{\cancel{V}}{\cancel{A}} \cdot \frac{\cancel{A} \cdot s}{\cancel{V}} = s$$

Tada!

No dobrze, wiemy już, że w generowanym przez NE555 sygnale napięcie bliskie napięciu zasilania będzie trwało prawie 0,7 s. Zerknijmy więc na kolejny wzór w nocie katalogowej, który służy do wyznaczenia czasu trwania stanu niskiego w generowanym sygnale:

$$t_L \cong 0{,}693 \cdot R_B \cdot C$$

W naszych warunkach wzór przyjmie postać:

$$t_L \cong 0{,}693 \cdot R9 \cdot C1$$

Po podstawieniu zastosowanych wartości elementów, tym razem przekonamy się, jak długo trwa stan niski, na wyjściu naszego generatora:

$$t_L \cong 0{,}693 \cdot 100k\Omega \cdot 10\mu F \cong$$
$$\cong 0{,}693 \cdot 100000\Omega \cdot 0{,}00001F \cong$$
$$\cong 69300\Omega \cdot 0{,}00001F \cong 0{,}693s$$

Znając czasy trwania stanu wysokiego $(t_H \cong 0{,}7s)$ oraz niskiego $(t_L \cong 0{,}693s)$ nie trzeba już nawet sięgać po kolejny wzór z noty katalogowej, by policzyć okres generowanego sygnału, gdyż łatwo zauważyć, że na okres składa się

eprasa.pl 514c4ae447

sumaryczny czas trwania obu następujących po sobie stanów:

$$T = t_H + t_L \cong 0,7s + 0,693s \cong 1,393s$$

Skoro znasz już okres generowanego sygnału, to wiedząc, że częstotliwość i okres sygnału są własnymi odwrotnościami, znasz również częstotliwość generowanego sygnału:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1,393s} \cong 0,717Hz$$

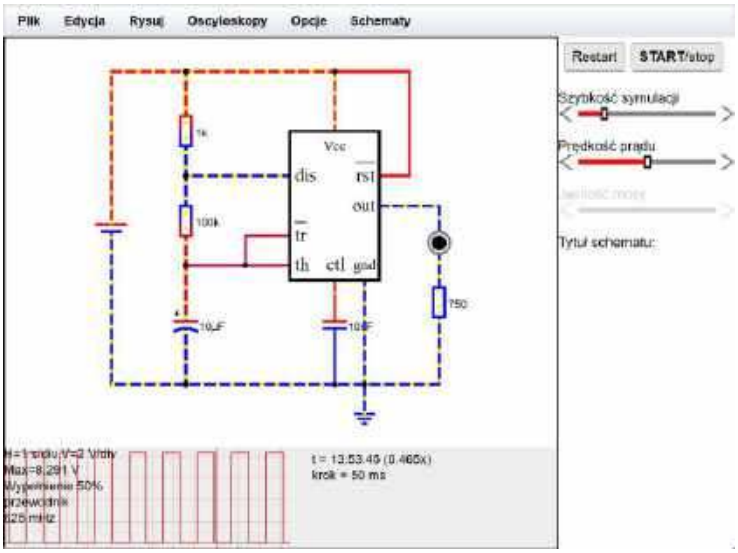
Inną ciekawą wielkością jest wypełnienie sygnału, czyli stosunek czasu trwania stanu wysokiego w sygnale do okresu sygnału:

$$D = \frac{t_H}{T} = \frac{0,7s}{1,393s} \cong 0,5025 \cong 50,25\%$$

Gdybyś miał ochotę zasymulować sobie działanie układu NE555 i przekonać się, czy powyższe wyliczenia przekładają się na rzeczywistość, możesz skorzystać na przykład z darmowego narzędzia internetowego o nazwie Falstad. Gotowy do symulacji układ, z wartościami elementów ustawionymi zgodnie ze schematem budowanego kwiatka, można znaleźć pod adresem: https://tinyurl.com/2ytqdrcj. Choć wartości wyświetlane w oknie oscyloskopu symulatora wydają się mniej precyzyjne w porównaniu do obliczeń powyżej (np. 625 mHz, czyli 0,625 Hz w oscyloskopie symulatora, rozbiega się nieco z wyliczoną wyżej wartością 0,717 Hz), to jednak interaktywna wizualizacja wydaje się atrakcyjna i użyteczna, i być może pozwoli jeszcze lepiej zrozumieć działanie układu.

Gdy raz jeszcze spojrzysz na rysunek 1, zauważysz, że sygnał z wyjścia (noga 3) układu NE555 podawany jest jednocześnie na bazy tranzystorów T1 (NPN) oraz T2 (PNP) – oczywiście za pośrednictwem rezystorów (odpowiednio R10 i R11), ograniczających prąd bazy. Bez rezystorów ograniczających prąd bazy struktura tranzystorów uległaby zniszczeniu. Nota katalogowa tranzystora (**tabela 1**) pokazuje, że przy obciążeniu, które stanowi 7 diod LED w kolorze czerwonym lub zielonym (poniżej 80 mA), prąd bazy powinien wynieść mniej niż 5 mA – i zapewnieniu tego parametru mają służyć wspomniane rezystory.

O samych tranzystorach bipolarnych i zasadzie ich działania wspomniałem niejednokrotnie podczas naszych wcześniejszych spotkań. Pierwszy raz – w trakcie drugiego spotkania, podczas omawiania zasady działania Zmierzchowej lampki LED – AVTEDU622 (EdW 8/2024 str. 81). Następnie temat pociągnąłem również na piątym spotkaniu, gdzie omawialiśmy Wściekłego byka LED – AVTEDU629 (patrz akapit Tranzystor w roli wzmacniacza sterującego jasnością diod LED



Rysunek 3. Interfejs webowej aplikacji Falstad z układem NE555. Oscylogram pokazuje sygnał zmierzony na wyjściu układu NE555 (out, noga 3)

EdW 11/2024, str. 85). Temat zastosowania tranzystorów był też obecny podczas spotkania z MigoLEDkami – AVTEDU634 (EdW 01/2025, str. 84, akapit: Tranzystory – dalszy ciąg opowieści). Dziś temat tranzystorów bipolarnych również powraca.

Być może zapamiętałeś, że aby załączyć tranzystor NPN trzeba dostarczyć na jego bazę pewien minimalny prąd (tranzystor krzemowy zaczyna cokolwiek przewodzić na złączu CE dopiero wtedy, gdy napięcie na złączu BE wyniesie minimum 0,7 V). W przypadku tranzystora PNP jest podobnie, ale – by mógł on zacząć cokolwiek przewodzić – należy z jego bazy minimalny prąd odebrać, zatem spolaryzowanie jego bazy do plusa zasilania (rezystor R12 na schemacie z rysunku 1) powoduje jego zatkanie.

Być może dawno już domyśliłeś się, do czego zmierzam. Otóż naprzemiennie wystawiany na nogę sygnał – raz bliski napięciu zasilania, raz bliski potencjałowi masy – naprzemiennie załącza i wyłącza tranzystory T1 oraz T2. Gdy na wyjściu 3 układu NE555 pojawia się napięcie bliskie napięciu zasilania, tranzystor T1 (NPN) zostaje załączony, dzięki czemu wszystkie diody z górnego rządka zaczynają świecić. Ten sam dodatni sygnał dociera w tym samym momencie na bazę tranzystora T2 (PNP), i wszystkie diody LED z dolnego rządka gasną. Gdy na wyjściu NE555 pojawi się napięcie bliskie potencjałowi masy, tranzystor T1 (NPN) zostanie zatkany (diody z górnego rządka zgasną) a tranzystor T2 (PNP) zostanie otwarty – i diody z dolnego rządka zaświecą się.

Innymi słowy, gdy na wyjściu NE555 zapanuje napięcie dodatnie, płatki kwiatka będą miały kolor zielony, a jego korona zaświeci się na czerwono. Gdy zaś napięcie na wyjściu

Symbol	Parameter		Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
I_{CBO}	Collector Cut-off Current		V_{CB} = 30 V, I_E = 0			15	nA
h_{FE}	DC Current Gain		V_{CE} = 5 V, I_C = 2 mA	110		800	
V_{CE}(sat)	Collector-Emitter Saturation Voltage		I_C = 10 mA, I_B = 0.5 mA		90	250	mV
			I_C = 100 mA, I_B = 5 mA		250	600	
V_{BE}(sat)	Base-Emitter Saturation Voltage		I_C = 10 mA, I_B = 0.5 mA		700		mV
			I_C = 100 mA, I_B = 5 mA		900		
V_{BE}(on)	Base-Emitter On Voltage		V_{CE} = 5 V, I_C = 2 mA	580	660	700	mV
			V_{CE} = 5 V, I_C = 10 mA			720	
f_T	Current Gain Bandwidth Product		V_{CE} = 5 V, I_C = 10 mA, f = 100 MHz		300		MHz
C_{obo}	Output Capacitance		V_{CB} = 10 V, I_E = 0, f = 1 MHz		3.5	6.0	pF
C_{ibo}	Input Capacitance		V_{EB} = 0.5 V, I_C = 0, f = 1 MHz		9		pF
NF	Noise Figure	BC546 / BC547 / BC548	V_{CE} = 5 V, I_C = 200 µA, f = 1 kHz, R_G = 2 kΩ		2.0	10.0	dB
		BC549 / BC550			1.2	4.0	
		BC549	V_{CE} = 5 V, I_C = 200 µA, R_G = 2 kΩ, f = 30 to 15000 MHz		1.4	4.0	
		BC550			1.4	3.0	

Tabela 1. Charakterystyki elektryczne tranzystora BC547 (w temperaturze 25°C, jeśli nie podano inaczej). Kolorem czerwonym zaznaczono sekcję opisującą napięcie na złączu kolektor-emiter w warunkach saturacji. Źródło: https://www.onsemi.com/download/data-sheet/pdf/bc550-d.pdf

eprasa.pl 514c4ae447

NE555 będzie bliskie zera, wszystkie płatki kwiatka zaświecą się na czerwono, a korona przyjmie kolor zielony.

Ponieważ układ NE555 pracuje tu jako generator astabilny, na jego wyjściu pojawia się przebieg okresowy, który będzie powtarzał się w nieskończoność – a kwiatek będzie cyklicznie zamieniał kolory płatków z kolorem korony.

Rezystory ograniczające prąd diod LED

Pierwsze siedem rezystorów (R1…R7) to elementy ograniczające prąd płynący przez diody LED. Użyto tu elementów zawierających w swojej strukturze dwie diody LED – jedną w kolorze czerwonym oraz drugą w kolorze zielonym. Obie diody, zamknięte wewnątrz wspólnej obudowy, posiadają połączone ze sobą katody (wspólna katoda). Dlatego z obudowy tej wyprowadzono trzy podłączenia: anodę (+) diody czerwonej, anodę (+) diody zielonej oraz wspólną katodę (–). Sytuację tę zilustrowano na rysunku 2.

W danej chwili do każdego z komponentów D1…D7 zasilanie zostaje podane albo na anodę diody czerwonej, albo na anodę diody zielonej. Prąd płynie albo przez jedną, albo przez drugą diodę w strukturze, dlatego wspólny rezystor na wyprowadzeniu powrotnym to podejście wystarczająco poprawne. Jak można zobaczyć na rysunku 1, każdy z tych rezystorów został zamontowany pomiędzy wspólną katodę wybranej diody LED a masę układu (GND).

Zgodnie ze schematem i wykazem elementów każdy z siedmiu rezystorów ograniczających prąd diod LED, a więc każdy z rezystorów R1…R7, powinien mieć wartość 560 Ω. Jeśli masz na to wenę, możesz w tym momencie przeliczyć, czy wartość ta będzie bezpieczna dla diod LED na okoliczność pełnego załączenia się któregoś z tranzystorów T1 albo T2, zakładając napięcie nominalne baterii 9 V, pomniejszone o spadki napięć, które wystąpią na diodzie D8 oraz na złączach CE tranzystorów (w danej chwili T1 albo T2).

Wiosenna pora najwyraźniej podziałała na mnie rozleniwiająco, bo zamiast bawić się nawet w tak proste wyliczanki, sięgnąłem do kieszeni po smartfon z Androidem i uruchomiłem w nim aplikację Electrodoc. Następnie, klikając w pozycję „Rezystor dla diody LED”, wybrałem standardową czerwoną diodę LED. Według narzędzia Electrodoc przepływ prądu o wartości 10 mA powinien być dla takiej diody LED optymalny i całkowicie bezpieczny – i w takich warunkach powinno odłożyć się na niej napięcie o wartości 1,7 V. Po ustawieniu w aplikacji napięcia zasilania na wartość 8,3 V, kalkulator wskazał jako zasadne użycie rezystora o wartości 680 Ω. To nieco więcej niż 560 Ω, widoczne na schemacie oraz na wykazie elementów dołączonym do zestawu. Należy jednak pamiętać, że prąd przewodzenia diody o wartości 10 mA oraz napięcie przewodzenia diody: 1,7 V zasugerowane przez autorów aplikacji Electrodoc dla typowej czerwonej diody LED mogą nieco różnić się od tych podanych w nocie katalogowej producenta dostępnej w zestawie, dwukolorowej diody LED. Nie jesteś w stanie tego zweryfikować, ponieważ na liście elementów brakuje kodu producenta dla dostarczonej w zestawie diody LED – nie można tym samym sięgnąć po właściwą notę katalogową. Można natomiast zauważyć, że wyliczenia z aplikacji Electrodoc wydają się bezpieczne (dioda być może nie zaświeci się pełną mocą, ale też nie przepali się na skutek przekroczenia maksymalnego dopuszczalnego prądu przewodzenia ani nie ulegnie przedwczesnemu zużyciu).

Dla porządku sprawdźmy jeszcze, jak wygląda ta sama sytuacja w przypadku diody zielonej. Po wybraniu w aplikacji Electrodoc standardowej, zielonej diody LED, zobaczysz sugerowane wartości prądu przewodzenia oraz napięcia przewodzenia. Sugerowany prąd przewodzenia w przypadku standardowej, zielonej diody LED pozostaje bez zmian (10 mA). Jednak napięcie, które odłoży się na zielonej diodzie LED przy takim prądzie wyniesie 2,2 V, więc widać od razu, że szeregowy rezystor mógłby tu być rezystorem o nieco mniejszej wartości. Teoria ta pokrywa się z wartością, którą zwrócił kalkulator zawarty w Electrodoc. O ile dla diody LED w kolorze czerwonym wyliczył on wartość 680 Ω, o tyle dla diody zielonej jako wystarczającą wskazał wartość 620 Ω.

W praktyce, różnica pomiędzy wartością 680 Ω oraz 620 Ω jest tak niewielka, że śmiało w obwodzie katody można zastosować jeden rezystor, na przykład, ten o nieco większej wartości 680 Ω. Nic złego nie stanie się również po zastosowaniu rezystora 560 Ω (który widnieje na liście elementów), tym bardziej, że nie uwzględniliśmy jeszcze spadków napięć, które wystąpią na złączach CE tranzystorów T1 i T2. Choć oba tranzystory pełnią tu funkcję klucza (przełącznika), nie są to przełączniki idealne i w świecie rzeczywistym również na nich wystąpią pewne spadki napięcia.

Wygląda na to, że w tym miejscu nastąpi kres mego wiosennego rozleniwienia, bo sytuacja zrobiła się na tyle ciekawa, że aż chce się coś policzyć, nieprawdaż? Zróbmy to więc.

Na krzemowej diodzie D8 typu 1N4007 spadek napięcia wynosi około 0,7 V. Co do tego nie ma wątpliwości, a każdy niedowiarek może sobie to sprawdzić biorąc w łapki diodę oraz dowolny współczesny multimetr z funkcją testu diod. Wówczas przykładając czerwoną sondę do anody diody, a czarną do jej katody, na wyświetlaczu miernika pokazany zostanie spadek napięcia na badanej diodzie, wyrażony w miliwoltach. Badając diodę 1N4007, na wyświetlaczu powinien pojawić się wynik, który po pomnożeniu przez tysiąc wyniesie właśnie około 0,7 V. Wartość tę uwzględniliśmy już przy zabawie z kalkulatorem w aplikacji Electrodoc, pominęliśmy jednak spadki napięć na tranzystorach (a ściślej – na złączach CE tych tranzystorów).

No właśnie… Skąd wiadomo, jaki będzie spadek napięcia na złączu w pełni załączonego (nasyconego) tranzystora T1 albo T2 działającego w konfiguracji klucza (przełącznika)? Otóż spadki napięć na złączach CE w pełni załączonych tranzystorów można odczytać z noty katalogowej tych elementów jako napięcie na złączu kolektor-emiter w warunkach saturacji, czyli jako parametr V_{CE}(sat). W tabeli 1 pokazano, jak wygląda to w przypadku noty katalogowej dla tranzystora NPN typu BC547 dostarczonej przez producenta Onsemi. Zdradzę Ci jednak, że sytuacja, co do wartości, identyczna jest również w przypadku tranzystora PNP typu BC557, zatem darowałem sobie zamieszczanie tu tabelek dla tego drugiego tranzystora.

Tabela 1 informuje o tym, że spadek napięcia na złączu CE w pełni załączonego tranzystora BC547 (tranzystor w stanie nasycenia) zależny jest od obciążenia, jakim ten tranzystor steruje. Gdyby przez złącze CE tranzystora popłynął prąd o wartości 10 mA (I_C=10 mA), spadek napięcia na złączu CE (V_{CE}(sat)) tego tranzystora wyniósłby typowo 90 mV (czyli 0,09 V). Jednak, gdy tranzystor będzie sterował większym obciążeniem, w naszym przypadku, siedmioma diodami LED, ta wartość będzie już inna. Gdyby obciążyć tranzystor maksymalnym dopuszczalnym dla niego prądem ciągłego obciążenia o wartości 100 mA (parametr I_C, **tabela 2**), wówczas spadek napięcia na złączu CE w pełni załączonego (nasyconego) tranzystora BC547 wyniesie typowo 250 mV (czyli 0,25 V).

Sprawdźmy więc, jakim prądem siedem równolegle podłączonych czerwonych

eprasa.pl 514c4ae447

diod LED obciąży złącze CE naszego tranzystora. Zakładając, na potrzeby obliczeń, nominalne napięcie baterii (9 V) oraz pamiętając o spadku napięcia na diodzie D8 (0,7 V), spadku napięcia na czerwonej diodzie LED (1,8 V), a także biorąc pod uwagę wartość szeregowego rezystora (do zestawu dołączono rezystory o wartości 560 Ω), przez każdą z siedmiu diod LED popłynie prąd o wartości 11,7 mA:

$$I_{F\ LED\ RED} = \frac{9V-0,7V-1,7V}{560\Omega} = \frac{6,6V}{560\Omega} \approx 11,8mA$$

Ponieważ tranzystor załącza siedem takich diod, sumaryczny prąd kolektora wyniesie 82,6 mA.

W przypadku załączania diod LED w kolorze zielonym (inny spadek napięcia na diodzie LED) sytuacja ma się podobnie:

$$I_{F\ LED\ GREEN} = \frac{9V-0,7V-2,2V}{560\Omega} = \frac{6,1V}{560\Omega} \approx 10,9mA$$

Tu sumaryczny prąd kolektora przy siedmiu zasilonych diodach LED wyniesie 76,3 mA.

W obu przypadkach (82,6 mA dla diod czerwonych oraz 76,3 mA dla diod zielonych) jesteśmy nieco poniżej wartości 100 mA, uznawanej za maksymalną, zarówno dla tranzystora BC547 jak i BC557. W obu przypadkach spadek napięcia na złączu CE tych tranzystorów przy zasilaniu siedmiu diod LED (zielonych lub czerwonych) wyniesie nieco poniżej 250 mV, czyli niecałe 0,25 V.

Uwzględniając więc wszystkie spadki napięć, a więc 0,7 V na diodzie D8 oraz (niecałe) 0,25 V przy użyciu w obwodach diod LED rezystorów szeregowych o wartości 560 Ω przez diody LED popłynie prąd:

$$I_{F\ LED\ RED} = \frac{9V-0,7V-1,7V-0,25V}{560\Omega} = \frac{6,35V}{560\Omega} \approx 11,3mA$$

$$I_{F\ LED\ GREEN} = \frac{9V-0,7V-2,2V-0,25V}{560\Omega} = \frac{5,85V}{560\Omega} \approx 10mA$$

Można zatem powiedzieć, że rezystory szeregowe dla diod LED zostały dobrane z dużym rozsądkiem, dla koloru zielonego wręcz idealnie. Zakładając, że… tranzystory zachowają się „typowo”. Co mam na myśli? Spójrz raz jeszcze na tabelę 1 a zauważysz, że dla każdego z parametrów, w tym V_{CE}(sat), producent specyfikuje (lub nie) trzy wartości (kolumny: „Min.”, „Typ.”, oraz „Max.”).

Parameter	Symbol	Value	Unit
Collector–Base Voltage BC546 BC547 / BC550 BC548 / BC549	V_{CBO}	 80 50 30	V
Collector–Emitter Voltage BC546 BC547 / BC550 BC548 / BC549	V_{CEO}	 65 45 30	V
Emitter–Base Voltage BC546 / BC547 BC548 / BC549 / BC550	V_{EBO}	 6 5	V
Collector Current (DC)	I_C	100	mA
Collector Power Dissipation	P_C	500	mW
Junction Temperature	T_J	150	°C
Storage Temperature Range	T_{STG}	–65 to +150	°C

Tabela 2. Parametry maksymalne (graniczne) dla tranzystora BC547. Źródło: https://www.onsemi.com/download/data-sheet/pdf/bc550-d.pdf

Warto zauważyć, że przy pełnym obciążeniu tranzystora (I_C=100 mA) spadek napięcia wyniesie **typowo** 250 mV, ale można trafić na egzemplarze, w przypadku których wyniesie on nawet 600 mV, czyli aż 0,6 V. Innymi słowy, przy pełnym obciążeniu tranzystora, biorąc pod uwagę wartości podane w kolumnach „typ.” i „max.” spadek napięcia będzie się mieścił w zakresie 0,25 V…0,6 V. Teoretycznie gwarantuje to, że zastosowany w obwodach diod LED szeregowy rezystor o wartości 560 Ω w sporej liczbie przypadków zapewni diodom LED całkiem duży bufor bezpieczeństwa. Teoretycznie, bo producent zostawił w kolumnie „min.” puste miejsce, a to oznacza, że nie gwarantuje on, że w danym egzemplarzu tranzystora spadek napięcia nie będzie mniejszy niż „typowo”, czyli „dla większości egzemplarzy”.

Montaż układu
Montaż rezystorów

Aby ułatwić sobie montaż, jak zawsze w tym momencie zasugeruję zamontować w pierwszej kolejności komponenty najniższe. Takimi komponentami są zazwyczaj rezystory. Do płytki kwiatka LED należy zamontować ich dwanaście.

Rezystory R1…R7

Zanim przystąpisz do montażu rezystorów R1…R7 zastanów się proszę, czy będziesz zasilał zbudowanego kwiatka z baterii 9 V, czy, na przykład, z zasilacza o stałym napięciu wyjściowym 12 V. Pierwsze siedem rezystorów (**R1…R7**) to rezystory ograniczające prąd płynący przez diody LED. Wartość tych rezystorów należy dobrać do napięcia zasilania układu.

W części teoretycznej (śródtytuł *Rezystory ograniczające prąd diod LED*) miałeś okazję zweryfikować, czy wartość 560 Ω jest wartością bezpieczną dla diod LED przy zasilaniu układu napięciem z baterii 9 V. Ustaliliśmy, że wartość **560** Ω rzeczywiście jest tutaj optymalna.

Gdybyś jednak postanowił zamiast baterii 9 V użyć zasilacza sieciowego o napięciu stałym o wartości 12 V, podstaw do wcześniejszych obliczeń wartość 12 V w miejsce 9 V. Okaże się wtedy, że w roli rezystorów szeregowych dla diod LED (R1…R7) zasadne będzie użycie rezystorów o wartościach **750** Ω (należy wówczas zaopatrzyć się w nie we własnym zakresie, ponieważ do zestawu dołączone są rezystory o wartości 560 Ω).

Pozostałe rezystory

Pozostałe rezystory, niezależnie od tego, czy kwiatek LED zasilisz napięciem 9 V z baterii, czy 12 V z zasilacza, można pozostawić bez zmian. Na pozycji R8 zamontuj rezystor o wartości 1 kΩ, na pozycji R9 zamontuj rezystor 100 kΩ, na pozycji R10 użyj rezystor 2,2 kΩ a na dwóch pozostałych (R11 i R12) użyj rezystorów o wartości 10 kΩ.

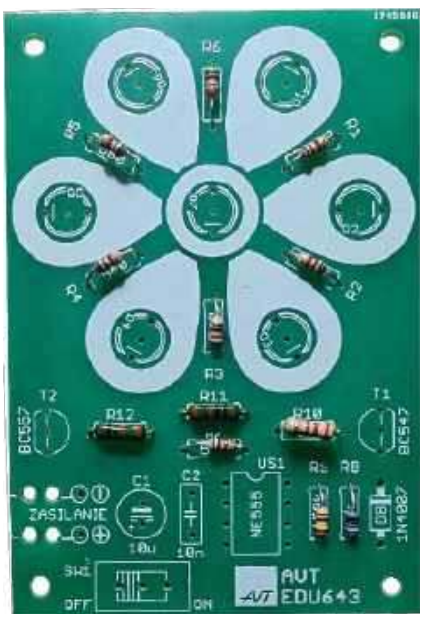
W zestawie znajduje się pięć różnych wartości rezystorów. Aby umieścić je we właściwych miejscach na płytce, trzeba najpierw rozpoznać ich wartości. Można to zrobić, analizując oznaczenia paskowe na obudowie każdego elementu – o ile oczywiście nasz wzrok na to pozwala i wiemy, jak taki

eprasa.pl 514c4ae447

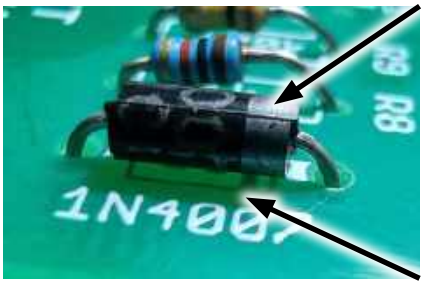


Fotografia 3. Krystian mierzy wartość rezystancji losowo wybranego rezystora, celem zamontowania go pod właściwym desygnatorem, zgodnie z listą elementów dołączoną do zestawu. Młodzi Entuzjaści Elektroniki, Szkoła Podstawowa nr 86, Wrocław

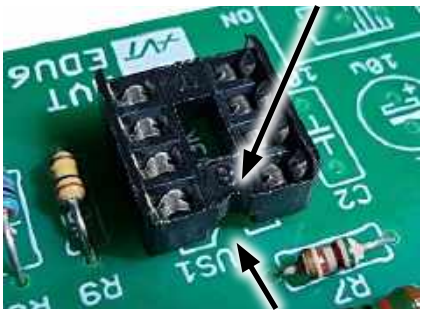
kod odczytać. Pomocna może być tutaj tabelka z przyporządkowaniem kolorów do cyfr, która ułatwia rozszyfrowanie wartości rezystancji, a niekiedy także tolerancji. Trzeba jednak pamiętać, że barwy bywają mylące – na przykład pomarańczowy i czerwony łatwo ze sobą pomylić, szczególnie gdy nadruk jest niewyraźny lub sama farba jest mało kontrastowa. Dlatego najpewniejszym



Fotografia 4. Rezystory są elementami bez polaryzacji, więc montujemy je w dowolnym kierunku, ale na odpowiednich pozycjach muszą zostać zamontowane rezystory o odpowiednich wartościach. Wartości rezystorów najwygodniej jest zmierzyć za pomocą multimetru ustawionego na funkcję pomiaru rezystancji



Fotografia 5. Poprawny montaż diody prostowniczej D8 na płytce PCB. Kierunek paska nadrukowanego na diodzie oraz tego nadrukowanego na płytce, wewnątrz obrysu diody, muszą być zgodne



Fotografia 6. Znacznik kierunku w obudowie podstawki musi być zamontowany zgodnie ze wskaźnikiem kierunku nadrukowanym na płytce PCB

i najwygodniejszym rozwiązaniem pozostaje zmierzenie rezystancji za pomocą miernika uniwersalnego.

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 instrukcja robocza: Pomiar wartości rezystorów za pomocą multimetru. Warto ją pobrać, wydrukować i postępować każdorazowo wedle zamieszczonych tam instrukcji.

Rezystor jest oczywiście komponentem bez polaryzacji, co oznacza, że stawia on opór przepływającemu przezeń prądowi, niezależnie od tego, w którą stronę będzie on płynął. Można go więc zawsze montować w dowolnym kierunku. **Fotografia 4** przedstawia płytkę z poprawnie zamontowanymi w niej rezystorami.

Montaż diody prostowniczej

W skład zestawu wchodzi tylko jedna dioda prostownicza typu 1N4007, którą należy zamontować w lokalizacji D8. Wystarczy, że zamontujesz ją zgodnie z polaryzacją wskazaną przez srebrny pasek na obudowie diody i biały pasek na obrysie diody na płytce drukowanej. Pasek na diodzie musi być skierowany w tę samą stronę co pasek na płytce PCB (**fotografia 5**).

Montaż podstawki pod układ scalony US1

Kolejnym elementem do zamontowania jest podstawka pod układ scalony. Zasada, jak zwykle, jest ta sama: znacznik kierunku w podstawce (wybranie w podstawce) musi pokrywać się ze wskaźnikiem kierunku nadrukowanym białą farbą na warstwie opisowej płytki PCB (**fotografia 6**).

Po umieszczeniu podstawki zgodnie z wytycznymi widocznymi na fotografia 6, należy docisnąć ją palcem do płytki, pilnując, by każde z wyprowadzeń bez żadnego zagięcia przeszło przez swój otwór na płytce, a następnie zagiąć jej dwa przeciwległe wyprowadzenia (np. piny 4 i 8) po stronie lutowania. Dzięki temu podstawka pozostanie na swoim miejscu i nie wypadnie z płytki podczas lutowania. Następnie układamy płytkę stroną z elementami do dołu, opierając ją o blat roboczy, i przystępujemy do lutowania wszystkich wyprowadzeń podstawki. Lut powinien dokładnie otoczyć każdy pin, tworząc solidne połączenie z polem lutowniczym, przy czym należy uważać, by nie doprowadzić do przypadkowych zwarć między sąsiednimi nóżkami.

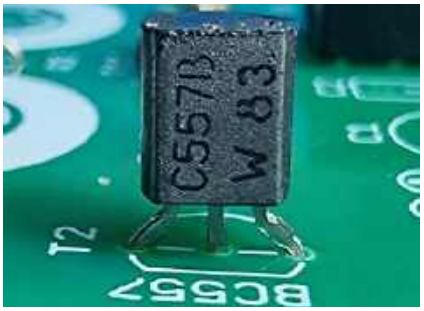
Jeśli pojawią się niepożądane zwarcia, można sobie z nimi poradzić w dość prosty sposób. Trzymając płytkę jedną ręką, ustawiamy ją pionowo, opierając o blat. Następnie ponownie nagrzewamy miejsce zwarcia, a odpowiednim ruchem grota lutownicy i wykorzystując działanie grawitacji, pozwalamy, by nadmiar cyny spłynął w dół – najlepiej na zabezpieczoną powierzchnię roboczą. W ten sposób oddzielimy „zlane" ze sobą pola lutownicze i usuniemy zwarcie.

Montaż tranzystorów

Pora zamontować tranzystory na pozycjach T1 oraz T2. Pierwszy z nich to tranzystor typu BC547 (NPN) a drugi to BC557 (PNP). Ponieważ są to dwa różne tranzystory, należy pilnować, by nie zamienić ich miejscami podczas montażu. Przed ich zamontowaniem należy koniecznie sprawdzić znajdujące się na nich opisy i dwa razy sprawdzić, czy na pozycji T1 planujemy zamontować BC547 a na pozycji T2 rzeczywiście znajduje się BC557. Ponadto tranzystory są elementami niesymetrycznymi, zatem należy je zamontować zgodnie z obrysem na płytce drukowanej. Mówiąc ściślej, należy je zamontować w takim kierunku, by kształt ich obudowy (litera „D") pasował do obrysu na warstwie opisowej płytki PCB. Poprawnie zamontowane tranzystory pokazano na **fotografii 7**.

eprasa.pl 514c4ae447





Fotografia 7. Montaż dwóch różnych tranzystorów T1 i T2. Należy upewnić się, że na pozycji T1 montowany jest typ a). BC547 a na pozycji T2 b). BC557. Korpusy tranzystorów (w kształcie litery „D") odpowiadają obrysom (również w kształcie litery „D") na warstwie opisowej płytki PCB

Montaż kondensatora stałego

Elementem sugerowanym do zamontowania w następnej kolejności jest kondensator stały C2 o wartości 10 nF. Jest on elementem niespolaryzowanym (symetrycznym), w związku z czym jego kierunek montażu jest dowolny. Nawet, jeśli w zestawie znajduje się tylko jeden taki kondensator, warto sprawdzić, czy jego wartość się zgadza.

Na obudowie kondensatora o wartości 10 nF (**fotografia 8**) znajduje się napis „103". Jednak w zależności od producenta kondensatora równie dobrze mógłby się tam znaleźć napis, np. „10n" lub „10nF" albo też „0.01µF" lub „.01µF".

- W przypadku opisu „103" brak literki „n" oznacza, że wartość podana jest w pikofaradach. Jednak ostatnia pozycja wskazuje na liczbę zer, którą należy dodać do liczby poprzedzającej. Mamy tu więc 10 i 3 zera pikofaradów, czyli: 10000 pF. Żeby otrzymać wynik w nanofaradach, trzeba pikofarady podzielić przez tysiąc. Otrzymamy zatem wynik 10 nF.
- W przypadku opisu pojemności (której jednostką podstawową jest Farad) „10 n" literka „n" oznacza, że wartość została podana w nanofaradach. Mamy zatem 10 nF. Może się też zdarzyć, że napotkamy egzemplarz z jawnie i w pełni wydrukowaną jednostką „10 nF".
- Może się również trafić egzemplarz z nadrukiem „0.01µF" albo „.01µF". W drugim przypadku ukryto zero poprzedzające przecinek, niemniej obie wartości podano w mikrofaradach. By uzyskać wartość należy przemnożyć wartość liczbową przez tysiąc aby uzyskać wartość w nanofaradach. W obu przypadkach odczytamy w ten sposób rzeczywistą wartość 10 nF.

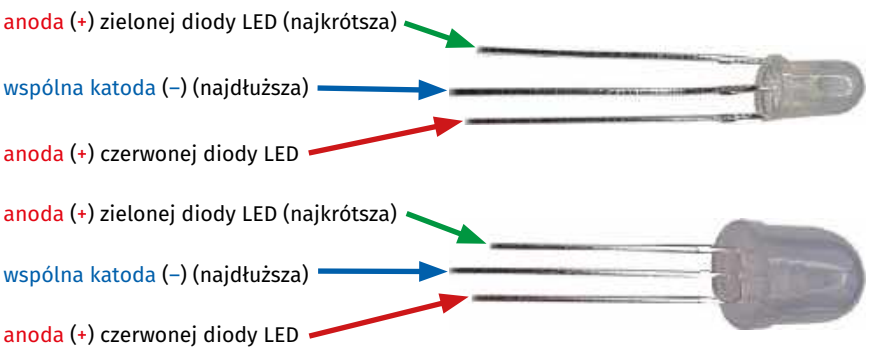
Wszystkie wymienione wyżej warianty oznakowania wskazują jednoznacznie na tę samą wartość: 10 nF.



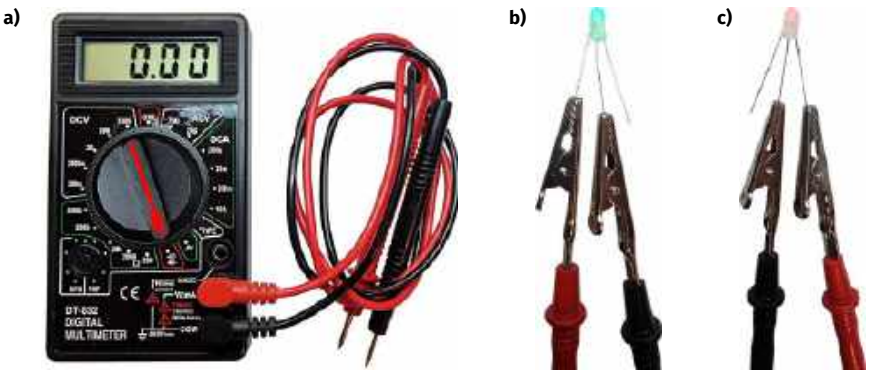
Fotografia 8. Montaż kondensatora stałego C2. Kierunek montażu jest obojętny. Na obudowie kondensatora widać napis „103" informujący o pojemności 10 i 3 zera pikofaradów (10000 pF) czyli 10 nF

Montaż diod LED

Znowu diody LED, ale tym razem inne! Z trzema nogami! A dlaczego z trzema? Bo jak wspomniałem wcześniej, każda dioda z trzema wyprowadzeniami w tym zestawie to tak naprawdę dwie diody LED (czerwona i zielona) z połączonymi katodami, zamknięte w jednej obudowie. Na zewnątrz obudowy dostępne są trzy wyprowadzenia: dwie anody, osobne dla każdego koloru oraz wspólna katoda (**rysunek 4**). Z rysunku wynika, że wspólna katoda znajduje się pomiędzy anodami, więc niezależnie od tego, w którym kierunku ten komponent zostanie zamontowany, i tak będzie świecił. Problem polega na tym, że będzie on świecił albo na zielono, albo na czerwono, a my chcemy, żeby wszystkie diody zaświeciły się jednocześnie kolorem czerwonym, a później, również jednocześnie, kolorem zielonym. Musimy zatem przyjąć jakąś regułę, i proponuję przyjąć taką, jak w oryginalnej instrukcji dołączonej do zestawu. Najdłuższe wyprowadzenie to katoda, która trafia do środkowego otworu. Nieco krótsze wyprowadzenie (ale nie najkrótsze) to anoda koloru czerwonego. Wyprowadzenie to zamontuj do otworu oznaczonego na płytce PCB dodatkowym

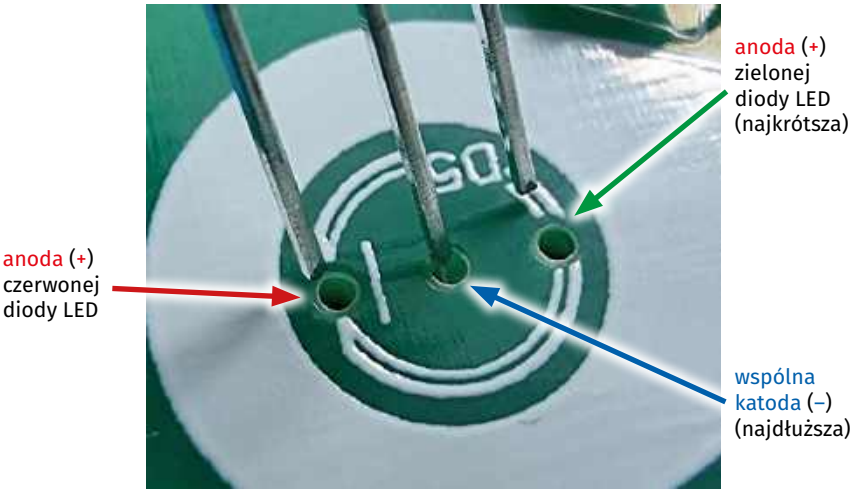


Rysunek 4. Opis wyprowadzeń dwubarwnej diody LED ze wspólną katodą („plusowe" wyprowadzenie dla koloru zielonego jest najkrótsze, „plusowe" wyprowadzenie dla koloru czerwonego jest nieco dłuższe, „minusowe" wyprowadzenie jest tu najdłuższe)



Fotografia 9a. Multimetr ustawiony na funkcję testu diody. Sondę czarną należy podłączyć do najdłuższego wyprowadzenia (katody), znajdującego się pośrodku elementu, b) po przyłożeniu czerwonej sondy do krótszej anody element zaświeci kolorem zielonym, c) po przyłożeniu czerwonej sondy do dłuższej anody element zaświeci kolorem czerwonym

eprasa.pl 514c4ae447



Fotografia 10. W otwór centralny footprintu każdej diody LED należy włożyć środkowe wyprowadzenie tego elementu (katodę). Następnie należy tak obrócić element, by wyprowadzenie o średniej długości (anoda koloru czerwonego) trafiło do otworu oznakowanego dodatkową linią. Najkrótsze wyprowadzenie elementu (anodę koloru zielonego) należy umieścić w otworze bez dodatkowego znacznika



Fotografia 11. W celach estetycznego zamontowania diod do płytki, w pierwszej kolejności przylutuj wyłącznie centralne wyprowadzenia diod LED. Następnie, w razie potrzeby, dokonaj korekty montażu każdej z diod LED zgodnie z opisem w tekście powyżej. Dopiero gdy masz pewność, że każda z diod LED została należycie wyrównana i unieruchomiona w płytce, przylutuj pozostałe wyprowadzenia

paskiem (uwaga: tym razem to nie jest oznaczenie katody!). Najkrótsze wyprowadzenie to anoda dla zielonego koloru. To najkrótsze wyprowadzenie zamontuj do bocznego otworu bez paska (**fotografia 10**).

Powyższe zasady dotyczą wszystkich diod LED w tym zestawie. Diody LED o standardowej średnicy 5 mm montujemy na pozycjach D1…D6. Pozycje te odpowiadają płatkom naszego kwiatka. W centrum kwiatka, na pozycji D7, zamontujemy natomiast największą diodę o średnicy 10 mm.

Jak wspomniano, katoda znajduje się pośrodku diody LED i jest najdłuższa. Kolejne pod kątem długości wyprowadzenie, to anoda koloru czerwonego, a najkrótsze to anoda koloru zielonego. Gdyby jednak pojawiły się jakiekolwiek wątpliwości z identyfikacją wyprowadzeń warto posłużyć się multimetrem ustawionym na funkcję testowania diod.

W tym celu, po ustawieniu wspomnianego trybu pracy multimetru, do jednej z anod diody LED przykładamy czerwoną sondę a do katody przykładamy sondę czarną (**fotografia 9a**). W tym momencie powinna zaświecić się dioda LED. Jeśli czerwona sonda zostanie przyłożona do najkrótszego wyprowadzenia, powinna zaświecić się ona kolorem zielonym (**fotografia 9b**), a w przypadku przyłożenia czerwonej sondy do wyprowadzenia o średniej długości powinna zaświecić ona kolorem czerwonym (**fotografia 9c**).

Dla zachowania najlepszej estetyki montażu warto zadbać o to, by wszystkie diody LED po wlutowaniu do płytki dobrze przylegały do jej górnej płaszczyzny. Dzięki temu będziesz miał pewność, że zostaną zamontowane na jednakowej wysokości. Trudno jednak uzyskać taki efekt nawet wtedy, gdy po włożeniu diod do płytki PCB lekko zagniemy ich wyprowadzenia, by diody LED nie wypadały z płytki podczas ich lutowania. By maksymalnie ułatwić sobie proces estetycznego lutowania diod do płytki, polecam w pierwszej kolejności przylutować wyłącznie centralne wyprowadzenie każdej z diod (**fotografia 11**) a następnie, trzymając płytkę w dłoni i ponownie rozgrzewając ten pad, dociskać kolejno każdą z diod wolnym palcem. Po zweryfikowaniu, czy wszystkie diody LED dobrze przylegają do płytki i są do niej prostopadłe można już z czystym sumieniem, i bez szkody dla estetyki przylutować pozostałe wyprowadzenia diod LED.

Pamiętaj, by największa diodę LED zamontować w środku budowanego kwiatka (**fotografia 12**).



Fotografia 12. Poprawnie zamontowane diody LED. Kierunek montażu wszystkich diod LED należy dopilnować zgodnie z opisem powyżej. W centralnej części kwiatka należy zamontować największą diodę LED, tę o średnicy 10 mm

Montaż kondensatora elektrolitycznego

W tym zestawie użyto jeden kondensator elektrolityczny – na schemacie oznaczony jako C1. Jego wartość to 10 µF, co można (i warto) potwierdzić, sprawdzając nadruk na jego obudowie. Na obudowie znajdziemy też informację o maksymalnym dopuszczalnym napięciu pracy. W moim zestawie znalazłem kondensator o pojemności 10 µF i napięciu 50 V.

Warto przypomnieć, że o ile pojemność kondensatora jest zwykle wartością krytyczną – szczególnie gdy występuje on w obwodzie odpowiedzialnym za wyznaczenie jakiejś stałej czasowej – o tyle maksymalne napięcie pracy to jedynie granica, której nie należy przekraczać. W naszym przypadku, przy zasilaniu 9 V (a po spadku napięcia na diodzie D8 – około 8,3 V), jesteśmy daleko poniżej granicy 50 V. Kondensator będzie tu pracował z dużym zapasem bezpieczeństwa.

Często zdarza się, że nie mamy pod ręką kondensatora dokładnie o takim napięciu, jak zalecane w dokumentacji – i nic nie stoi na przeszkodzie, by użyć wersji na wyższe napięcie. Ważne tylko, by pojemność była zgodna. Kondensator 10 µF/63 V czy nawet 10 µF/100 V zachowa się w układzie identycznie jak 10 µF/16 V, o ile napięcie w obwodzie nie przekroczy jego granicznego poziomu.

Jedynym, co może się różnić, jest rozmiar – kondensatory na wyższe napięcia są zazwyczaj nieco większe fizycznie, co czasem może mieć znaczenie przy montażu.

Kondensator elektrolityczny jest elementem spolaryzowanym. Dłuższa nóżka nowego (nieprzyciętego jeszcze) elementu jest

eprasa.pl 514c4ae447



Fotografia 13. Poprawny, zgodny z polaryzacją sposób włożenia kondensatora elektrolitycznego C1 do płytki PCB. Na płytce znakiem „+” oznaczono otwór, w którym należy umieścić dodatnie (dłuższe) wyprowadzenie kondensatora elektrolitycznego a na obudowie kondensatora w sposób bardzo wyraźny zaznaczono wyprowadzenie ujemne kondensatora, które jest przy okazji wyprowadzeniem krótszym. Należy je zamontować do sąsiedniego otworu kondensatora elektrolitycznego (bez znaku)

wyprowadzeniem dodatnim (+) a krótsza ujemnym (–). Poprawny montaż kondensatora elektrolitycznego C1 na płytce pokazano na **fotografii 13**.

Montaż włącznika zasilania

Rolę włącznika zasilania pełni w układzie przełącznik opisany na schemacie i PCB jako SW1. Ponadto na płytce w jednoznaczny sposób opisano zarówno pozycję ON (załączenie) oraz OFF (wyłączenie). Dzięki temu łatwo jest się zorientować, czy układ w danej chwili jest podłączony do zasilania, czy też nie. Jeśli kwiatek LED działa poprawnie, nie ma to większego znaczenia, bo o stanie załączenia będą świadczyły dwubarwnie migające diody LED. Jeśli jednak kwiatek LED nie chce się uruchomić, opis pozycji przełącznika może okazać się bardzo pomocny.

Przełącznik działa w ten sposób, że łączy środkowy pin z jednym z dwóch skrajnych – tym, w którego stronę aktualnie ustawiony jest jego hebelek. Ponieważ konstrukcja przełącznika jest symetryczna, jego orientacja podczas montażu nie ma znaczenia – można go wlutować w dowolną stronę.

Podczas montażu najlepiej najpierw przylutować tylko środkowy pin, aby unieruchomić element w płytce, a następnie sprawdzić, czy dobrze on do niej przylega. Dopiero po upewnieniu się, że wszystko jest w jak najlepszym porządku, można przystąpić



Fotografia 14. Poprawnie zamontowany przełącznik SW1

do lutowania pozostałych dwóch wyprowadzeń. Na **fotografii 14** widać poprawnie zamontowany przełącznik SW1.

Montaż złącza baterii

Na koniec przylutuj do płytki PCB kabelki od dołączonego do zestawu złącza baterii 9 V. Złącze to, ze względu na swój wygląd, bywa często określane w żargonie elektroników „kijanką”. Podobnie jak w przypadku pozostałych zestawów serii AVTEDU, kabelki najpierw przeciągamy 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. Pamiętając o tym, że czerwony kabelek powinien trafić do otworu oznaczonego znakiem „+”, natomiast czarny kabelek należy zamontować do otworu oznaczonego znakiem „–”, przewody należy wprowadzić w otwory pomocnicze od strony komponentów (**fotografia 15a**), następnie, patrząc „od spodu”, należy ponownie przewlec oba kabelki przez kolejną parę otworów pomocniczych (**fotografia 15b**), by na samym końcu, uprzednio pozbawione izolacji, skręcone i pocynowane końcówki umieścić w otworach docelowych, a następnie je w nich zalutować (**fotografia 15c**).



Fotografia 16. Poprawne podłączenie kabli na przykładzie multimetru DT-830B ustawionego na funkcję woltomierza napięć stałych

Montaż układu scalonego w podstawce

Podobnie jak wcześniej, w celu kształtowania dobrych nawyków inżynierskich, zanim włożysz układ scalony do podstawki, sprawdź proszę, czy na odpowiednich pinach znajduje się poprawne napięcie zasilania. Choć użyty tu układ NE555 jest elementem szalenie popularnym i kosztuje grosze, nic nie stoi na przeszkodzie, by w celach ćwiczebnych zmierzyć sobie przed włożeniem układu scalonego w podstawkę, czy na odpowiednie piny wystawione są właściwe napięcia, w szczególności, czy do podstawki dostarczone jest właściwe napięcie zasilania.

Na schemacie z rysunku 1 widać, że nasz układ scalony (NE555) powinien być zasilony z baterii 9 V w taki sposób, że do pinu 8 doprowadzony jest „plus” zasilania, a do pinu 1 masa, czyli potoczny „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**).

Teraz podłącz baterię, ustaw przełącznik SW1 w pozycji ON, a następnie przyłóż sondy pomiarowe, czerwoną do pinu numer 8 podstawki a czarną do pinu numer 1 podstawki. Na wyświetlaczu miernika powinno ukazać się napięcie bliskie napięciu baterii (**fotografia 17**).

Gdyby na pierwszej pozycji wyświetlacza pojawił się znak „–” oznaczałoby to,

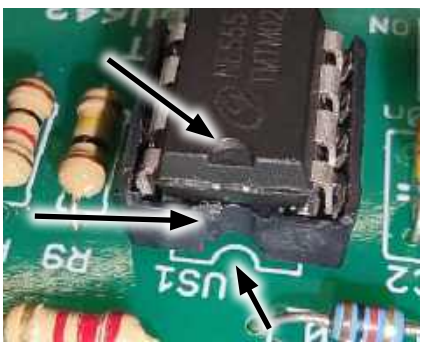


Fotografia 15. Kabelki złącza baterii należy a) przeprowadzić przez otwory pomocnicze od strony komponentów, b) następnie patrząc „od spodu” przełożyć je przez kolejną parę otworów, c) i na końcu przylutować odizolowane i pocynowane wcześniej końcówki kabelków do odpowiednich pól lutowniczych na płytce PCB

eprasa.pl 514c4ae447



Fotografia 17. Pomiar na zaciskach 8 („plus”) i 1 („minus”) podstawki pod układ NE555 wykazał poprawne napięcie baterii (bez znaku „–”, który sugerowałby błędną polaryzację). Można odłączyć zasilanie i zamontować układ scalony w podstawce



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 po tej samej stronie

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 przekroczyliśmy zakres pomiarowy (np. chcemy mierzyć napięcie 9 V multimetrem w funkcji woltomierza ustawionego na zakres do 2 V). Gdyby natomiast na wyświetlaczu multimetru pokazały się trzy zera, oznacza to, że miernik „nie widzi” napięcia na sondach, więc albo przycisk SW1 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. Może się też okazać, że linie zasilania zostały zwarte, stąd brak różnicy potencjałów (zerowe napięcie) i trzeba czym prędzej od układu odłączyć 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 SW1 w pozycji OFF, i ewentualnie dodatkowo odłączyć baterię oraz zamontować układ scalony w podstawce.

Umieszczenie układu scalonego w podstawce może wydawać się proste, ale warto podejść do tego z uwagą. Trzeba pamiętać nie tylko o właściwym ustawieniu układu (kierunek montażu musi być właściwy), ale też zadbać, by wszystkie jego nóżki trafiły dokładnie w odpowiednie otwory podstawki. W przeciwnym razie łatwo o ich wygięcie, a w skrajnym przypadku – nawet złamanie.

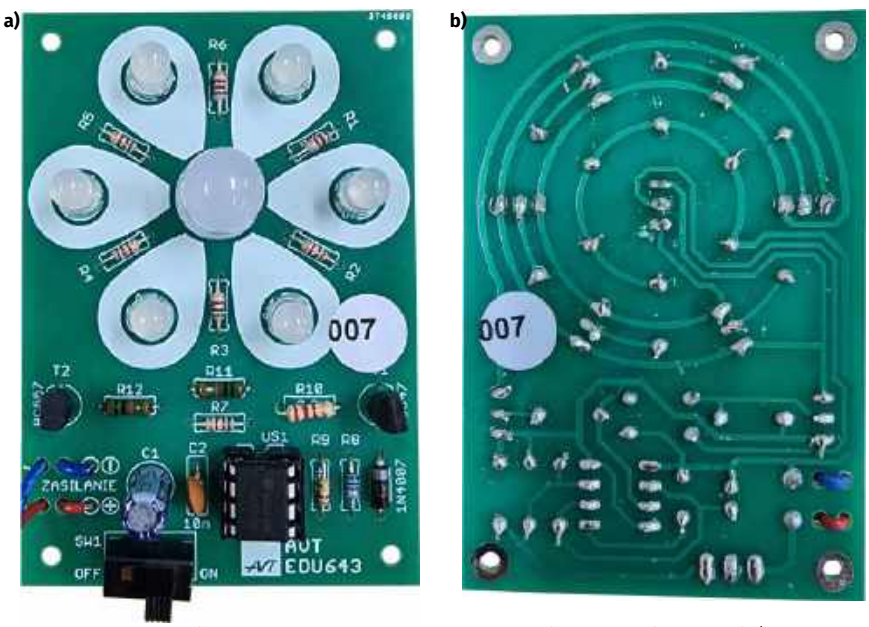
Jeśli któraś z końcówek ulegnie uszkodzeniu, nie wszystko stracone – można ją zastąpić kawałkiem wyprowadzenia od innego elementu. Takie „zapasowe nóżki” zwykle zostają po przycinaniu pinów innych, już przylutowanych do płytki elementów – z pewnością masz ich sporo w zasięgu ręki.

Poza ostrożnością przy wkładaniu układu do podstawki, równie istotne jest zachowanie właściwej orientacji układu scalonego. Należy zwrócić uwagę na oznaczenie – najczęściej jest to kropka lub półokrągłe wycięcie, które powinno być zgodne ze znacznikami na podstawce oraz na nadruku płytki PCB (**fotografia 18**).

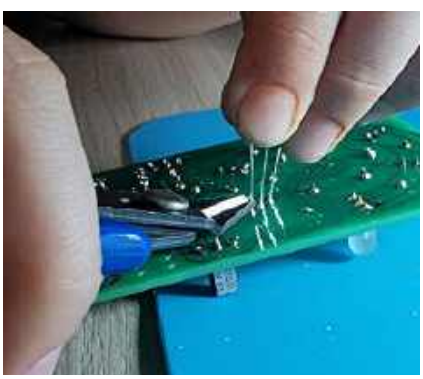
Gdy upewnimy się, że wszystkie oznaczenia zbiegają się w tym samym miejscu, możemy ostrożnie, lecz zdecydowanie, wcisnąć układ scalony w podstawkę.

a)

b)



Fotografia 19. Poprawnie zmontowany układ Dwukolorowego kwiatka LED. Widok płytki a) od strony komponentów, b) od strony lutowania



Fotografia 20. Przytrzymując wyprowadzenia komponentów przewlekanych po ich uprzednim przylutowaniu dbasz o bezpieczeństwo swoje oraz kolegów w Twoim otoczeniu. Promujesz higienę i kulturę pracy, na której być może skorzystają koledzy Twoich kolegów, a wśród nich – Ty sam

eprasa.pl 514c4ae447



Fotografia 21. Tymek stwierdził, że ta cała „logistyka ścinków" chyba faktycznie ma głębszy sens. A Ty co o tym myślisz?



Fotografia 22. Krystian wskrzesza do życia kolejnego kwiatka. Przyznam, że idzie mu świetnie! Młodzi Entuzjaści Elektroniki, Szkoła Podstawowa nr 86, Wrocław

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 **fotografiach 19a** i **19b**.

Układ jest na tyle prosty, że jego montaż i uruchomienie nie powinny przysporzyć żadnych problemów. Wszystkie układy złożone podczas zajęć stacjonarnych zadziałały poprawnie.

Po podłączeniu baterii i ustawieniu przełącznika SW1 w pozycję ON, wszystkie diody powinny się zaświecić, a płatki kwiatu zaczną zmieniać kolory razem z jego koroną (centralną częścią, do której przymocowane są płatki). Na początku płatki świecą na czerwono, a korona przyjmuje kolor zielony. Po chwili role się odwracają – korona staje się czerwona, a płatki zielone, a proces ten proces powtarza się w nieskończoność.

Nie każdy bohater nosi pelerynę

Temat bezpieczeństwa podczas pracy z elektroniką dotyczy wielu aspektów. Dbałość o detale na tym polu lubię nazywać higieną pracy. Termin „higiena" dobrze mi się kojarzy i dosyć dobrze oddaje specyfikę tematu. Nie jest sztucznym wymysłem, i z dumą obserwuję, że również dla moich Chłopców zdaje się ona być, tudzież stawać się, czymś równie naturalnym i ważnym jak oddychanie. Nie bez przypadku nasze zajęcia odbywają się wyłącznie wokół układów i zabawek pracujących przy napięciach bezpiecznych dla zdrowia i życia. W zasadzie podczas zajęć nie pracujemy z napięciami wyższymi niż 12 V. Od pewnych rzeczy jednak nie uciekniemy. Uważność i ostrożność w operowaniu rozgrzewaną do wysokich temperatur lutownicą ma kluczowe znaczenie, zarówno dla osoby, która tą lutownicą w danej chwili włada, ale i dla osób w bezpośrednim jej otoczeniu. Jestem dumny z uczestników zajęć, że w większości, bez mojego przypominania, pilnują tematu noszenia gogli ochronnych. Można żyć w przekonaniu o tym, że jest się świetnym ekspertem w dziedzinie elektroniki, a nawet nim być. Ale nie warto wierzyć w to, że w kryzysowej sytuacji w czymkolwiek nam to pomoże. Sięgając po analogie, można być naprawdę świetnym kierowcą – szybkim, pewnym siebie i doświadczonym – a mimo wszystko trafić do szpitala po poważnym wypadku. I to wcale nie z własnej winy. Wystarczy, że ktoś inny potraktuje zasady ostrożności czy kultury jazdy jak coś opcjonalnego, albo kompletnie o nich zapomni. A wtedy nawet najlepsze umiejętności mogą nie wystarczyć.

Podobnie jak nie jesteśmy samotnymi kierowcami na publicznej drodze, tak i w trakcie zajęć z elektroniki mamy wokół siebie innych „uczestników ruchu". Warto o tym pamiętać, nie tylko w kontekście potrzeby zachowania zasady ograniczonego zaufania względem poczynań każdego z naszych kolegów (mimo naszych najlepszych nawet sympatii), ale też w kontekście świadomości, że od naszej ostrożności i uważności zależy też bezpieczeństwo innych. Nie zakładając gogli ochronnych, narażam samego siebie na to, że do oka wpadnie mi fragment wyprowadzenia odciętego przez kolegę obok. Jednocześnie nie przytrzymując odcinanych przez siebie fragmentów wyprowadzeń palcami drugiej ręki podczas ich obcinania, mogę narazić na utratę zdrowia, a może i cięższych urazów kolegę obok, który z lekkomyślności, bądź roztargnienia w danej chwili gogli ochronnych na nosie miał nie będzie. Dbając o bezpieczeństwo stajesz się potencjalnym bohaterem, mającym każdorazowo szansę zawalczyć o zdrowie i bezpieczeństwo swoje i osób w pobliżu. Tym samym ocalić przed realnym niebezpieczeństwem kolegę lub siebie.

Odkładając obcięte wyprowadzenia na jedno miejsce (**fotografia 21**) łatwiej też „ogarnąć bałagan" po skończonej pracy. Temat może z pozoru mniej „górnolotny" – ale jak wiadomo – „co się wzniosło, musi spaść", i często spada… właśnie na podłogę. Nadepnięcie bosą stopą na ostry drucik z pewnością do przyjemnych doświadczeń nie należy. Zatem nawet w tej przyziemnej sytuacji kryje się okazja, by zatroszczyć się o siebie i o osoby w naszym otoczeniu. A wszystko dosłownie w zasięgu naszych rąk.

No i masz… Zamyślił się i zagadał człowiek na ważkie tematy. A tymczasem Krystian wciąż walczy z kwiatkiem (**fotografia 22**). Wracam więc, nieco mu pokibicować.

Na koniec życzę Ci powodzenia w montażu i udanych kwiatowych plonów! Niech roślinka rośnie w oczach, wzbogacając swym blaskiem parapety i ganki. Wodą nie podlewaj, baterie zmieniaj, a w razie potrzeby pomyśl o zasilaczu. Do zobaczenia za miesiąc. Dużo uśmiechu, kreatywności i pozytywnego podejścia do życia! ■

Mariusz Ciszewski

eprasa.pl 514c4ae447



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

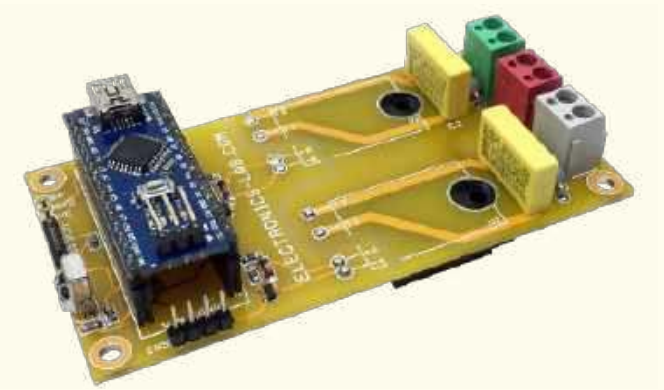
eprasa.pl 514c4ae447

Przedstawiamy początkowe fragmenty dwóch projektów ze zbioru kilkudziesięciu projektów dostępnych wyłącznie dla prenumeratorów EdW w rubryce DIY PLUS na **www.elportal.pl**. W rubryce DIY PLUS zamieszczamy aktualnie najciekawsze projekty publikowane w Internecie w formule open source. Prenumeratorów EdW zapraszamy do zapoznania się na **www.elportal.pl** z niezwykle inspirującymi zasobami rubryki DIY PLUS.



Lampa sufitowa LED z czujnikiem ruchu PIR – kompatybilna z Arduino

Ta lampa sufitowa LED z czujnikiem ruchu została zaprojektowana z użyciem 4 białych diod LED o mocy 1...3 W każda, modułu czujnika PIR, mikrokontrolera ATmega328, niskoomowego tranzystora MOSFET IRLR7843 i kilku innych komponentów. Czujnik PIR wykrywa promienie podczerwone emitowane przez ruch człowieka w obszarze wykrywania i włącza 4 białe diody LED na 10 sekund. Projekt pomaga w zastosowaniach energooszczędnych i nowych projektach ekologicznych budynków. Odległość wykrywania: od 1 do 20 stóp. Kąt wykrywania: 360 stopni. Wysokość instalacji: 2...15 stóp. Do montażu płytki służą 2 otwory montażowe. Zaleca się używanie tej płytki w pomieszczeniach.



Arduino Nano – włączanie/wyłączanie urządzeń za pomocą pilota na podczerwień (dwa kanały)

Prezentowany projekt to dwukanałowy zdalny włącznik/wyłącznik na podczerwień, który może być używany do sterowania urządzeniami domowymi, oświetleniem, wentylatorami, pompami wodnymi, pompami akwariowymi, piekarnikami, grzejnikami itp. Ten projekt open-source zawiera 2×SSR (przekaźnik półprzewodnikowy), Arduino Nano i odbiornik podczerwieni TSOP1838, pamiętając o bezpieczeństwie, optycznie izolowany SSR (przekaźnik półprzewodnikowy) służy do izolacji między obwodami wysokiego napięcia AC a Arduino Nano.

Niektóre projekty aktualnie dostępne tylko dla prenumeratorów EdW w rubryce DIY PLUS na www.elportal.pl:

1. Inteligentny ściemniacz LED z Bluetooth – 4-kanałowy włącznik/wyłącznik Bluetooth
2. Czterokanałowy izolator cyfrowy, wzmocniony, szybki, o niskim poborze mocy
3. Sterowanie prędkością, kierunkiem i zatrzymaniem silnika DC z modułem RF NRF24L01
4. Nadajnik zdalnego sterowania z pojedynczym joystickiem wykorzystujący NRF24L01
5. 8-kanałowy zdalny nadajnik RF z protokołami: Holtek i szeregowym
6. 8-kanałowy zdalny odbiornik RF z protokołami: Holtek i szeregowym
7. Pojemnościowy czujnik wilgotności do konwertera wyjścia analogowego
8. Mostek H dla wysokiej mocy szczotkowego silnika prądu stałego z czujnikiem prądu
9. Przetwornica DC-DC buck 12...75 V na 10 V na wyjściu
10. Czujnik prądu low-side 10 µA...10 mA
11. Kontroler ramienia robota z bezprzewodowym pilotem PS3
12. Termiczny czujnik masowego przepływu powietrza – anemometr stałotemperaturowy
13. Precyzyjny wzmacniacz transimpedancyjny z przełączanym integratorem
14. Kontroler pełnego mostka z przesunięciem fazowym i prostowaniem synchronicznym wykorzystujący UCC28950
15. Wysokowydajny monofoniczny wzmacniacz audio klasy D o mocy 20 W
16. Monitorowanie poziomu cieczy za pomocą czujnika ciśnienia – wyświetlacz słupkowy
17. Sterowanie silnikiem DC za pomocą joysticka
18. 16-kanałowy sterownik serwomechanizmów RC z interfejsem I²C
19. Programowalny kondycjoner sygnału z czujnika rezystancyjnego mostkowego
20. Choinka z Arduino i pikselowymi diodami
21. 20-segmentowy wyświetlacz słupkowy w rozmiarze jumbo
22. Stacja pogodowa lilygo ttgo t5-4.7 z wyświetlaczem typu e-papier
23. Półprzewodnikowy przekaźnik mocy DC z prądowym sprzężeniem zwrotnym
24. Wyłącznik nadprądowy – przekaźnik wyłączający nadprądowy
25. TinyML – Rozpoznawanie ruchu przy pomocy RPi Pico
26. Uniwersalny konwerter napięcia AC – wyjście 18 V DC z wejścia 85...265 V AC
27. Moduł procesora echa głosu – urządzenie opóźniające do efektów dźwiękowych, echo, reverb
28. Sterownik silnika krokowego z joystickiem
29. RPi – stacja pogodowa IoT
30. Niskobudżetowy monitor jakości powietrza IoT oparty o RaspberryPi 4
31. Automatyczny system ogrodniczy z NodeMCU i Blynk, ArduFarmBot 2
32. Wzmacniacz piezoelektryczny do gitary i skrzypiec
33. Wysokowydajny i niezawodny sterownik bipolarnego silnika krokowego
34. Sonarowy theremin MIDI
35. Sterownik silnika prądu stałego z wykorzystaniem przekaźnika i mosfetu – interfejs Arduino

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 514c4ae447

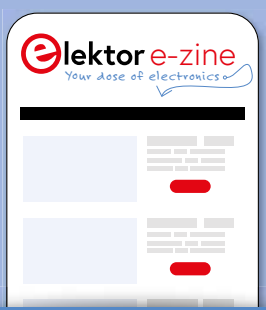
Subscribe to Elektor's newsletter and get the chance to

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 514c4ae447