Edukacja w EdW dla szkół i uczelni:
Wykład 21 – czujniki temperatury

ELEKTRONIKA dla wszystkich JUNIOR
NOWOŚĆ
strona 79

ELEKTRONIKA dla wszystkich

nr 8/2024 (343) • sierpień • www.elportal.pl

DIY PLUS
tylko dla prenumeratorów

Cewka Tesli

PROJEKTY dla elektroników

- Wzmacniacz audio Hummingbird
- Zabezpieczenie głośnika wysokotonowego żarówką samochodową z włóknem wolframowym
- Tania dwu- lub trójdrożna zwrotnica aktywna, część 2
- Translator cyfrowych sterowników oświetlenia

DIY dla wszystkich

- Podwójny stoper
- System uwierzytelniania oparty na RFID z użyciem Arduino

TUTORIALE

- Audio OUT: Kwestia symetrii, część 1
- Chirurgia obwodowa: Wielostopniowe wzmacniacze logarytmiczne do pomiaru mocy RF
- FNIRSI S1 – inteligentny multimetr z dużym wyświetlaczem
- Ekscytacje Maxa: Migające diody LED i śliniący się inżynierowie

ISSN 1425-1698 Indeks 33362X
9 771425 169245 08
16,90 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 e016f8d744

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

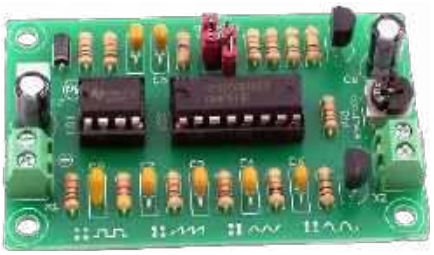
AVT1569 Generator akustyczny 20 Hz...20 kHz
https://sklep.avt.pl/avt1569.html

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

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

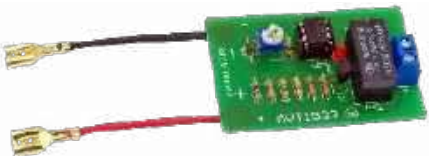
AVT1594 Wzmacniacz mocy 2×45 W z STK4182
https://sklep.avt.pl/avt1594.html

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 e016f8d744

–20%
NA START
162,30 zł

–30%
po pierwszym roku prenumeraty
142,00 zł

–40%
po drugim roku prenumeraty
121,70 zł

–50%
po trzecim roku nieprzerwanej prenumeraty
101,40 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 113,40 zł.

Dodatkowa oferta dla prenumeratorów wersji drukowanej: jeśli już subskrybujesz wersję papierową, możesz dokupić równoległe e-wydania w cenie 32,40 zł/rok – z niesamowitym **rabatem 80%**.

Zyskaj nieograniczony dostęp do zasobów dla pasjonatów elektroniki!

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

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

ARCHIWUM

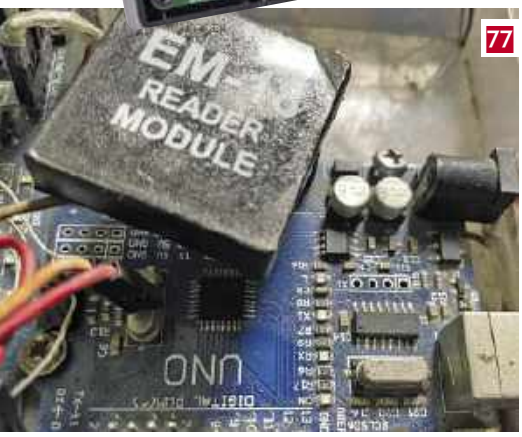
DIY PLUS
tylko dla prenumeratorów

Zacznij korzystać z pełnych zasobów już dziś!

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

ELEKTRONIKA dla wszystkich

sierpień 2024 • 8 (343)



Projekty dla elektroników:

Półprzewodnikowe wyładowanie płomieniowe. Cewka Tesli 8

Wzmacniacz audio Hummingbird 16

Zabezpieczenie głośnika wysokotonowego żarówką samochodową z włóknem wolframowym 28

Tania dwu– lub trójdrożna zwrotnica aktywna, część 2 32

Translator cyfrowych sterowników oświetlenia 38

Tutoriale:

Audio OUT: Kwestia symetrii, część 1 45

Chirurgia obwodowa:

Wielostopniowe wzmacniacze logarytmiczne do pomiaru mocy RF 50

FNIRSI S1 – inteligentny multimetr z dużym wyświetlaczem 56

Ekscytacje Maxa: Migające diody LED i śliniący się inżynierowie (11) 62

Edukacja w EdW dla szkół i uczelni: Wykład 21 – Czujniki temperatury 68

DIY dla wszystkich:

Podwójny stoper 75

System uwierzytelniania oparty na RFID z użyciem Arduino 77

Elektronika dla Wszystkich – Junior:

Drugie spotkanie z najmłodszymi pasjonatami elektroniki 79

Na zdjęciu na okładce Sebastian z Wrocławia, uczestnik kółka zainteresowań „Młodych Entuzjastów Elektroniki"

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

Przetwornica DC-DC buck 12...75 V na 10 V na wyjściu 91

Czujnik prądu low-side 10 µA...10 mA 91

Rubryki stałe:

Prenumerata 3

Od redakcji 5

Poczta 6

eprasa.pl e016f8d744

A za miesiąc w wrześniowym EdW

- **500 W wzmacniacz audio, część 1**
  Potężny wzmacniacz audio o mocy 500 W RMS (przy impedancji 4 Ω), który zapewnia czysty dźwięk o niskim poziomie szumów i zniekształceń. Zaprojektowany z myślą o wydajności i trwałości, posiada szereg zabezpieczeń oraz elektronicznie sterowane chłodzenie aktywne.
- **Wzmacniacz zasięgu pilota na podczerwień**
  Urządzenie zastępuje fragment toru podczerwieni, transmisją radiową w paśmie UHF. Pozwala nie tylko zwiększyć zasięg klasycznego pilota, ale również ominąć przeszkody, takie jak ściany, meble, zwierzęta czy ludzie.
- **Wielokanałowy ochraniacz głośników**
  Bardzo pożyteczne urządzenie w wersji autonomicznej lub do zabudowania we wzmacniaczu audio lub w zastawie głośnikowym. Ochrania, w wersji podstawowej do czterech, a w wersji rozszerzonej do 6 głośników (4 lub 6 kanałów audio) przed ich rychłym zniszczeniem w przypadku awarii wzmacniacza i podania na głośniki napięcia stałego.
- **Stroboskop RGB z Arduino**
  Ciekawa i niebanalna zabawka, która łączy zagadnienia elektroniki, fizyki i mechaniki. Coś dla ojca i syna. Będzie można powspominać czasy stroboskopów wykorzystywanych do regulacji układów zapłonowych, jak również skorzystać z druku 3D oraz prostego układu na Arduino.
- **Kolejna porcja intrygujących projektów DIY.**
- **Wiele artykułów w Twoich ulubionych cyklach Tutoriali.**
- **Oraz kolejna przygoda na łamach EdW Junior, czyli prężnie rozwijającej się gazetki dla naszych najmłodszych entuzjastów elektroniki.**

W kioskach od 31 sierpnia

Piękne bywa groźne, ale nie zawsze groźne być musi

Wyładowania elektryczne potrafią fascynować, a czasem przerażać. Zarówno te samoistnie występujące w naturze (za moim oknem właśnie trwa solidna burza i odbywa się niezwykle efektowny „festiwal piorunów") jak i te generowane przez człowieka sztucznie, w kontrolowanych warunkach. Trudno się temu dziwić, bo zjawisko potrafi przykuć wzrok, wręcz zahipnotyzować. Cewki Tesli, wynalezione przez serbskiego geniusza Nikoli Teslę pod koniec XIX wieku, do dziś fascynują naukowców, inżynierów oraz entuzjastów elektryczności. Podczas działania cewki Tesli generują widowiskowe błyski plazmy, które mogą przechodzić przez powietrze, tworząc niesamowite widowiska świetlne. Wysokie napięcia, rzędu milionów woltów, w połączeniu z częstotliwościami radiowymi, powodują, że wyładowania te mają wyjątkowe właściwości, umożliwiając bezprzewodową transmisję energii, a nawet eksperymenty z oświetleniem bezprzewodowym. W okładkowym artykule przyjrzymy się bliżej zasadom działania cewek Tesli oraz eksperymentom autora, które kontynuują dziedzictwo Tesli. Niezwykle widowiskowe wyładowania elektryczne wielu osobom mogą kojarzyć się z czarami i magią, a jeśli nie z magią, to chociaż z nadprzyrodzoną energią i mocą. Fakt. Zjawiska związane z wysokimi napięciami i wyładowaniami elektrycznymi, zarówno te mniej i bardziej naturalne, potrafią być piękne. Ale też niebezpieczne, o czym również wspominamy w okładkowym artykule. Realizację projektu zostawiamy więc zaawansowanym elektronikom, mającym doświadczenie w pracy z wysokimi napięciami, którym nie zabraknie ostrożności, rozwagi i pokory wobec owych pięknych, ale i potencjalnie niebezpiecznych zjawisk. Pozostałych Czytelników kuszę równie „elektryzującymi" projektami. Opisany w numerze, świetnej klasy, a przy tym kompaktowy moduł wzmacniacza audio o nazwie Hummingbird, to gratka dla niejednego fana dobrych wibracji, a to zaledwie jeden z artykułów poświęconych tematyce audio, których w naszym piśmie ostatnimi czasy zdecydowanie nie brakuje! Nie brakuje też opisów sprzętu i tutoriali z kolejną dawką „czarnej magii", która, mam nadzieję, po lekturze przygotowanych tekstów, zamieni się w całkiem zwyczajną i użyteczną wiedzę. Najserdeczniej zaś witam najmłodszych Czytelników, których, w ramach wyjątkowego cyklu EdW Junior, na przygodę zapraszam już po raz drugi. Na dzisiejsze spotkanie przeznaczyliśmy aż jedenaście stronic gazety, ponieważ będzie ono na swój sposób wyjątkowe. Po wstępnym przywitaniu w numerze poprzednim, dziś wybierzemy się już do sklepu po niezbędne narzędzia i pierwszy zestaw do samodzielnego montażu. Chwilę później nauczymy się lutować, a następnie, władając już tą niecodzienną umiejętnością, samodzielnie, ale, jak wierzę, w asyście bliskiej osoby, zmontujesz swój, być może pierwszy w życiu, układ elektroniczny. Już teraz, uchylę rąbka tajemnicy, że będzie to lampka samoczynnie załączająca się po zmroku. Niezależnie od tego czy posłuży Ci jako poskramiacz „potworów spod łóżka" czy też użyteczna lampka nocna, która pozwoli Ci nie potknąć się o własne kapcie w trakcie wędrówki do WC w środku nocy, wierzę, że samodzielny jej montaż, uruchomienie i późniejsze jej użytkowanie sprawi Ci wiele frajdy i satysfakcji. Zatem, do dzieła!

Mariusz Ciszewski

eprasa.pl e016f8d744

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.

Po publikacji pierwszego odcinka EdW Junior zaczynają do nas napływać listy z zapytaniami o to, czy darmowe płytki drukowane w kształcie serduszek są jeszcze dostępne:

„Chciałbym wykonać serduszko led z moim dzieckiem, według opisu w EdW 7/2024. Piszą Państwo że można dostać bezpłatnie płytkę drukowaną do tego serduszka."

„Czy jako prenumerator EdW mógłbym jeszcze dostać serduszka LED do wykonania z dziećmi? (opisane w nr 7/2024 na stronie 90). Bardzo ciekawa seria swoją drogą, prosiłbym o więcej!"

Odpowiedź brzmi: tak, zostało ich jeszcze całkiem sporo i będą na Was czekały aż do wyczerpania zapasów. Można śmiało wysyłać prośby o wysyłkę płytki serduszka, załączając swój numer prenumeratora i adres do wysyłki.

W miarę możliwości, prosimy również o odesłanie fotorelacji z montażu serduszek przez Wasze pociechy, co potraktujemy również jako zgodę na jej publikację. Chętnie podzielimy się z pozostałymi Czytelnikami Waszymi, być może pierwszymi w życiu, doświadczeniami z montażu elektroniki.

Co niezwykle nas cieszy, wszystko wskazuje na to, że do pozytywnej działalności zaczynamy porywać szersze grona odbiorców. Początkowo nie chcąc zapeszać, i nie mówiąc o tym głośno, ale też gorąco wierząc w serducha naszych Czytelników, łudziliśmy się, że inicjatywa opisana w pierwszym odcinku z czasem „powieli się" za Ich inicjatywą. Nigdy byśmy jednak nie pomyśleli, że zadzieje się to już po pierwszym odcinku:

„Proszę o informację czy mają Państwo możliwość wysłać więcej laminatów. W czasie roku szkolnego, raz w miesiącu, odbywa się tzw. „Wieczór z tatą" organizowany przez Vocati już od paru lat: https://vocati.pl/2022/12/31/wieczor-z-tata-11/

Ostatnie spotkanie było 16 czerwca: https://www.facebook.com/VocatiSilnaRodzina/posts/521337876884778

Pomysł jest taki, że ojcowie zabierają tam swoje dzieci i wspólnie przez około godzinę coś robimy. Lutowanie jak najbardziej podpada pod charakter tego spotkania. Zwykle przychodzi 7...10 ojców, zwykle z 1 lub 2 dziećmi. Rozmawiałem wstępnie z organizatorem tych spotkań i jest bardzo zainteresowany. Jeśli więc mają Państwo możliwość wysłania tylu serduszek to ja domówię te LED-y które Pan zasugerował i możemy to kiedyś zrobić ☺. Przed każdym spotkaniem jest podpisywana zgoda na publikowanie zdjęć, więc można by z tego zrobić również fotorelację dla EdW".

Pełni dumy (nie z samych siebie ale z otwartości i chęci do działania naszych Wspaniałych Czytelników) pozostaje nam stwierdzić, że w tych okolicznościach, nie pozostaje nam już nic innego, jak tylko przygotować Wam sensowną garść informacji, na temat tego, w jaki sposób bezpiecznie i efektywnie realizować tego typu lokalne inicjatywy (również w kontekście pozyskiwania PCB i podzespołów). Jeśli chodzi o podpowiedzi w zakresie niezbędnego sprzętu, znajdziecie je w drugiej części cyklu EdW Junior (ostatnie strony bieżącego numeru), gdzie wraz z Juniorami „wybraliśmy się" na zakupy po narzędzia i pierwszy zestaw do samodzielnego złożenia, a następnie przeprowadziliśmy jego montaż.

W niedalekiej przyszłości postaramy się dla Was przygotować garść podstawowych informacji dotyczących organizacji tego typu lokalnych aktywności, uwzględniając zasady BHP (szkolenie, wyposażenie ochronne, organizacja stanowisk pracy) opiekę i nadzór (kwalifikacje prowadzących, stosunek liczby opiekunów do dzieci), zgody i informacje dla rodziców (zgody rodziców i opiekunów prawnych), ubezpieczenie (ubezpieczenie OC, ubezpieczenie uczestników), przepisy prawne i regulacje (zaświadczenia o niekaralności wymagane w przypadku pracy z dziećmi, przestrzeganie prawa oświatowego), infrastruktura i wyposażenie (przestrzeń, sprzęt), czy program zajęć (dostosowanie programu do wieku, edukacja praktyczna).

Większość z tych zagadnień zostanie (bądź została już) omówiona „mimochodem" w ramach kolejnych spotkań z cyklu EdW Junior. Mamy nadzieję, że Czytelnik nie ma nam za złe, że co chwilę natykać się będzie na wtrącenia i dygresje dotyczące bezpiecznego montażu i użytkowania elektroniki. Bez wątpienia bezpieczeństwo, zwłaszcza najmłodszych, powinno mieć dla nas wszystkich zawsze kluczowe znaczenie.

Obiecana skondensowana garść informacji w tym zakresie już wkrótce.

Wątpliwości mojej przyszłości

Widziałem, że w gazecie dzieje się coś dla młodych, to postanowiłem, że zapytam. Chyba interesuje mnie elektronika. To znaczy lubię oglądać na YT kanały o podstawach elektroniki, potrafię też proste rzeczy samodzielnie polutować a nawet wymyślić. Na przykład jestem w stanie z pamięci zbudować generator astabilny. Dwa tranzystory, dwa kondensatory, cztery rezystory, dwie diody LED i gotowe. Od września idę do technikum elektronicznego. Ale kiedy w trakcie wakacji zobaczyłem notatki i książki starszego kuzyna, zaczynam mieć wątpliwości i zastanawiam się, czy dobrze robię. Wydawało mi się, że sporo wiem, ale gdy patrzę na grubość i zawartość podręczników akademickich (setki stron tekstu i długie skomplikowane wzory), zastanawiam się, czy jednak nie byłoby łatwiej zostać historykiem (a historii nie cierpię)". Pomóżcie rozwiać wątpliwości.

Rafał

Red. Drogi Rafale. Cóż. Nikt nie twierdzi, że będzie łatwo. Ale warto gonić za marzeniami, a najważniejsze to robić to, Co się kocha. Dla otuchy i wsparcia napiszę, choć może nie powinienem, że w naszej Redakcji, z pewnością nikt nie zna wszystkich podręczników akademickich na pamięć (no, może poza Panem Profesorem Marciniakiem, wydawcą naszego czasopisma i autorem co najmniej jednego ze wspomnianych podręczników). Elektronika jest zagadnieniem niezwykle szerokim, i każdy znajdzie tu coś dla siebie. Każde z nas w szkole tudzież na studiach przechodziło przez całe spektrum bardzo szeroko rozumianej elektroniki, jak i dziedzin nauki jej towarzyszących. Jeśli nie planujesz kariery profesora, czy doktora, najprawdopodobniej docelowo będziesz zajmował się bardzo wąską dziedziną elektroniki. Kto wie, być może, na przykład, zawodowo przyjdzie Ci zajmować się technologią, bo zostaniesz specjalistą od projektowania bądź analizowania klienckich projektów płytek drukowanych. Wówczas na co dzień z kilometrowych wzorów nie będziesz korzystać, ale dzięki ukończonej szkole, lub uczelni wyższej, pomijając to, że z łatwością otrzymasz posadę, o którą będziesz się ubiegał, po prostu będziesz wiedział gdzie ich poszukać i jak odnaleźć te właściwe. Najgorsze co mógłbyś zrobić, spoglądając na akademickie podręczniki, to założyć, że wszystko to będziesz musiał świetnie rozumieć, że wszystkiego będziesz na co dzień potrzebować i... odpuścić. Pomyśl inaczej. Pozaliczać można (i trzeba) wszystko. Na co dzień będziesz korzystać i tak zaledwie z ułamka tego wszystkiego.

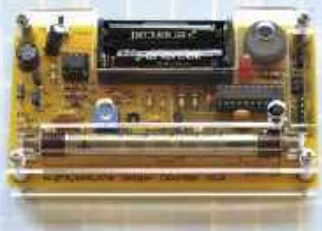
Historyk wcale nie musi być gorszą opcją, lecz z tego co piszesz wynika, że jednak bliżej Ci do elektroniki. Kieruj się własnym przeczuciem, tym co czujesz serduchem tudzież przez skórę i zgłębiaj (kolekcjonuj) wiedzę na temat tej dziedziny, do której czujesz, że jest Ci najbliżej.

Na koniec rada od naczelnego (na bazie doświadczeń z własnej młodości). Już nie w kontekście uczelni czy egzaminów, bo z tymi, zapewne sobie poradzisz, ale tak trochę w dalszej perspektywie. Warto trzymać dumę i ignorancję na wodzy. Kiedy zaczynasz czuć, że jesteś w czymś dobry (a nawet lepszy niż osoby wokół) łatwo popaść w celebrację tego faktu i zgubić obiektywizm w ocenie rzeczywistego stanu rzeczy. Na przykład, czując polot w programowaniu w wybranym języku wysokiego poziomu, łatwo popaść w ignorancję wobec assemblera. Łatwo zachłysnąć się techniką cyfrową, po macoszemu i bardzo wybiórczo traktując tę analogową. Czy to w programowaniu, czy stricte w elektronice, prędzej lub później mniej lub boleśniej doświadczysz wszystkich tych braków. Innymi słowy, warto czerpać garściami z tego, co uczelnia czy szkoła daje. To ta chwila w życiu, kiedy ma się na to czas. Później wszystko oczywiście da się nadrobić, ale jest to bardziej uciążliwe (rodzina, dom i praca tego nie ułatwią). Zawsze też możesz śledzić to, co dzieje się na stronach naszego pisma, na przykład w cyklu wykładów. Jest szansa, że znajdziesz tu opisy wybranych zagadnień akademickich, podane w sposób nieco mniej „suchy" i bardziej przystępny, w dodatku na kolorowo. A więc, carpe diem, Przyjacielu i powodzenia!

eprasa.pl e016f8d744

Elektor Bestsellers

SAVE UP TO 26% NOW!



www.elektor.com/sale/deals

Elektor SUMMER SALE

elektor
design > share > earn

eprasa.pl e016f8d744

Materiały dodatkowe dostępne są na stronie Silicon Chip: https://tiny.pl/d4556

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

Półprzewodnikowe wyładowanie płomieniowe

Cewka Tesli

W artykule zostało opisane całkiem małe i proste urządzenie, które generuje niezwykle wysokie napięcia, wystarczające do utworzenia „wyładowania płomieniowego" przypominającego płomień świecy. Może również zademonstrować bezprzewodową transmisję energii, zapalając na odległość neonowe żarówki i świetlówki.

Inspiracją dla tego projektu był film „Plasma Channel" na YouTube autorstwa Jaya Bowlesa ze stycznia 2021 roku, przedstawiający generator płomienia plazmowego. Autorowi tego artykułu spodobała się prosta budowa układu (strojenie i obsługa są jednak wyzwaniem), jego wyjątkowa moc wyjściowa oraz fakt, że urządzenie jest stosunkowo małe.

W tej konstrukcji generator półprzewodnikowy wysterowuje cewkę pierwotną, która wzbudza cewkę rezonatora (wtórną), wytwarzając falę ciągłą o wysokiej częstotliwości. Wyładowanie wytwarzane przez Cewkę jest określane jako „wyładowanie płomieniowe", gdyż przypomina płomień świecy. Cewka może być użyta do demonstrowania bezprzewodowej transmisji energii poprzez zapalanie neonów i świetlówek.

Na zdjęciu tytułowym można zobaczyć matrycę wykonaną przez autora, wykonaną przy użyciu 100 lamp neonowych. Poszczególne sekcje zapalają się po umieszczeniu w pobliżu silnego pola elektromagnetycznego (EM) (na przykład takiego jak generowane przez opisywaną Cewkę Tesli). W zależności od orientacji panelu, może on wyświetlać amplitudę pola EM lub jego kształt. Taki sposób obserwacji pól jest z pewnością naprawdę bardzo interesujący.

Pierwsza wątpliwość, jaka nasuwa się podczas oglądania zdjęć tego urządzenia, to: „czy jest to bezpieczne?". I tak, i nie. Urządzenie generuje napięcie około 150 kV, a biorąc pod uwagę jego częstotliwość roboczą wynoszącą około 10 MHz, może powodować oparzenia falami radiowymi.

Trzeba więc być skrupulatnym w budowaniu, testowaniu i obsłudze takiego urządzenia. Ale chyba nie można powiedzieć „nie próbuj tego w domu". Mimo to, montaż Cewki Tesli nie jest zalecany dla początkujących elektroników. Jest bardziej odpowiedni dla osób, które zbudowały już kiedyś jakieś urządzenia zasilane z sieci i mają doświadczenie w zakresie środków ostrożności związanych z pracą z napięciem 230 V AC. Takie osoby działają zwykle zgodnie z odruchem: „ręce z dala, gdy zasilanie jest włączone", dwukrotnie sprawdzając wszystko przed włączeniem zasilania i dokładnie

eprasa.pl e016f8d744

Uwaga! Urządzenie wytwarza niebezpieczne napięcia!

Mimo, że urządzenie jest zasilane prądem stałym o niskim napięciu, jego wysokie napięcie wyjściowe spowoduje oparzenia RF, jeśli zbliżysz się lub zetkniesz z końcówką wyładowczą, nawet jeśli wyładowanie nie jest widoczne. Wytwarzany płomień to plazma, która jest niezwykle gorąca i może stopić drut miedziany (nie wspominając o ciele!). Bez punktu wyładowania wykonanego z mosiądzu/stali nierdzewnej, może zacząć topić się przewód w punkcie przebicia.
Zawsze należy upewnić się, że nie znajdujemy się w pobliżu punktu wyładowania podczas włączania zasilania urządzenia. Należy trzymać wszystkie części ciała (lub kogokolwiek innego) z dala od tego punktu, dopóki zasilanie nie zostanie wyłączone, a wyładowanie nie ustanie. Należy pamiętać, że wysokie napięcie może być obecne nawet wtedy, gdy nie widać wyładowań. Zastosowany potencjometr ma plastikowy wałek, należy zachować ostrożność w przypadku stosowania klasycznego potencjometru z metalowym wałkiem. Dla zapewnienia podstawowego bezpieczeństwa należy użyć plastikowego pokrętła i upewnić się, że pokrętło całkowicie zakrywa wał.
W celu zwiększenia bezpieczeństwa, cewki (L2 i L3) oraz punkt wyładowań mogą być otoczone przezroczystą folią plastikową o średnicy 150 mm lub obudową Perspex, z otwartą górą o 50 mm wyższą niż punkt przebicia.

Ostrzeżenie o zakłóceniach elektromagnetycznych

Cewka Tesli jest generatorem RF (częstotliwości radiowe). Moc wejściowa może wynosić do 240 W (48 V @ 5 A), a wzmacniacz klasy E jest bardzo wydajny, konwertując znaczną ilość mocy wejściowej na energię RF. Niemniej jednak, gdy dochodzi do przebicia, większość tej energii jest przekształcana w światło i ciepło.
Należy pamiętać, że urządzenie może powodować zakłócenia radiowe podczas pracy, głównie w paśmie HF (3...30 MHz). Ten zakres pokrywa pasmo krótkofalowe, wiele amatorskich pasm radiowych, lotnictwo i komunikację morską oraz CB radio. Częstotliwość pracy tego urządzenia jest bardzo zbliżona do amatorskiego pasma 40 m, więc należy zachować ostrożność, w przeciwnym razie niektórzy krótkofalowcy mogą być bardzo niezadowoleni!

izolując wszystkie przewody wysokiego napięcia. Przejdźmy zatem do rzeczy.

Cewki Tesli

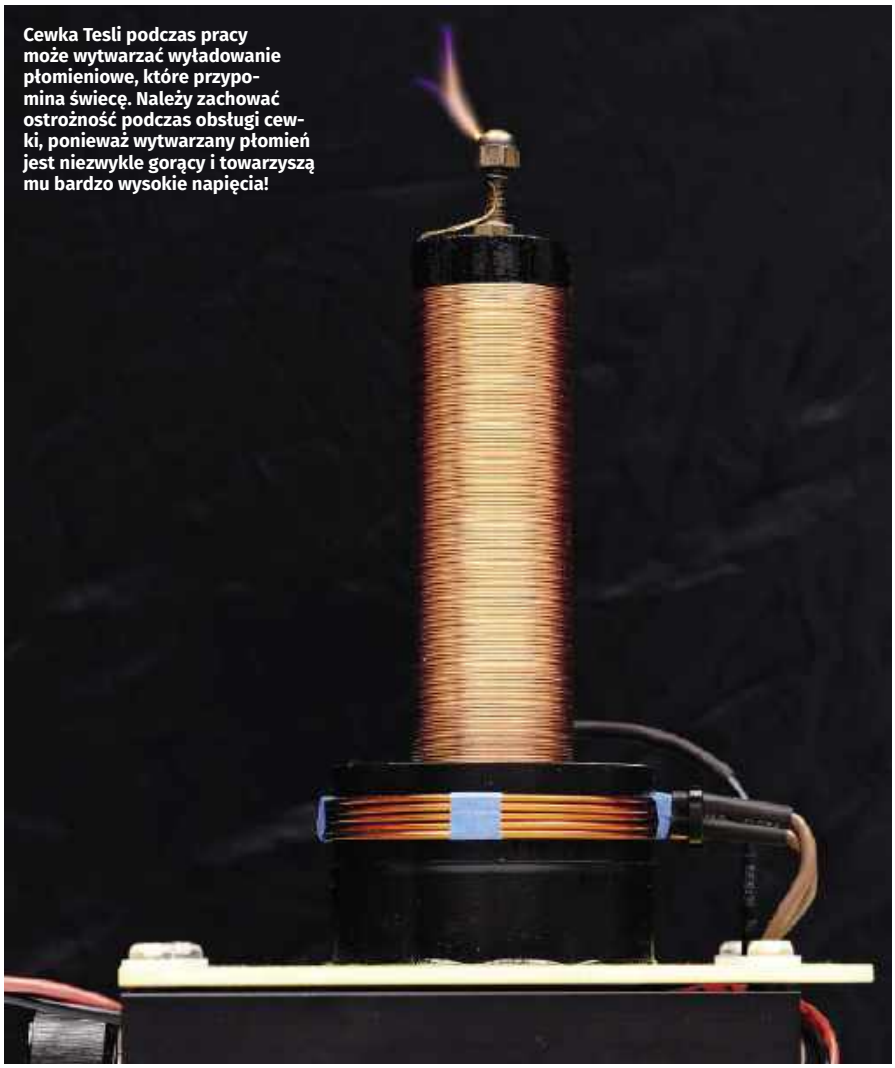
Opisywana cewka Tesli jest oparta na wzmacniaczu mocy RF klasy E, który jest dostrojony do oscylacji przy około 10 megahercach. Steruje on odczepem transformatora. Uzwojenie wtórne transformatora jest wzbudzane przez oscylator w celu wytworzenia ciągłego przebiegu wyjściowego o wysokiej częstotliwości.

Czytelnicy są być może przyzwyczajeni do widoku cewek Tesli z metalowym toroidem na górze przypominającym pączek, z którego widoczne jest efektowne wyładowanie. Opisana tu cewka jest prostsza, zamiast toroidu ma kopułę, ale nadal jest to cewka Tesli.

Cewka Tesli to luźno sprzężony transformator rezonansowy wynaleziony przez Nikolę Teslę w 1899 roku. Jest on zdolny do wytwarzania prądu przemiennego o wysokim napięciu, niskim natężeniu i wysokiej częstotliwości.

Napięcia wytwarzane przez cewki Tesli wynikają z rezonansowego wzrostu napięcia w uzwojeniu wtórnym i nie są proporcjonalne do stosunku zwojów między uzwojeniem pierwotnym i wtórnym, jak w przypadku tradycyjnych, ściśle sprzężonych transformatorów. Pozwala to na wytwarzanie wyjątkowo wysokich napięć w praktycznym obwodzie, które w niektórych przypadkach może osiągać wartość nawet ponad 1 MV!

Cewka Tesli składa się z dwóch obwodów rezonansowych LC. Obwód pierwotny składa się z pierwotnego kondensatora i cewki. Cewka



Cewka Tesli podczas pracy może wytwarzać wyładowanie płomieniowe, które przypomina świecę. Należy zachować ostrożność podczas obsługi cewki, ponieważ wytwarzany płomień jest niezwykle gorący i towarzyszą mu bardzo wysokie napięcia!

eprasa.pl e016f8d744

wtórna (i często toroid wysokiego napięcia) oraz otaczające powietrze tworzą wtórny obwód LC. Oba obwody są połączone szeregowo i dostrojone do rezonansu na tej samej częstotliwości w celu efektywnego transferu energii.

W klasycznej cewce Tesli zastosowany jest układ iskiernika, służący do przekazywania energii zgromadzonej w kondensatorze pierwotnym do cewki pierwotnej.

Energia w obwodzie pierwotnym, przemieszczając się tam i z powrotem między kondensatorem a cewką pierwotną, przenosi (sprzęga) część energii do obwodu wtórnego. Napięcie w obwodzie wtórnym wzrasta do momentu, gdy natężenie pola elektrycznego przekroczy właściwości izolacyjne powietrza otaczającego dużą powierzchnię górnego ładunku i powstaje łuk elektryczny.

Cewki Tesli mogą być projektowane do wytwarzania wielu milionów woltów. Obecnie największą na świecie cewką Tesli jest „Electrum" zaprojektowana przez Erica Orra w Nowej Zelandii (*www.gibbsfarm.org.nz/orr.php*) i zbudowana przez Grega Leyha z Lightning on Demand (*www.lod.org*).

Metody wzbudzania

Można wyróżnić trzy metody wzbudzania cewek Tesli.

Cewka Tesli z przerwą iskrową (SGTC). Mamy tu szczelinę statyczną, szczelinę wyzwalaną i szczelinę obrotową. Ten typ wzbudzenia może być również określany jako „zakłócający". Zazwyczaj stosowane jest źródło wysokiego napięcia.

Półprzewodnikowa cewka Tesli (SSTC). Obejmuje dwa typy: z pojedynczym i podwójnym rezonansem sterowane elementami półprzewodnikowymi(DRSSTC). Zasilanie prądem stałym służy do ładowania kondensatora, a półprzewodnik mocy, taki jak tranzystor MOSFET lub IGBT, zastępuje iskiernik.

Cewka Tesli z lampą próżniową (VTTC). Topologia podobna do tej, która jest stosowana w nadajnikach radiowych. Główną różnicą jest to, że VTTC działają w trybie fali ciągłej zamiast impulsowego wyjścia, jak to miało miejsce w poprzednich metodach wzbudzania. VTTC wymaga również zasilania wysokim napięciem, które można uzyskać za pomocą specjalnie dostosowanych transformatorów z mikrofalówek.

Cewka Tesli opisana w tym artykule jest interesująca, ponieważ należy do kategorii cewek półprzewodnikowych (SSTC). Działa jednak w trybie ciągłym, podobnie jak VTTC, ale przy znacznie wyższej częstotliwości około 10 MHz (zamiast kilkuset kHz do kilku MHz). Taka wersja jest nazywana HFSSTC.

Głównymi zaletami HFSSTC jest to, że układ może być zasilany z niskonapięciowego źródła prądu stałego, nie generuje dużego szumu i nie trzeba projektować zasilacza wysokonapięciowego.

Cewka pracuje w trybie ciągłym, zatem działa przy cyklu pracy wynoszącym 100%, co skutkuje cichym jej działaniem. Interesującą właściwością wyjścia o wysokiej częstotliwości i wysokim napięciu jest zdolność do wytwarzania wyładowania płomieniowego, w którym zjonizowane powietrze (plazma) przybiera wygląd płomienia świecy. Wytworzenie stabilnego płomienia jest jednak trudne i wymaga dokładnego dostrojenia.

Opis układu

Jak pokazano na **rysunku 1**, do wytworzenia prądu RF dla oscylatora zastosowany jest prosty wzmacniacz mocy RF klasy E. Konstrukcja tego wzmacniacza pochodzi z połowy lat 60. ubiegłego wieku. W przeciwieństwie do typowego wzmacniacza RF, który ma obciążenie rezystancyjne o mocy 50 W, cewka Tesli (rezonator wtórny) jest siecią filtrów o wysokiej dobroci.

Ten typ obwodu może osiągnąć bardzo wydajne przełączanie przy użyciu tranzystorów MOSFET z przełączaniem zerowego prądu (ZCS). Wysoka wydajność jest wymagana do wytworzenia wystarczającej mocy wyjściowej do długotrwałego rozładowania. ZCS oznacza, że MOSFET jest przełączany, gdy przepływający przez niego prąd jest minimalny.

Sercem obwodu jest oscylator LC utworzony przez cewkę L2 (2,4 μH) i kondensator C1 (150 pF). Wartości tych elementów określają częstotliwość oscylatora. W tym przypadku jest to 10 MHz (mniej więcej).

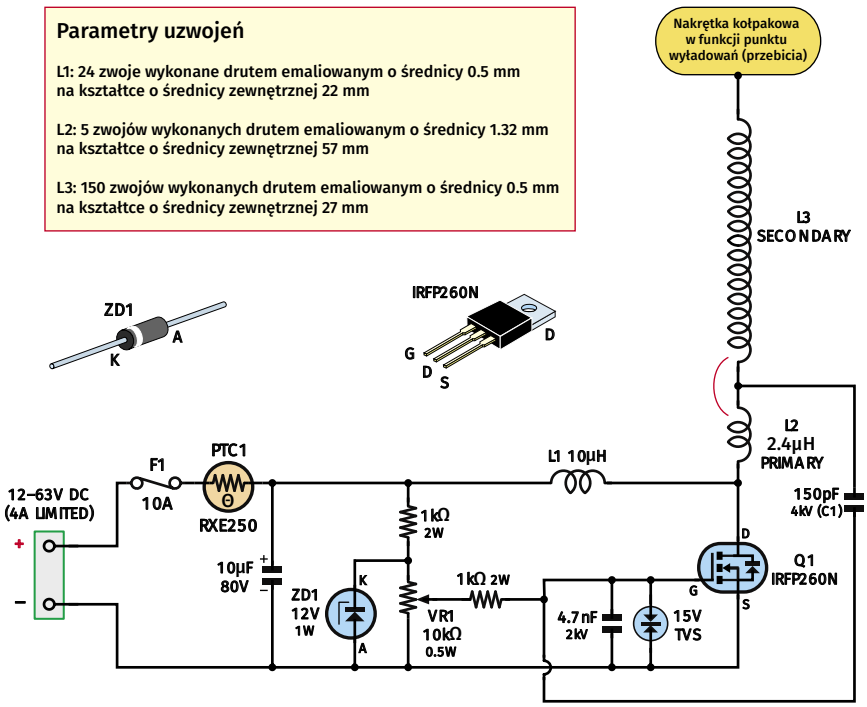
Dzielnik napięciowy utworzony przez potencjometr VR1 i rezystor szeregowy 1 kΩ jest umieszczony w obwodzie bramki tranzystora MOSFET IRFP260N Q1 generującego sygnał 5...10 V. Służy on do wzbudzenia oscylacji obwodu. Sprzężenie zwrotne poprzez kondensator C1 wyzwala i podtrzymuje oscylację.

Kondensator bocznikujący 4,7 nF i dioda TVS zapewniają pewną ochronę MOSFET-ów. Należy jednak być przygotowanym na utratę kilku tranzystorów podczas testowania i działania.

Zarówno ZD1, jak i TVS mają na celu zapobieganie, aby napięcie na bramce tranzystora nie przekroczyło wartości napięcia bramka-źródło podawanej w specyfikacji, która wynosi 20 V. Można również zastosować diodę Zenera 15 V.

Cewka L1 (10 μH) jest nawinięta ręcznie. Są to 24 zwoje emaliowanego drutu miedzianego o średnicy 0,5 mm na cylindrycznym kształtowniku. Kondensator 10 μF służy do filtrowania zasilania, dzięki czemu obwód może być zasilany napięciem do 63 V (chociaż napięcie 36...48 V jest wystarczające).

Cewka pierwotna (L2) składa się z pięciu zwojów emaliowanego drutu miedzianego o średnicy



Rysunek 1. Układ półprzewodnikowej Cewki Tesli jest prosty i elegancki, z kondensatorem sprzężenia zwrotnego 150 pF C1 powodującym, że MOSFET Q1 steruje elementami C1 i L2 w rezonansie. Indukcyjności są dobrane tak, aby C1 i L2 rezonowały z tą samą częstotliwością co L3 i pojemności błądzące wokół niej (w tym punkt wyładowania na jego szczycie). Powoduje to efektywne generowanie bardzo wysokich napięć w górnej części L3, tworząc wyładowanie płomieniowe

eprasa.pl e016f8d744

CD ELEKTRONIKÓW DLA ELEKTRONIKÓW Z PASJĄ
SKLEP ELEKTRONICZNY REMAGAS
Druty i lice nawojowe Dławiki mocy Karkasy i akcesoria
Elementy indukcyjne Rdzenie ferytowe
WWW.SKLEP.REMAGAS.PL
REMAGAS@REMAGAS.PL

1,32 mm nawiniętego na kształtkę o wysokości 35 mm i średnicy 57 mm. Cewka rezonansowa jest zainstalowana wewnątrz cewki pierwotnej, dzięki czemu całość jest modułowa, i można ją w razie potrzeby rozmontować.

W swojej Cewce Tesli autor, zastosował kondensator 150 pF i indukcyjność pierwotną 2,4 μH, które daje teoretyczną częstotliwość rezonatora pierwotnego około 8,34 MHz. Jednak przewody łączące zwiększą indukcyjność. Zmierzona częstotliwość oscylatora wyniosła 7,42 MHz, która nieznacznie spada do 7,37 MHz, gdy wyładowanie jest inicjowane.

Napięcie znamionowe kondensatora 150 pF musi wynosić co najmniej 4 kV, więc w układzie zastosowano cztery kondensatory o napięciu 2 kV połączone w konfiguracji szeregowo-równoległej. Wszystkie mają tę samą pojemność.

MOSFET-y mają sporą pojemność pasożytniczą i niezerowy czas przełączania, a zatem „nie lubią" pracy przy wysokich częstotliwościach. Dlatego zastosowanie przełączania zerowoprądowego (ZCS) jest w tym przypadku korzystne.

Rezonator wtórny

Wtórny obwód rezonansowy stanowi cewka L3. Wytwarza on wysokie napięcie w górnej części cewki, gdy jest ona wzbudzana z tą samą częstotliwością rezonansową.

Cewka wtórna składa się z około 150 zwojów emaliowanego drutu miedzianego o średnicy 0,5 mm nawiniętego na kształtce z rury PVC o średnicy wewnętrznej 25 mm i wysokości 106 mm. Śruba M4 × 12 mm ze stali nierdzewnej i mosiężna nakrętka kołpakowa są używane jako punkt wyładowania lub „górne obciążenie". Mają one również wpływ na ogólną częstotliwość rezonansową cewki.

Innym ważnym powodem takiego punktu wyładowania jest to, że temperatura wytwarzana przez wyładowanie jest wystarczająca do stopienia drutu miedzianego!

Przed skonstruowaniem cewki wtórnej jej parametry zostały zamodelowane w oprogramowaniu do projektowania cewek Tesli „JavaTC" (pokazanym niżej). Program umożliwił obliczyć częstotliwość rezonansową cewki i dokonać odpowiednich korekt.

Strojenie

Mając do czynienia z tak wysoką częstotliwością, zaskakujące jest, jak minimalne zmiany mogą wpłynąć na działanie cewki. Niewielka zmiana może oznaczać, że cewka w ogóle nie będzie działać, będzie wytwarzała więcej wyładowań koronowych (zamiast płomienia) lub też będzie uszkadzała tranzystor MOSFET. Prawidłowe dostrojenie cewki ma zatem kluczowe znaczenie. Cewkę prototypową udało się wprawdzie uruchomić, ale nie obyło się bez wyzwań.

Początkowo przygotowywana była cewka indukcyjna L1. Do dyspozycji był akumulator 12 V SLA. W trakcie uruchamiania okazało się, że w określonym ustawieniu potencjometru sterującego wystąpił chwilowy skok prądu o wartości ponad 20 A, który zamienił L1 w bezpiecznik i zniszczył MOSFET. W związku z tym do zasilania cewki konieczne było użycie zasilacza z ograniczeniem prądowym.

Na wypadek, gdyby czytelnik chciał używać akumulatora, na wejściu obwodu końcowego został dodany termistor PTC i bezpiecznik, co powinno zapobiegać uszkodzeniom w takich warunkach. Mimo to najlepiej jest użyć jakiejś formy ograniczenia prądu zasilania, jeśli to możliwe. W razie potrzeby można to zrobić za pomocą szeregowego rezystora drutowego o wartości kilku omów, choć zmniejszy to ogólną wydajność układu.

Po osiągnięciu stabilnej pracy, strojenie można wykonać poprzez regulację liczby zwojów cewki pierwotnej (L2), odstępu między zwojami i jej ogólnej pozycji (wysokości) w odniesieniu do cewki wtórnej.

Najbardziej znaczącym efektem było zastosowanie śruby ze stali nierdzewnej i nakrętki kołpakowej. To „górne obciążenie" obniża częstotliwość rezonansową Cewki, a znaczący wpływ ma regulacja jej położenia. W Cewce autora końcowa częstotliwość rezonansowa obwodu wtórnego była równa 8,12 MHz.

Obliczona indukcyjność dla cewki L3 wynosi 168 mH, co teoretycznie powinno dać częstotliwość rezonansową bardzo bliską 10 MHz. Prawdopodobnie jest ona o 20% niższa ze względu na pojemność rozproszoną.

Ograniczenie prądu wejściowego

Jak już było wspomniane do układu został dodany „bezpiecznik" PTC (PTC1), ponieważ istniało ryzyko, że możliwe jest, aby obwód pobierał tak dużo mocy, że uszkodzi MOSFET i spali cewkę L1. PTC1 ma wysoką rezystancję, jeśli przewodzi więcej niż około 5 A. Po wyłączeniu zasilania i pozostawieniu do ostygnięcia, następnym razem powinien działać normalnie.

Dodany został ponadto bezpiecznik 10 A na wypadek, gdyby PTC nie mógł zadziałać wystarczająco szybko. Nie ma gwarancji, że dzięki temu zostaną uratowane inne elementy, ale jest to zabezpieczenie proste i tanie. Jeśli, jak już sugerowano, zastanie użyty zasilacz z regulacją prądu od 3,5 A do 5 A, elementy, o których tu mowa będą zapewniać jedynie spokój ducha użytkownikowi Cewki. Prawdopodobnie jednak wielu czytelników nie będzie miało takiego źródła zasilania, ale z powodzeniem można zastosować również zasilanie akumulatorowe. Warunkiem jest tylko odpowiednia wydajność prądowa.

Budowa

Pierwszym zadaniem jest przygotowanie i nawinięcie cewki rezonatora wtórnego. Cewka została wykonana ze standardowej rury PVC o średnicy wewnętrznej 25 mm, dostępnej w sklepach budowlanych lub hydraulicznych. Została przycięta do długości 106 mm wynikającej z obliczeń programem JavaTC. Pozostawiono na końcach dodatkowy materiał, co ułatwiło

DANE WYJŚCIOWE CEWKI WTÓRNEJ

Wtórna częstotliwość rezonansowa	1017 kHz
Kąt	90°
Wysokość uzwojenia	8,22 cm
Obroty na jednostkę	18,25 cm
Odległość pomiędzy zwojami (e/e)	0,048 mm
Długość drutu	12,63 m
Współczynnik proporcji wys./średn.	3,07:1
Rezystancja dla prądu stałego	1,0999 Ω
Reaktancja w rezonansie	10156 Ω
Waga drutu	0,022 kg
Efektywna indukcyjność szeregowa – Les	0,16 mH
Równoważna indukcyjność energii – Lee	0,159 mH
Indukcyjność niskiej częstotliwości – Ldc	0,168 mH
Efektywna pojemność bocznikowa – Ces	1,549 pF
Równoważna pojemność energetyczna – Cee	1,555 pF
Pojemność niskiej częstotliwości – Cdc	2,823 pF
Efektywna pojemność ładowania góry	0 pF
Głębokość efektu naskórkowego	0,0231 mm
Oporność AC	32,8414 Ω
Dobroć Q górnego obwodu	309

Dane wyjściowe z oprogramowania JavaTC użytego podczas projektowania Cewki Tesli

eprasa.pl e016f8d744

późniejszy montaż. Zewnętrzna średnica rury PVC wynosi 26,9 mm, a samo uzwojenie ma wysokość 82,2 mm.

Powierzchnia została lekko przeszlifowana, a następnie lekko pokryta lakierem elektroizolacyjnym. Nie jest to jednak krytyczne.

Jak wspomniano wcześniej, cewka wtórna jest nawinięta emaliowanym drutem miedzianym o średnicy 0,5 mm, dostępnym w Jaycar, nr kat. WW4016 lub Altronics, nr kat. W0405.

Cewka wtórna może być nawinięta ręcznie lub za pomocą wiertarki ręcznej. Po zakończeniu należy nałożyć kilka warstw bezbarwnego lakieru poliuretanowego w celu uszczelnienia. Inną opcją jest lakier do elektroniki „Ultimeg", który został użyty podczas budowy prototypu (*www.bew.com.au/varnish*, a także *www.bew.com.au/wire*).

Podstawa urządzenia została zbudowana na dużym radiatorze Jaycar Cat SY4085. Oprócz chłodzenia MOSFET-a, jest on na tyle ciężki, że zapobiegnie również ewentualnemu przewróceniu się Cewki. Centralny kanał zapewnia miejsce do montażu elektroniki sterującej. Posiada również kołnierze pełniące funkcję nóżek, z otworami do mocowania elementów dystansowych do przytrzymywania górnej części konstrukcji.

Płyta bazowa podtrzymująca cewkę pierwotną i wtórną jest wykonana z odciętego trzy milimetrowego laminatu FR-4 (w zasadzie PCB bez miedzi). Można go nabyć za pośrednictwem Blackburn Electric Wires (patrz linki powyżej). Alternatywnie można również użyć arkusza akrylowego (pleksiglas/PMMA). W radiatorze należy wywiercić i nagwintować otwory na punkty montażowe, a także pod MOSFET.

Elementy sterujące zostały zmontowane na wyciętym kawałku nieobudowanego, dziurkowanego laminatu o wymiarach 56 mm × 107 mm. Firma Silicon Chip przygotowała

Cewka wtórna została nawinięta przy pomocy wiertarki ręcznej, ale można to zrobić ręcznie

projekt płytki PCB ułatwiający montaż. Płytka została wycięta tak, aby pasowała ściśle do kanału radiatora.

Płytka drukowana sterownika jest oznaczona kodem 26102221 i ma wymiary 56 mm × 107 mm. Można zamontować teraz na niej części, używając schematu montażowego (**rysunek 2**).

Potencjometr sterujący jest zamontowany na płytce drukowanej o wymiarach 56 mm × 30 mm. Jest on umieszczony pod kątem 90° na końcu głównej płytki drukowanej za pomocą ocynowanych miedzianych drutów, aby zapewnić solidne wsparcie mechaniczne.

L1 to cewka indukcyjna 10 μH. W projekcie autora były to 24 zwoje emaliowanego drutu miedzianego o średnicy 0,5 mm na rurze PVC o średnicy 20 mm. Podczas wstępnych testów cewka ta musiała być jednak trzykrotnie przewinięta z powodu przepalenia. Drut 0,5 mm nie poradzi sobie z prądem 20 A, co zostało odkryte podczas rozwiązywania problemów. Jednak po przejściu na zasilacz z ograniczeniem prądowym żadnych problemów już nie było. Można natomiast rozważyć użycie drutu o większej średnicy.

Aby podłączyć podstawę cewki wtórnej ze sterownikiem, została użyta dwumilimetrowa wtyczka bananowa i gniazdo, dzięki czemu możliwy był łatwy demontaż cewki wtórnej, co pozwoliło swobodnie pracować nad urządzeniem.

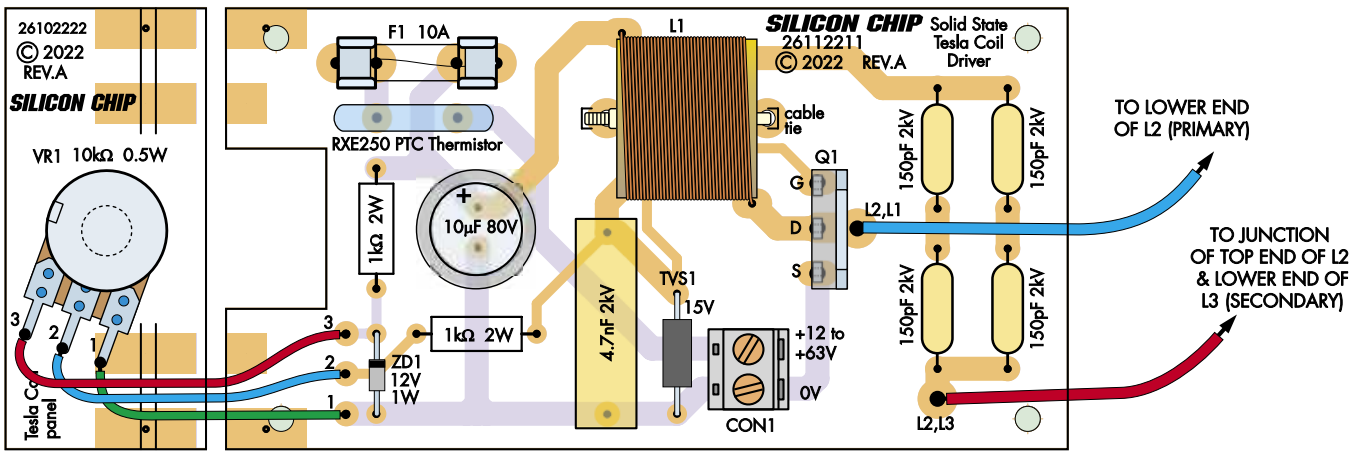
Połączenia z MOSFET-em są wykonane od spodu płytki (od strony lutowania). Przewody przechodzą przez otwory wywiercone w radiatorze i są zakończone trójbiegunowym zaciskiem śrubowym. MOSFET jest podłączony przez trójpozycyjne złącze śrubowe z wtyczką. Takie podejście można gorąco polecić, ponieważ jest dość prawdopodobne, że w pewnym momencie podczas testowania MOSFET zostanie uszkodzony. Zalecany jest ponadto zakup, na przykład, 10 tranzystorów, aby zapewnić sobie możliwość dalszego eksperymentowania.

Kształtka cewki pierwotnej (L2) oraz kształtka cewki wtórnej (L3) zostały przyklejone do podstawy z włókna szklanego FR-4 za pomocą dwuskładnikowej żywicy epoksydowej.

Wybór MOSFET-a

Zalecane jest użycie MOSFET-a IRFP260N, ale testowany był również IRFP460N. Jest to tranzystor o parametrach 500 V, 20 A (w porównaniu z 200 V, 50 A dla 260N). Urządzenie z tranzystorem IRFP260N działa bez zarzutu.

Podczas budowy i eksperymentowania testowane były trzy MOSFET-y IRFP260N i dwa



Rysunek 2. Płytka sterownika została zaprojektowana w oparciu o płytkę Flavio, którą wykonał na kawałku płytki dziurkowanej z materiału FR4. Jest ona dość prosta, ponieważ nie ma zbyt wielu elementów, ale ścieżki zostały poprowadzone w dużych odstępach od siebie, aby zapobiec wyładowaniom łukowym

eprasa.pl e016f8d744

IRFP460N, podczas tych prac dwukrotnie spaliła się cewka L1.

Testowanie

Przed kontynuowaniem prac należy upewnić się, czy przez cały czas zachowana jest bezpieczna odległość od cewki wtórnej, zwłaszcza odsłoniętego metalu na górze. Występujące w układzie napięcie przy tak wysokiej częstotliwości może spowodować poważne oparzenia RF. **Urządzenie należy zawsze włączać z potencjometrem ustawionym w lewym skrajnym położeniu.**

Jak wspomniano wcześniej, zalecane jest użycie zasilacza z ograniczeniem prądowym, który dostarcza napięcie około 32 V DC i prąd 3,0...3,5 A.

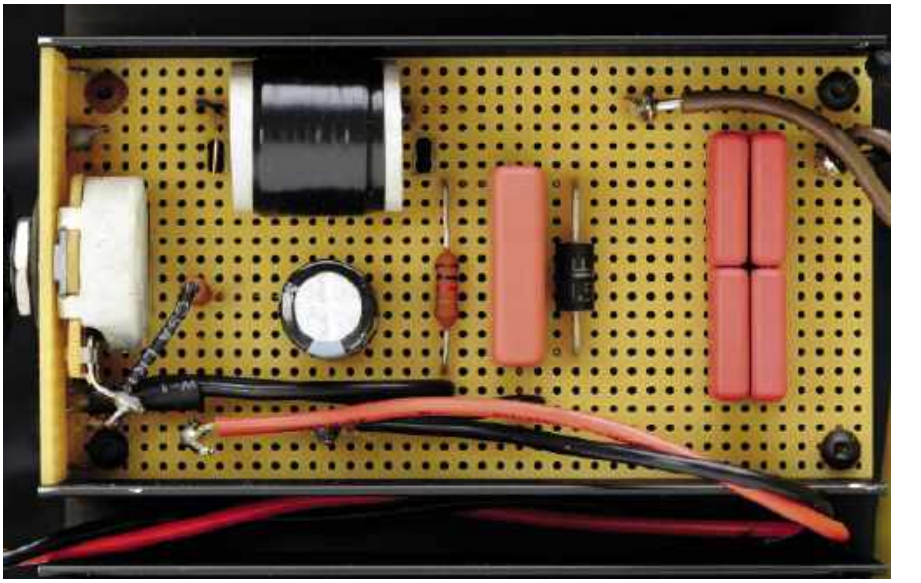
Początkowo można przetestować urządzenie bez cewki wtórnej. Umieszczamy małą lampę neonową w pobliżu uzwojenia pierwotnego (niepodłączoną elektrycznie) i włączamy zasilanie obwodu. Jeśli oscylacja przebiega prawidłowo, pole elektromagnetyczne spowoduje, że neon zapali się. Efekt ten jest widoczny na zdjęciu tytułowym. Trzeba pamiętać, że zanim cokolwiek się stanie, konieczne będzie nieznaczne przekręcenie w prawo suwaka potencjometru.

Teraz wyłączamy zasilanie i umieszczamy przewód wtórny w przewodzie pierwotnym. Po ponownym włączeniu zasilania można zaobserwować wyładowanie. Jeśli mamy kompaktową lampę fluorescencyjną (żarówka energooszczędna typu CFL), zbliżenie jej do cewki wtórnej powinno spowodować jej zaświecenie. I w tym przypadku zostanie ono wywołane polem EM.

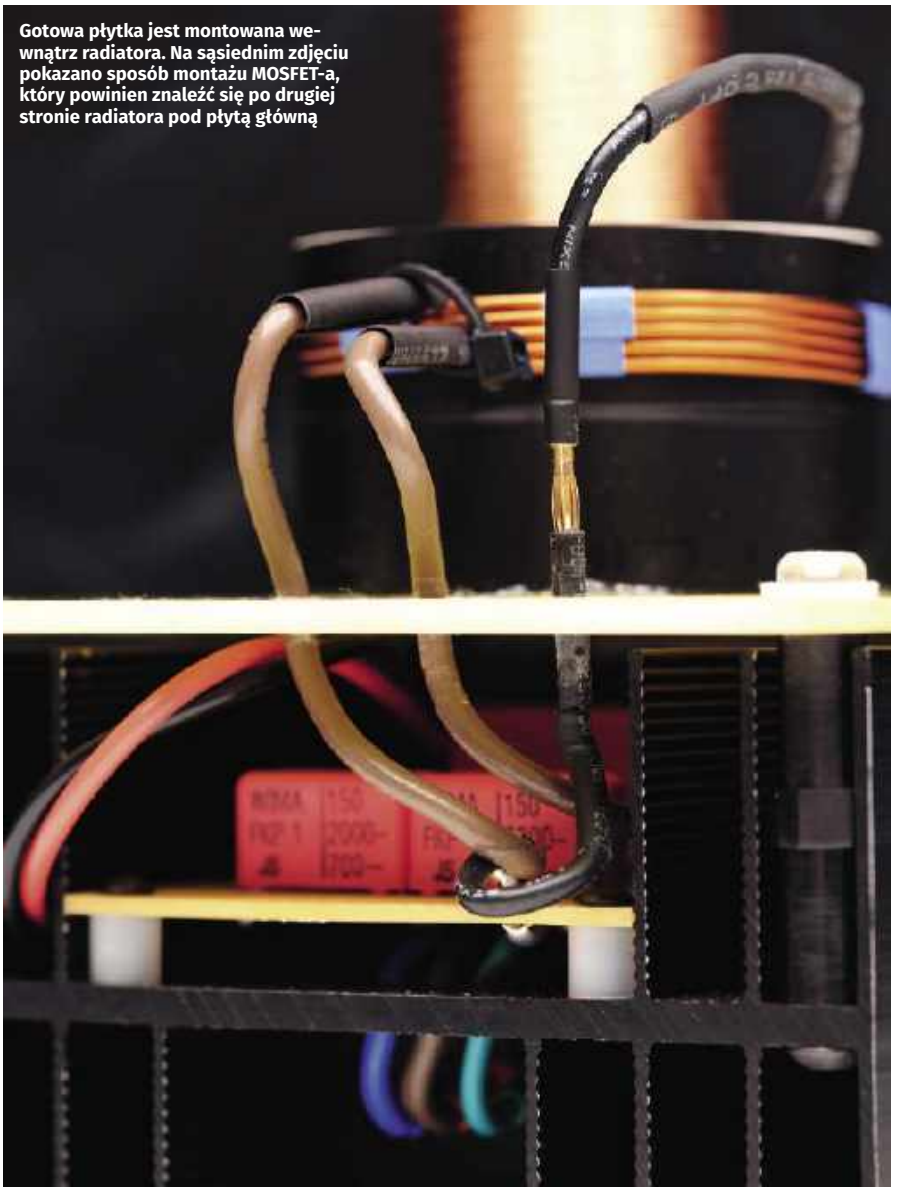
Działanie

Opisana Cewka Tesli charakteryzuje się dość dobrą stabilnością. Autor zasilał ją z zasilacza impulsowego Mean Well 48 V 5 A.

Aby uruchomić cewkę Tesli, należy powoli obracać potencjometrem, aż obwód



Prototyp cewki Tesli został zbudowany na płycie veroboard, ale warto skorzystać z dedykowanej płytki PCB dostępnej w sklepie internetowym Silicon Chip



Gotowa płytka jest montowana wewnątrz radiatora. Na sąsiednim zdjęciu pokazano sposób montażu MOSFET-a, który powinien znaleźć się po drugiej stronie radiatora pod płytą główną

eprasa.pl e016f8d744

Wykaz elementów

1 płytka dwustronna – kod PCB 26102221, 56 mm × 107 mm
1 płytka dwustronna – kod 26102222, 56 mm × 25,5 mm
1 Zasilacz 12...60 V DC/3...8 A z ograniczeniem prądu
1 termistor PTC 5 A (PTC1) [np. RXE250]
2 zaciski bezpiecznikowe M205 (F1)
1 szybki bezpiecznik ceramiczny 10 A (F1)
1 radiator z kołnierzami (zalecany Jaycar SY4085).
1 plastikowe pokrętło pasujące do potencjometru VR1 [Jaycar HK7010].
1 para czerwonych i czarnych kabli z wbudowanymi złączami typu bullet [Jaycar WC6018].
1 2-pinowy zacisk śrubowy z rozstawem 5,08 mm (CON1) [Jaycar HM3172].
1 3-pinowe pionowe złącze wtykowe [Jaycar HM3113, Altronics P2533].
1 3-pinowa wtykowa listwa zaciskowa i gniazdo pionowe [Jaycar HM3113+HM3123, Altronics P2533+P2513].
1 arkusz laminatu (FR-4) o wymiarach 120 mm × 100 mm × 3 mm z lub arkusz akrylowy (dla podstawy cewki)
1 rura PVC o średnicy wewnętrznej 20 mm i długości 25 mm (korpus dla L1)
1 rura PVC o wewnętrznej średnicy 55 mm i długości 35 mm (korpus dla L2)
1 rura PVC o wewnętrznej średnicy 25 mm i długości 106 mm (korpus dla L3)
1 łącznik PVC 25 mm (do montażu L3)
4 nylonowe podkładki dystansowe o długości 6 mm [Jaycar HP0930].
4 nylonowe podkładki dystansowe o długości 32 mm (gwintowane z gwintem M4) [Jaycar HP0988].
4 nylonowe śruby M4 × 10 mm [Jaycar HP0160].
4 podkładki nylonowe o średnicy wewnętrznej 4 mm [Jaycar HP0166].
4 śruby z łbem walcowym M4 × 10 mm
1 śruba z łbem walcowym M3 × 10 mm i płaska podkładka
1 śruba M4 × 12 mm ze stali nierdzewnej (do punktu przebicia)
1 mosiężna nakrętka kołpakowa M4 (do punktu przebicia)
1 15 m emaliowanego drutu miedzianego o średnicy 0,5 mm (dla uzwojenia L1 i L3) [Jaycar WW4016, Altronics W0405].
1 1m emaliowanego drutu miedzianego o średnicy 1,3 mm* (do nawijania L2)
1 opaska kablowa o długości 150 mm (do montażu L1)
różne długości i kolory izolowanego przewodu połączeniowego
klej epoksydowy (zalecany Loctite)
przezroczysty lakier poliuretanowy (do powlekania cewki wtórnej)
gwóźdź i patyczki do szaszłyków (do stworzenia narzędzia inicjującego wyładowanie)

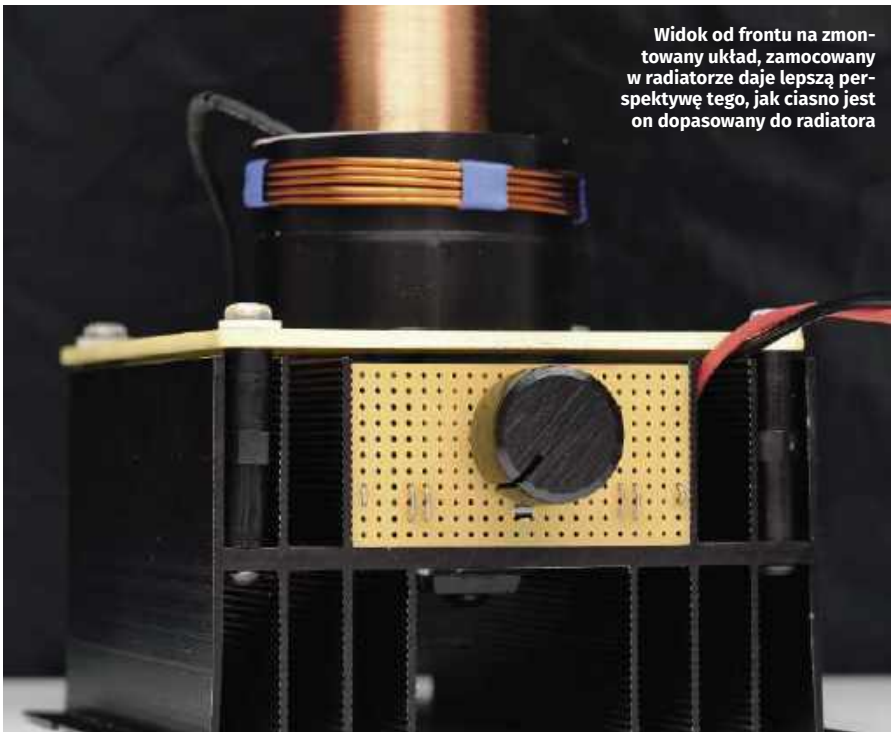
* Można zastosować ECW o średnicy 1,25 mm, ale konieczne może być wprowadzenie pewnych zmian w projekcie [Jaycar WW4024, Altronics W0409].

Półprzewodniki
1 MOSFET N-kanałowy IRFP260N* 200 V 50 A, TO-427AC (Q1) [Digi-Key IRFP260NPBF-ND, Mouser 942-IRFP260NPBF]
1 dioda Zenera 12 V 1 W (ZD1) [Jaycar ZR1412, Altronics Z0632, Digi-Key 1727-1946-1-ND, Mouser 512-1N4742A]
1 tłumik napięcia przejściowego (TVS) 1.5KE15CA 15 V 1500W [Digi-Key 1.5KE15CALFCT-ND, Mouser 603-1.5KE15CA/B]

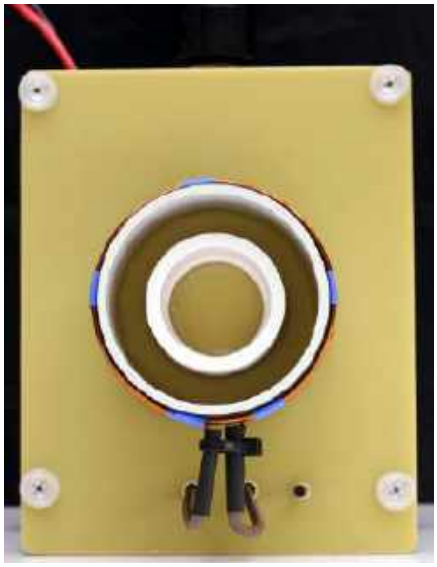
* Dobrym pomysłem jest zakup kilku tranzystorów, aby mieć zapas na wypadek awarii podczas testowania, IRFP460N o napięciu znamionowym 500 V, 20 A również działa

Kondensatory
1 10 µF 80 V+ elektrolityczny [Jaycar RE6078, Digi-Key 493-4781-1-ND, Mouser 647-UCA2W100MHD1TO]
1 4,7 nF 2 kV foliowy [Digi-Key 399-12555-ND, Mouser 80-R73UN14704000J]
4 150 pF 2 kV foliowy [Digi-Key 1928-1172-ND, Mouser 505-FKP1150/2000/10]

Rezystory
2 1 kΩ 2 W * 5% [Digi-Key A138277CT-ND, Mouser 279-RR02J1K0TB].
1 Potencjometr 10 kΩ 24 mm 1/2 W z plastikowym trzpieniem (VR1) [Digi-Key 450D103-3-ND].
* Zwiększenie mocy znamionowej dla napięć zasilania większych niż 48 V



Widok od frontu na zmontowany układ, zamocowany w radiatorze daje lepszą perspektywę tego, jak ciasno jest on dopasowany do radiatora



Układ sprzęgający dla dwóch cewek indukcyjnych (L2 i L3) widziany od góry cewki

zacznie pobierać prąd, a następnie stuknąć izolowaną końcówką metalową w nakrętkę kołpakową. Jest to konieczne, ponieważ Cewka nie wytworzy wyładowania samodzielnie.

W tym celu zostało przygotowane proste małe narzędzie zbudowane z patyczków i gwoździa. Gwóźdź został umieszczony między dwoma patyczkami, a całość jest zalana klejem epoksydowym. Aby uzyskać ładne wykończenie można nałożyć na patyczki rurkę termokurczliwą.

Próby rozpoczynamy od obrócenia potencjometru do około połowy i dotknięcia punktu wzbudzenia wspomnianym narzędziem. Jedną z zalet tego podejścia jest zminimalizowanie obciążenia cewki, które może spowodować zgaśnięcie łuku.

Umieszczenie na nakrętce kołpakowej odrobiny wodorowęglanu sodu sprawia, że płomień wygląda szczególnie interesująco

eprasa.pl e016f8d744

Autorowi udawało się uzyskiwać w swoim urządzeniu „płomień" o długości nieco ponad 5 cm, przy zasilaniu 32 V DC/3 A (96 W). Jeśli do dyspozycji jest oscyloskop, można ostrożnie badać przebieg na bramce tranzystora MOSFET. Pozwoli to sprawdzić częstotliwość oscylacji, która powinna wynosić około 7 MHz. Na **oscylogramie 1** widoczny jest przebieg na bramce MOSFET-a, który powinien być obserwowany podczas działania (wyładowań) cewki Tesli.

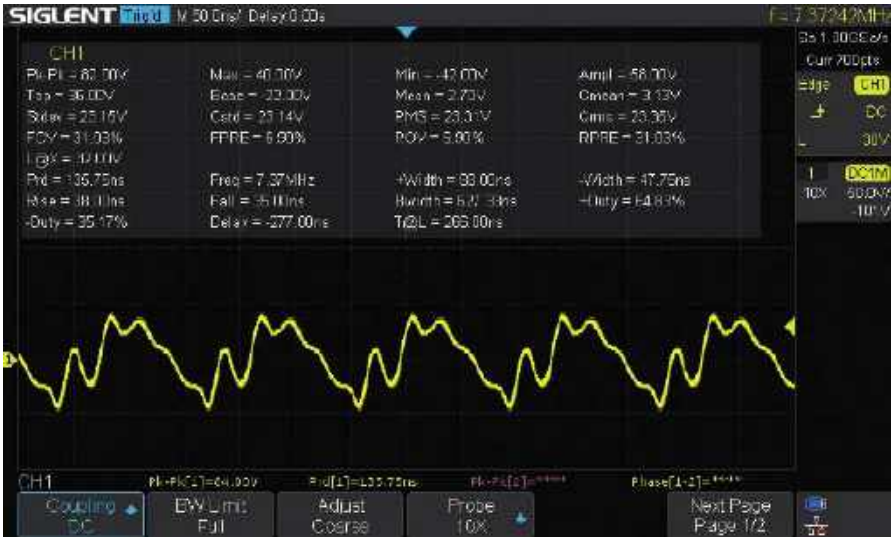
Należy zwrócić uwagę, że nie obserwujemy ani przebiegu prostokątnego ani sinusoidalnego, których można by oczekiwać. W układzie występują różnego rodzaju rezonanse oraz pasożytnicze pojemności i indukcyjności, które sprawiają, że przebieg wygląda nieco chaotycznie.

Przy częstotliwościach z jakimi mamy do czynienia w Cewce przebiegi obserwowane podczas włączania i wyłączania tranzystorów MOSFET mają znacznie złagodzone zbocza (mówimy, że mają kształt rampy). Jest to skutek występowania sprzężeń pojemnościowych. Tak więc kształt przebiegu pokazany na oscylogramie 1 nie jest niczym niezwykłym w przypadku przełączania z wysoką częstotliwością.

Możliwe jest uruchomienie cewki Tesli przy wyższych napięciach i poziomach mocy, do 60 V/8 A. Zalecane jest ostrożne eksperymentowanie, ponieważ przy wysokich poziomach mocy całą cewkę Tesli można dość łatwo uszkodzić.

Eksperymentowanie

Jednym z interesujących eksperymentów, które można przeprowadzić, jest umieszczenie niewielkiej ilości soli na elektrodzie. Spowoduje to palenie się płomienia w żywych kolorach.



Oscylogram 1. Przebieg na bramce tranzystora MOSFET Q1 względem masy zmierzony podczas wyładowań. Widać, że częstotliwość rezonansowa w tym stanie wynosi 7,37 MHz. Przebieg na bramce jest w przybliżeniu trapezoidalny. Pasożytnicze pojemności obwodu (a zwłaszcza te w tranzystorze MOSFET Q1) są znaczące przy częstotliwości przebiegu, nie można więc oczekiwać przebiegu o idealnym kształcie

Eksperymenty wykazały, że najlepszą solą jest po prostu niewielka ilość zwykłego wodorowęglanu sodu (proszku do pieczenia). Generuje on bardzo agresywny płomień, o mocnym żółtym kolorze (linie sodu-D).

Na koniec zasłużone podziękowania dla inżynierów z Coast Electric Industries (http://coastelectrical.com.au) i Illawarra Transformers w Wollongong. Ogromnie pomogli autorowi w tym i innych powiązanych projektach.

Referencje

Więcej informacji na temat cewek Tesli można znaleźć na stronie: https://w.wiki/4Mt6.

JavaTC to doskonałe i darmowe oprogramowanie wykorzystywane w projektowaniu cewek Tesli. Można je pobrać ze strony www.classictesla.com/java/javatc/javatc.html.

Teoria strojenia cewki Tesli jest opisana na stronie www.hvtesla.com/tuning.html (dotyczy bardziej klasycznych cewek, ale jest też istotna dla pomiaru wtórnej częstotliwości rezonansowej w tym projekcie).

Strona internetowa autora: www.nightlase.com.au. Strona tego projektu: www.nightlase.com.au/?pg=hfsstc.

Film przedstawiający działanie cewki Tesli autora można pobrać ze strony: www.nightlase.com.au/?pg=hfsstc#HFSSTC-Videos. ■

Flavio Spedalieri's

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

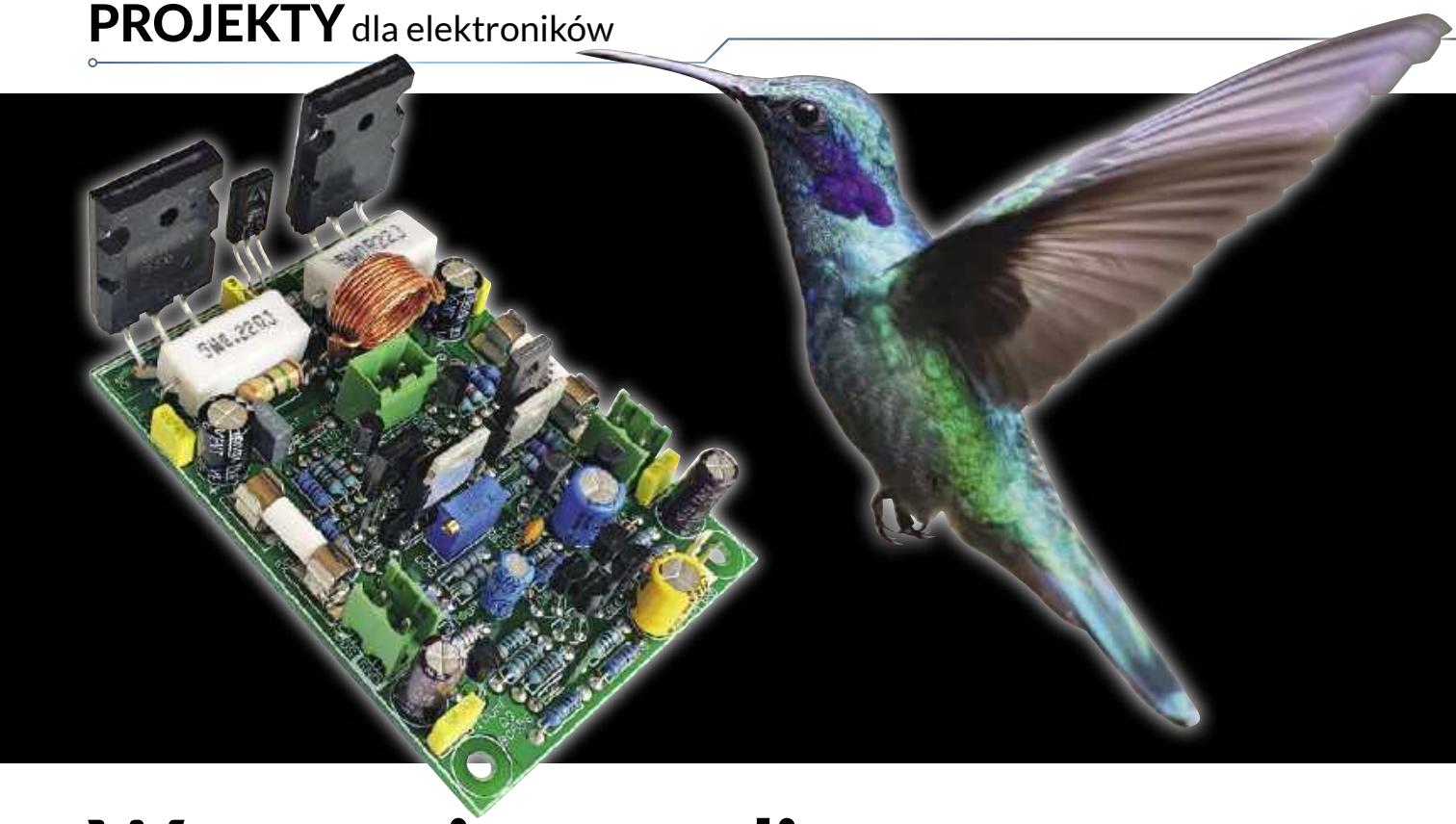
REKLAMA

Publikujemy dla projektantów i programistów elektroniki

ELPORTAL.pl

Znajdziesz nas również na Facebooku: facebook.com/ElportalPL

eprasa.pl e016f8d744



Wzmacniacz audio Hummingbird

Materiały dodatkowe dostępne są na stronie Silicon Chip: https://tiny.pl/d455k
Materiały dodatkowe są również dostępne na stronie elportal.pl/do-pobrania

Opisany w artykule wzmacniacz, podobnie jak koliber, jest miniaturowy i mocny. Dostarcza moc do 60 W przy zastosowaniu głośników 8 Ω lub 100 W dla głośników 4 Ω. Jest idealny do budowy wielokanałowych wzmacniaczy używanych w aplikacjach dźwięku przestrzennego lub w systemach nagłaśniania z aktywną zwrotnicą. Jego pierwowzorem była opracowana wcześniej przez autora rodzina wzmacniaczy Ultra-LD.

Czytelnicy często pytają o porady dotyczące budowy wzmacniaczy z więcej niż dwoma kanałami. Przez lata powstało wiele projektów modułów wzmacniaczy hi-fi, ale zostały one zaprojektowane głównie z myślą o maksymalnej mocy i minimalnych zniekształceniach. W jednej obudowie zmieszczą się co najwyżej dwa takie moduły (chyba że będzie ona bardzo ogromna).

W opublikowanych projektach wzmacniaczy były zastosowane układy scalone typu „wszystko w jednym", takie jak LM1875T. Stanowią one zawsze pewien kompromis, zarówno pod względem maksymalnej mocy wyjściowej (zwykle osiągającej około 30...40 W), jak i innych parametrów, ze zniekształceniami i szumami znacznie gorszymi niż w przypadku wzmacniacza dyskretnego.

Konstrukcja opisana w artykule oferuje doskonały kompromis między tymi dwoma cechami. Jest tańsza i łatwiejsza w budowie niż najlepsze wzmacniacze hi-fi autora, a jednocześnie zapewnia dużą moc i bardzo dobrą wydajność. A ponieważ jest kompaktowa i ma skromne wymagania dotyczące zasilania, można z łatwością umieścić pół tuzina (lub więcej!) takich wzmacniaczy w obudowie o rozsądnych rozmiarach.

Wzmacniacze zostały zaprojektowane z myślą o sterowaniu wielodrożnych systemów głośnikowych przy użyciu aktywnej zwrotnicy rozdzielającej sygnały na zakresy częstotliwości odpowiednie dla każdego głośnika. Takie podejście wymaga jednego wzmacniacza dla każdego głośnika

Cechy:
- Niski zniekształcenia i szumy
- Niezwykle kompaktowa płytka drukowana
- Mieści się pionowo na radiatorze 75 mm i może być ułożony w obudowie 2RU
- Wytwarza określoną moc wyjściową w sposób ciągły z pasywnym chłodzeniem
- Wszystkie części montowane techniką przewlekaną
- Niski koszt, prosta budowa
- Wbudowane bezpieczniki prądu stałego
- Zabezpieczenie nadprądowe i przeciwzwarciowe wyjścia
- Łagodne wychodzenie z przeciążenia z niskim poziomem dzwonienia
- Czysta odpowiedź fali prostokątnej z minimalnym poziomem dzwonienia
- Odporność na zakłócenia EMI
- Regulacja prądu spoczynkowego z kompensacją temperatury

eprasa.pl e016f8d744

(niskotonowego, wysokotonowego itp.), przy czym generalnie tak duża moc każdego kanału nie jest potrzebna, ponieważ współpracują one ze sobą.

Początkowo zakładane było użycie małych, niedrogich modułów wzmacniaczy klasy D, które mogłyby dostarczyć 30...50 watów mocy. Po dość długich poszukiwaniach okazało się, że nie ma elementów łatwo dostępnych o zniekształceniach odpowiednich dla sprzętu hi-fi. Wiele mniejszych wzmacniaczy klasy D wykazuje zniekształcenia dla wysokich częstotliwości powyżej 0,5%, czyli gorzej niż wiele przyzwoitych głośników!

Punktem odniesienia dla tego projektu był wzmacniacz Ultra-LD Mk.4 (sierpień-październik 2015; *siliconchip.com.au/Series/289*). Niestety, wzmacniacz ten był za duży i , z tego powodu, nie spełniał założeń projektu. Nie byłoby możliwe umieszczenie sześciu takich wzmacniaczy w jednej obudowie z zasilaczem. Konieczne więc było jak największe zmniejszenie projektu, bez podejmowania zbyt wielu kompromisów.

Rezultatem jest moduł wzmacniacza Hummingbird, który, jak na swoje wymiary, ma zaskakująco dużą moc, zachowując jednocześnie niskie zniekształcenia wzmacniaczy Ultra-LD. Można z niego uzyskać do 60 W przy impedancji 8 Ω lub 100 W przy impedancji 4 Ω przy zniekształceniach poniżej 0,0008% dla 1 kHz i poniżej 0,008% aż do 20 kHz. To znacznie lepiej niż „jakość CD".

Specyfikacja:

- Moc wyjściowa (zasilanie ±32 V): 100 W RMS przy 4 Ω, 60 W RMS przy 8 Ω
- Pasmo przenoszenia (–3 dB): od 1 Hz do 150 kHz
- Stosunek sygnału do szumu: 118 dB w odniesieniu do 50 W przy 4 Ω
- Czułość wejściowa: 1,2 V RMS dla 60 W przy 8 Ω; 1,04 V RMS dla 100 W przy 4 Ω
- Impedancja wejściowa: 22 kΩ || 1 nF
- Całkowite zniekształcenia harmoniczne (8 W, ±32 V): <0,008%, 20 Hz...20 kHz, pasmo przenoszenia 50 kHz, 32 W (patrz rysunki 2 i 6)
- Stabilność: bezwarunkowo stabilny przy dowolnym nominalnym obciążeniu głośnika >=4 Ω
- Zasilanie: ±20 V...40 V DC, najlepiej ±34 V DC z transformatora 25-0-25
- Prąd spoczynkowy: nominalnie 53 mA
- Moc spoczynkowa: nominalnie 4 W
- Offset wyjściowy: typowo <20 mV (zmierzony)

Projekt

Sama płytka drukowana wzmacniacza Hummingbird różni się dość znacznie od serii Ultra-LD, porównanie schematów obwodów (**rysunek 7**) pokaże jednak, jak wiele podobieństw istnieje między obydwoma wzmacniaczami.

Główne zmiany to:

- Zastosowanie tylko jednej pary tranzystorów wyjściowych zamiast dwóch.
- Użycie tańszych tranzystorów wyjściowych NJW21193/4.
- Maksymalne napięcia linii zasilających spadły z ±57 V do ±40 V.
- Szerokość płytki drukowanej została zmniejszona ze 135 mm do 64 mm, czyli o połowę.
- Uproszczenie pozwala używać wyłącznie komponentów do montażu przewlekanego.

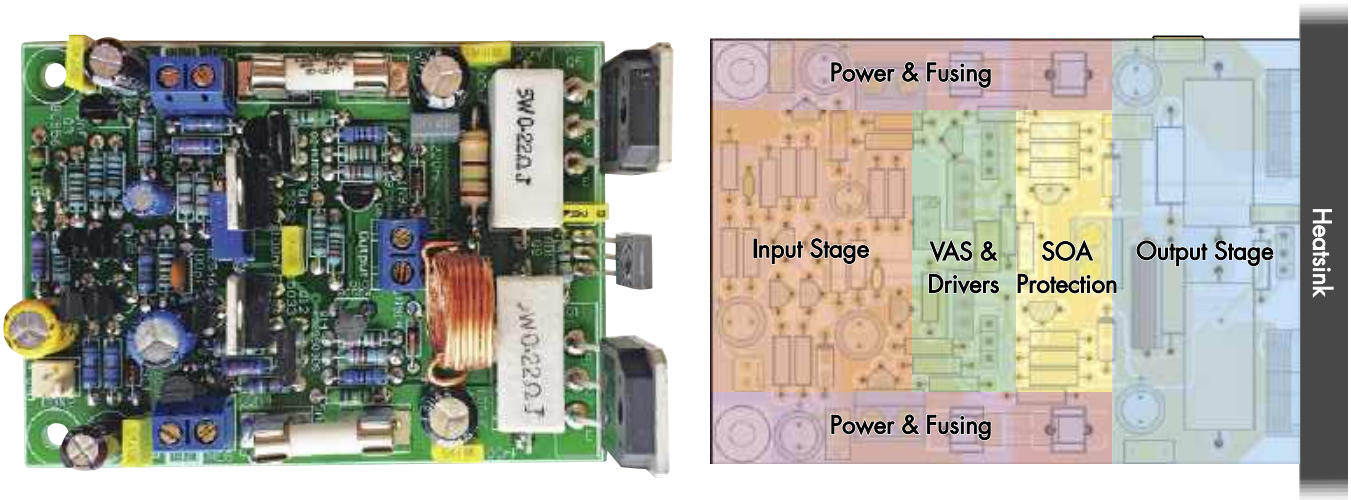
Szerokość płytki drukowanej jest określona przez dwa tranzystory wyjściowe i tranzystor kompensacji temperaturowej. Jest również idealne dopasowana do rezystorów emiterowych wymaganych dla stabilnego punktu pracy.

Pomimo stosunkowo dużych rozmiarów bezpieczników na wejściu zasilania zostały one w tej konstrukcji zastosowane. Stanowią ważną funkcję ochronną dla wzmacniacza na wypadek wystąpienia sytuacji awaryjnej.

Zabezpieczenie SOA (*Safe Operating Area* – bezpieczny obszar pracy) jest ściśle połączone ze stopniem wyjściowym i znajduje się pomiędzy nim a wzmacniaczem napięcia (Voltage Amplifier – VAS). VAS i sterownik są następne – znajdują się między bezpiecznikami zajmując niewiele miejsca. Na końcu płytki znajduje się stopień wejściowy. Rozmieszczenie poszczególnych sekcji wzmacniacza na płytce drukowanej pokazano na **rysunku 1**.

Ponieważ używany jest tylko jeden tranzystor wyjściowy na stronę, został on wybrany tak, aby zapewniał duży bezpieczny obszar pracy (SOA). Niełatwo by było znaleźć tranzystory bardziej wytrzymałe niż NJW21193G/NJW21194G (lub ich mocniejsza odmiana MJL21193/4). Charakteryzują się one prądem znamionowym 16 A, napięciem 250 V i mocą 200 W.

Do wzmacniacza zostało dodane zabezpieczenie wyjściowe SOA, które monitoruje



Rysunek 1. Ilustracja płytki drukowanej wzmacniacza Hummingbird jest w 90% naturalnej wielkości i pokazuje przeznaczenie każdego zestawu komponentów. Stopień wejściowy jest odpowiedzialny za ustawienie wzmocnienia i eliminację zniekształceń, podczas gdy VAS i sterowniki buforują sygnał ze stopnia wejściowego, aby zapewnić odpowiednie wysterowanie tranzystorów wyjściowych. Obwód zabezpieczający SOA utrzymuje tranzystory wyjściowe w ich „bezpiecznych obszarach pracy"

eprasa.pl e016f8d744

prąd i napięcie wyjściowe, i wyłącza wyjście w przypadku zwarcia lub poważnego przeciążenia. Chroni to wzmacniacz przed wszystkimi, z wyjątkiem najgorszych przypadków.

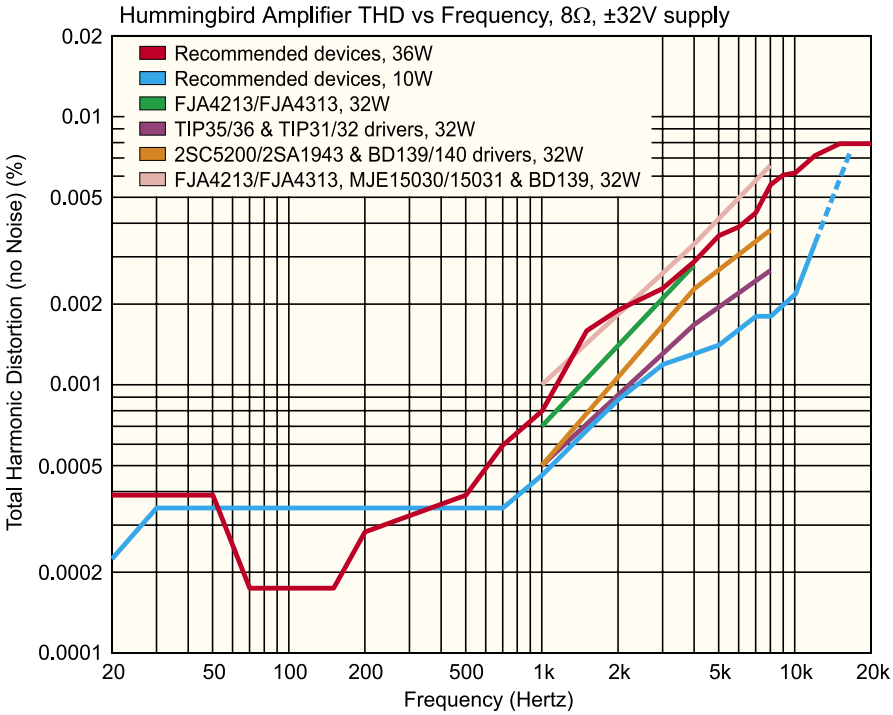
Obliczenia potwierdziły, że użycie transformatora sieciowego o napięciu wtórnym 25...30 V AC zapewniającego napięcie linii ±35...42 V byłoby bezpieczne dla pojedynczej pary tranzystorów wyjściowych z obciążeniem 4 Ω, 6 Ω lub 8 Ω, dostarczając moc 60 W do obciążeń 8 Ω i 100 W do obciążeń 4 Ω. W przypadku transformatora 25 V wartość ta zmniejsza się nieznacznie do 50 W na 8 Ω.

Pozostała część projektu wzmacniacza nie odbiega zbyt daleko od konstrukcji serii Ultra-LD. Wynika to z faktu, że topologia wzmacniacza Ultra-LD, który został uznany przez Douglasa Selfa jako „nienaganny", po prostu działa. Innowacja w tym projekcie polega bardziej na uproszczeniu i minimalizacji konstrukcji.

Bez wątpienia użycie elementów SMD pozwoliłoby zmniejszyć upakowanie płytki PCB. Mimo to, możliwe jest zmieszczenie wszystkich wymaganych elementów przewlekanych na powierzchni zaledwie 88 mm na 64 mm. Płytka z łatwością zmieści się umieszczając ją na boku w standardowej obudowie o wysokości 2RU, a montaż nie jest szczególnie trudny.

Osiągi

Prototypy wzmacniaczy o mocy 10 W i 35 W z obciążeniem 8 Ω zostały zmierzone w celu określenia całkowitych zniekształceń harmonicznych (THD). Były one zasilane z zasilacza stacjonarnego, pokazanego na **rysunku 2**. Podczas pomiaru wzmacniacza 35 W przy użyciu dostępnego sprzętu pomiarowego konieczne było zastosowanie tłumika 40 dB. Pomiary z mocy 10 W wymagały jedynie tłumika 20 dB. Dlatego też wyniki zniekształceń przy 10 W wyglądają znacznie lepiej niż przy 35 W.



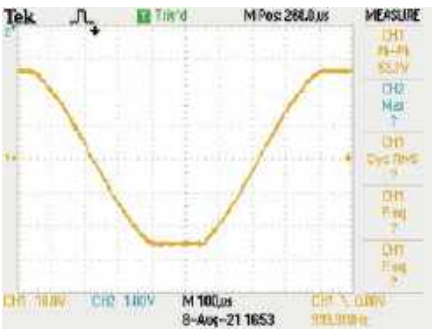
Rysunek 2. Wykresy całkowitych zniekształceń harmonicznych (minus szum) dla wzmacniacza Hummingbird dla dwóch różnych poziomów mocy: 36 W (czerwony) i 10 W (niebieski). Pozostałe krzywe pokazują wyniki testów z różnymi kombinacjami tranzystorów wyjściowych, tranzystorów sterujących i, w jednym przypadku, innego tranzystora VAS (BD139, różowa krzywa). Niezależnie od wybranych elementów, osiągi wzmacniacza są całkiem dobre

Biorąc pod uwagę, że kształty obu krzywych są bardzo podobne, prawdopodobne jest, że rzeczywiste osiągi wzmacniacza są bliższe wartościom 10 W, nawet dla maksymalnej mocy wyjściowej 60 W. Można śmiało powiedzieć, że wzmacniacz odznacza się bardzo niskim poziomem zniekształceń. Przy mocy 10 W, THD wynosi poniżej 0,002% w niemal całym zakresie audio.

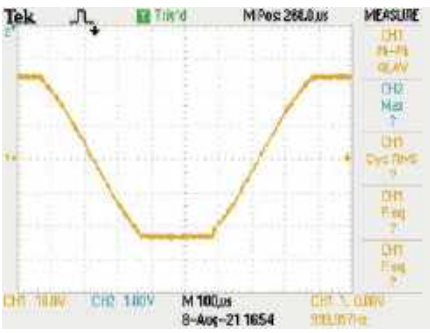
Należy zauważyć, że na rysunku 2 zostały pokazane również częściowe krzywe zniekształceń dla różnych alternatywnych tranzystorów wyjściowych/sterujących/VAS. Opcje te zostaną wyjaśnione później.

Zbadane zostało również zachowanie się wzmacniacza w zakresie obcinania sygnału. Najczęstszym problemem jest „zacinanie się" wyjścia, gdy wzmacniacz wychodzi z obcinania ujemnej linii zasilającej, gdy tranzystor VAS wychodzi z nasycenia. Hummingbird wykazuje w tym zakresie korzystne cechy, co pokazano na **rysunkach 3** i **4**.

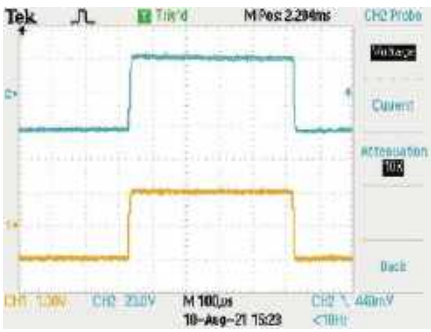
Kolejny pomiar polegał na sprawdzeniu zachowania się wzmacniacza podczas sterowania go sygnałem prostokątnym. Wynik tego testu został pokazany na **rysunku 5**. Jak widać, w sygnale wyjściowym nie występują przeregulowania, a niedostosowanie jest minimalne.



Rysunek 3. Oscylogram przebiegu wyjściowego wzmacniacza z obciążeniem rezystancyjnym 8 Ω, w stanie obcinania sygnału. Widać, że linia ujemna jest nieco „przyklejona", gdy wychodzi z obcinania, ale nie na tyle, aby się tym przejmować

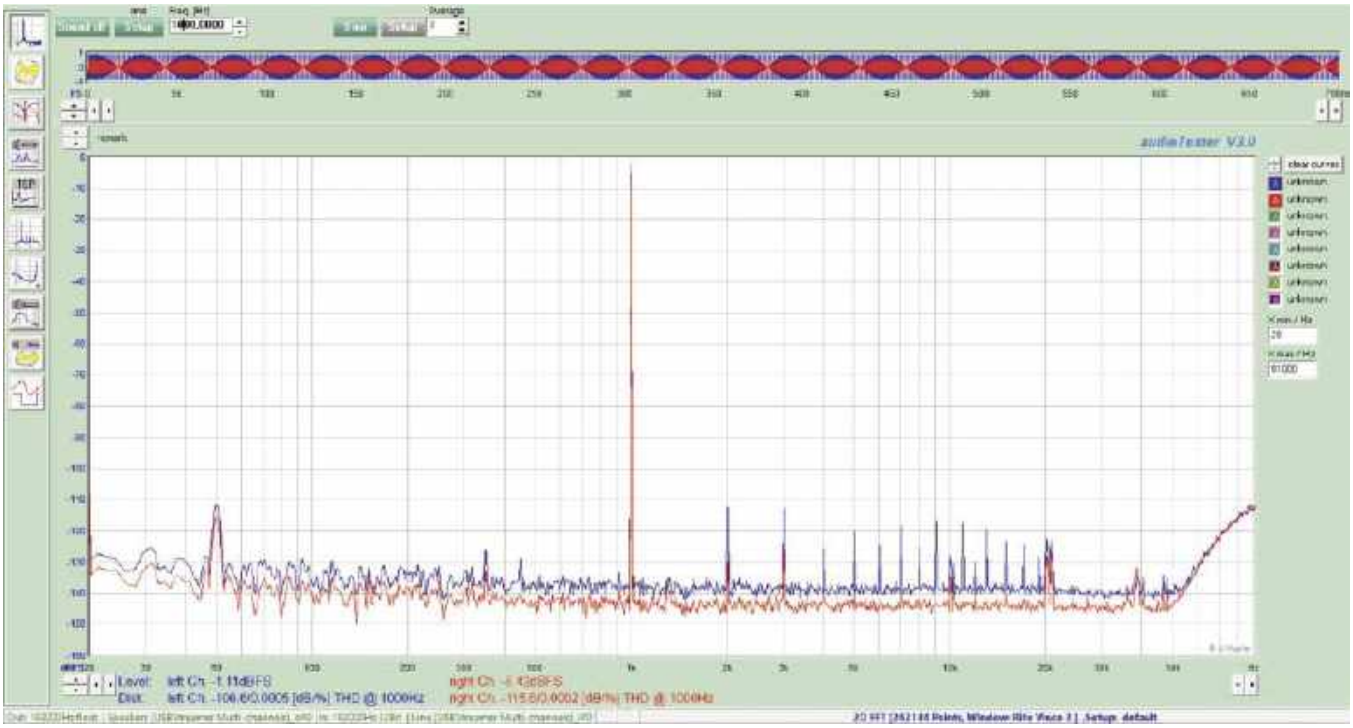


Rysunek 4. Tym razem wzmacniacz został doprowadzony do przesterowania przy obciążeniu rezystancyjnym 3 Ω, co odpowiada najgorszej sytuacji, z jaką będzie musiał sobie poradzić podczas sterowania prawdziwego głośnika 4 Ω (nominalnie). Po raz kolejny powrót do stanu wyjściowego po przesterowaniu jest poprawny



Rysunek 5. Sygnał fali prostokątnej (pomarańczowy) podany do wzmacniacza Hummingbird z rezystancyjnym obciążeniem wyjścia 3 Ω. Wzmacniacz poradził sobie z tym bardzo dobrze, bez żadnych oznak przesterowania lub niedosterowania

eprasa.pl e016f8d744



Rysunek 6. Jeden z wielu wykresów częstotliwościowych, które zostały zmierzone w ramach testów prototypu. Odczyty THD sygnałów wejściowych (czerwony) i wyjściowych (niebieski) są widoczne na dole. Można również zobaczyć wszystkie harmoniczne obu sygnałów w środkowym obszarze. Sygnał testowy ma częstotliwość 1 kHz, więc pierwsza harmoniczna ma częstotliwość 2 kHz, trzecia 3 kHz itd. Sygnał wyjściowy wzmacniacza został przepuszczony przez tłumik 40 dB, co zmniejszyło poziom podstawowy do –15 dB i obniżyło zmierzony poziom szumów do poziomu przyrządu pomiarowego

Dużo informacji o testowanym urządzeniu dostarczają zawsze pomiary widma. Na **rysunku 6** przedstawiono jeden z wykresów widmowych wykonanych podczas zbierania danych do pomiarów z rysunku 2. Lewy kanał jest podłączony do wyjścia wzmacniacza poprzez tłumik, podczas gdy prawy kanał monitoruje sygnał podawany do wejścia wzmacniacza. Jak widać, zniekształcenia na wyjściu są niewiele wyższe od sygnału wejściowego, a druga i trzecia harmoniczna są mniej więcej równe i wynoszą około –110 dB.

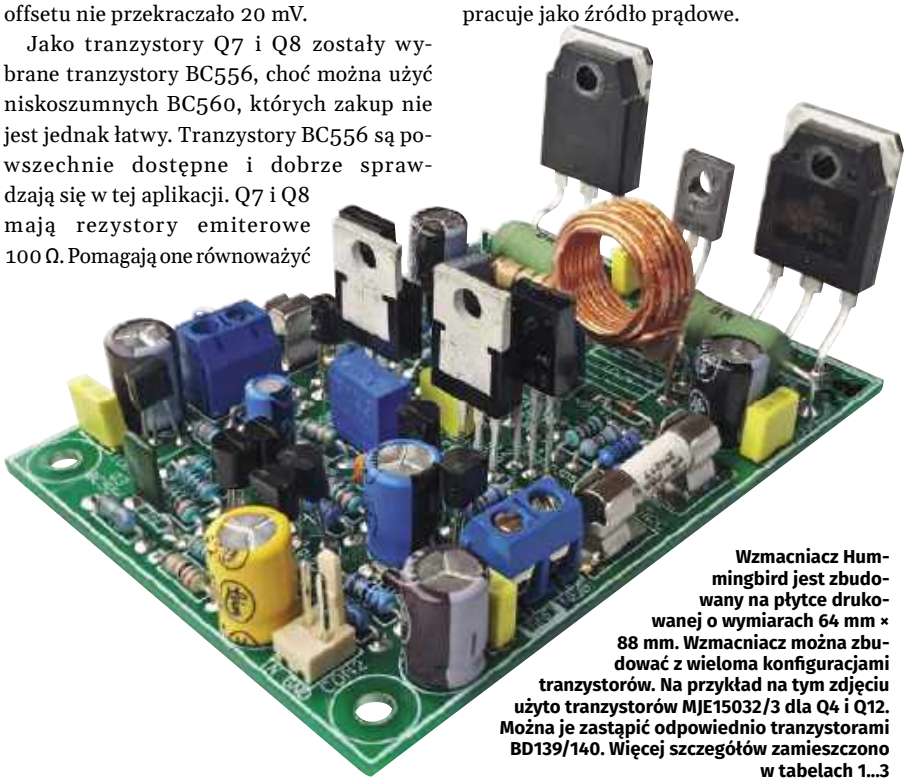
Opis układu

Schemat ideowy wzmacniacza Hummingbird został przedstawiony na **rysunku 7**. Rezystor 220 kΩ pozwala uniknąć stanów nieustalonych na wejściu CON2. Sygnał ten przechodzi dalej przez kondensator bipolarny 10 μF i rezystor 100 Ω, a następnie jest bocznikowany do niskoszumowej masy kondensatorem 1 nF i rezystorem 22 kΩ. Masa niskoszuowa jest połączona z masą wyjściową rezystorem 10 Ω. Kombinacja elementów 10 μF i 22 kΩ na wejściu ustawia dolną częstotliwość 3-decybelową poniżej 1 Hz.

Rezystor wejściowy 22 kΩ jest dobrany tak, aby był dopasowany do rezystora sprzężenia zwrotnego 22 kΩ, a także, aby każda strona wzmacniacza różnicowego utworzonego przez tranzystory PNP Q7 i Q8 miała dopasowaną impedancję wejściową. Zakładając, że tranzystory te mają równy prąd płynący przez każdą nóżkę i podobne wzmocnienie h_{FE}, napięcia offsetowe na bazach Q7 i Q8 będą mniej więcej takie same. Powinno to zapewnić niskie napięcie offsetu na wyjściu wzmacniacza. W prototypach zmierzone napięcie offsetu nie przekraczało 20 mV.

Jako tranzystory Q7 i Q8 zostały wybrane tranzystory BC556, choć można użyć niskoszumnych BC560, których zakup nie jest jednak łatwy. Tranzystory BC556 są powszechnie dostępne i dobrze sprawdzają się w tej aplikacji. Q7 i Q8 mają rezystory emiterowe 100 Ω. Pomagają one równoważyć układ i zapewniają wysoką liniowość wzmacniacza różnicowego. Zmniejsza to jego wrażliwość na zmiany tranzystora i temperatury.

Prąd polaryzacji stopnia wejściowego wynosi 3 mA. Jest on ustawiany rezystorem 220 Ω w emiterze tranzystora PNP Q3, który pracuje jako źródło prądowe.



Wzmacniacz Hummingbird jest zbudowany na płytce drukowanej o wymiarach 64 mm × 88 mm. Wzmacniacz można zbudować z wieloma konfiguracjami tranzystorów. Na przykład na tym zdjęciu użyto tranzystorów MJE15032/3 dla Q4 i Q12. Można je zastąpić odpowiednio tranzystorami BD139/140. Więcej szczegółów zamieszczono w tabelach 1...3

eprasa.pl e016f8d744

Kolektory tranzystorów wzmacniacza różnicowego zasilają lustro prądowe utworzone przez tranzystory NPN Q15 i Q16. Zasada działania lustra prądowego polega na założeniu, że przy dopasowanym zestawie tranzystorów w tej samej temperaturze, zależność U_{BE} (napięcie baza-emiter) w odniesieniu do prądu będzie taka sama. Tak więc łącząc bazy Q15 i Q16 i umieszczając tę samą rezystancję w ich obwodach emiterowych, jeśli przepuścimy 1,5 mA przez Q16, to Q15 będzie podobnie starał się przewodzić prąd 1,5 mA, ponieważ ma to samo napięcie baza-emiter. Zastosowanie lustra prądowego powoduje, że, że przez tranzystory pary różnicowej Q7 i Q8 płynie taki sam prąd. Można zatem powiedzieć, że mamy do czynienia z liniowym wzmacniaczem różnicowym.

Wyjściem wzmacniacza różnicowego jest prąd, który płynie do bazy tranzystora NPN Q13. Jeśli napięcie na wyjściu wzmacniacza jest wyższe niż na wejściu, napięcie na bazie tranzystora Q8 wzrasta. Skutkiem tego jest zmniejszenie prądu płynącego do tranzystora Q16. Ponieważ lustro prądowe „próbuje" wymusić przepływ jednakowego prądu przez tranzystory Q15 i Q16, zatem nadmiarowy prąd płynie do bazy tranzystora Q13.

Q13 stanowi część pary tranzystorów w konfiguracji quasi Darlingtona z Q14, która ostatecznie steruje wyjściem wzmacniacza. Tranzystory te razem tworzą stopień wzmacniacza napięcia (VAS). Przekształca on prąd z przedniego stopnia w napięcie.

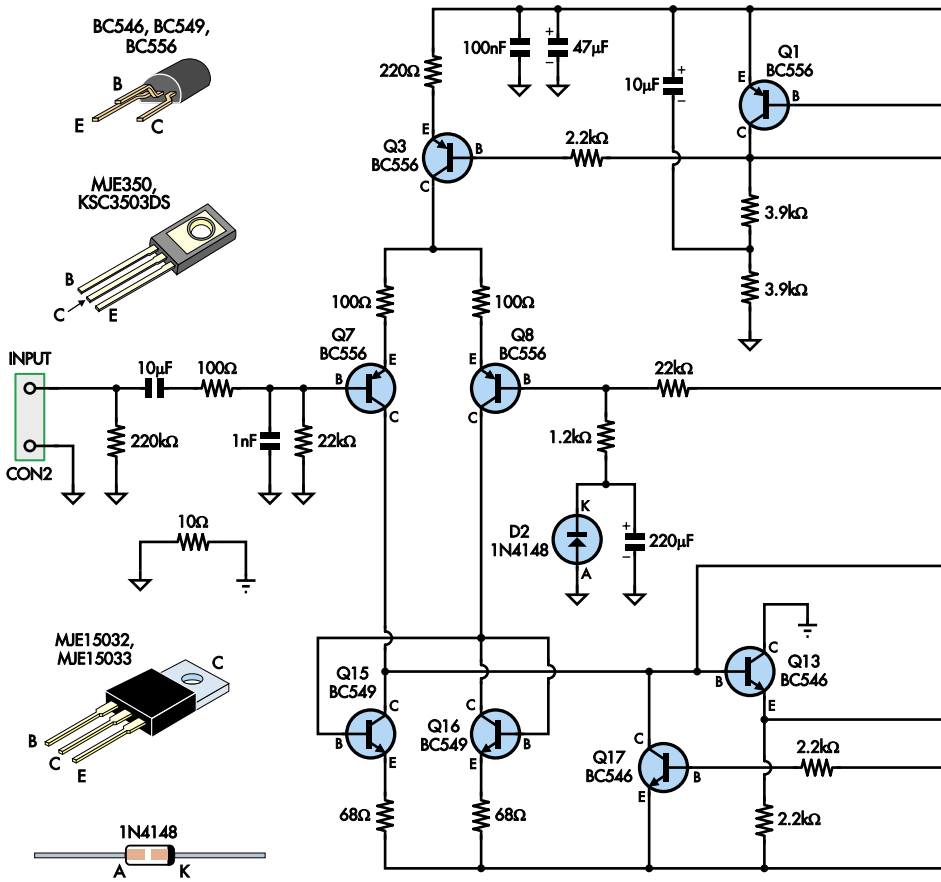
Q14 to tranzystor KSC3503DS, który jest przeznaczony do tego rodzaju zastosowań. Można go nabyć w sklepach Mouser, Digi-Key, element14, RS itp. Tranzystor VAS musi mieć bardzo niską pojemność C_{OB} lub wyjściową. Obecnie takich elementów nie produkuje się zbyt wiele, najprawdopodobniej dlatego, że najlepsze tranzystory VAS były również tranzystorami wzmacniaczy wideo do monitorów opartych na kineskopach (CRT), które odeszły do lamusa. W przeszłości we wzmacniaczach były stosowane tranzystory wideo BF469, ale obecnie są one już przestarzałe.

Obciążenie VAS to stały prąd z tranzystorów PNP Q1 i Q2, który jest ustawiony na około 8 mA, plus prąd wymagany do wysterowania stopnia wyjściowego.

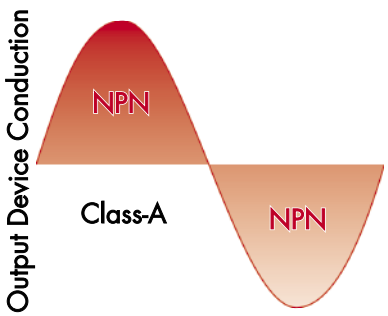
Pomiędzy Q2 i Q14 znajduje się tranzystor NPN Q9 i jego rezystory polaryzujące bazę. Tworzy to prosty „mnożnik U_{BE}", który pozwala ustawić napięcie między bazami stopnia wyjściowego a tranzystorami sterującymi Q4, Q5, Q11 i Q12. Są one ułożone w standardowych parach w układzie wtórników emiterowych.

Aby uzyskać dobrą wydajność, wzmacniacz musi pracować w klasie AB, w której zarówno dodatnie (NPN), jak i ujemne (PNP) tranzystory wyjściowe przewodzą dla napięć wyjściowych wokół punktu przecięcia 0 V, jak to pokazano na **rysunku 8**. Wzmacniacz powinien być polaryzowany tak, aby w stanie spoczynku pobierał prąd około 50 mA, ponieważ zapewnia to najlepszą liniowość stopnia wyjściowego w pobliżu punktu odcięcia. Aby to osiągnąć, należy ustawić „stałe" napięcie polaryzujące cztery złącza baza-emiter na poziomie nieco powyżej ich napięcia włączenia (około 0,6 V każde), co daje łącznie około 2,4 V. Ale napięcia progowe baza-emiter Q4, Q5, Q11 i Q12 zmieniają się wraz z temperaturą, więc Q9 jest zamontowany na tym samym radiatorze co Q5 i Q11, a Q9 jest używany do mnożenia własnego napięcia U_{BE} za pomocą stałego rezystora 390 Ω i potencjometru VR1. W ten sposób napięcie polaryzacji będzie śledzić napięcia U_{BE} tych dwóch tranzystorów, zapewniając w większości stały prąd polaryzacji.

Po prawidłowym przeprowadzeniu regulacji potencjometr VR1 będzie miał rezystancję około 130 Ω. Napięcie baza-emiter tranzystora

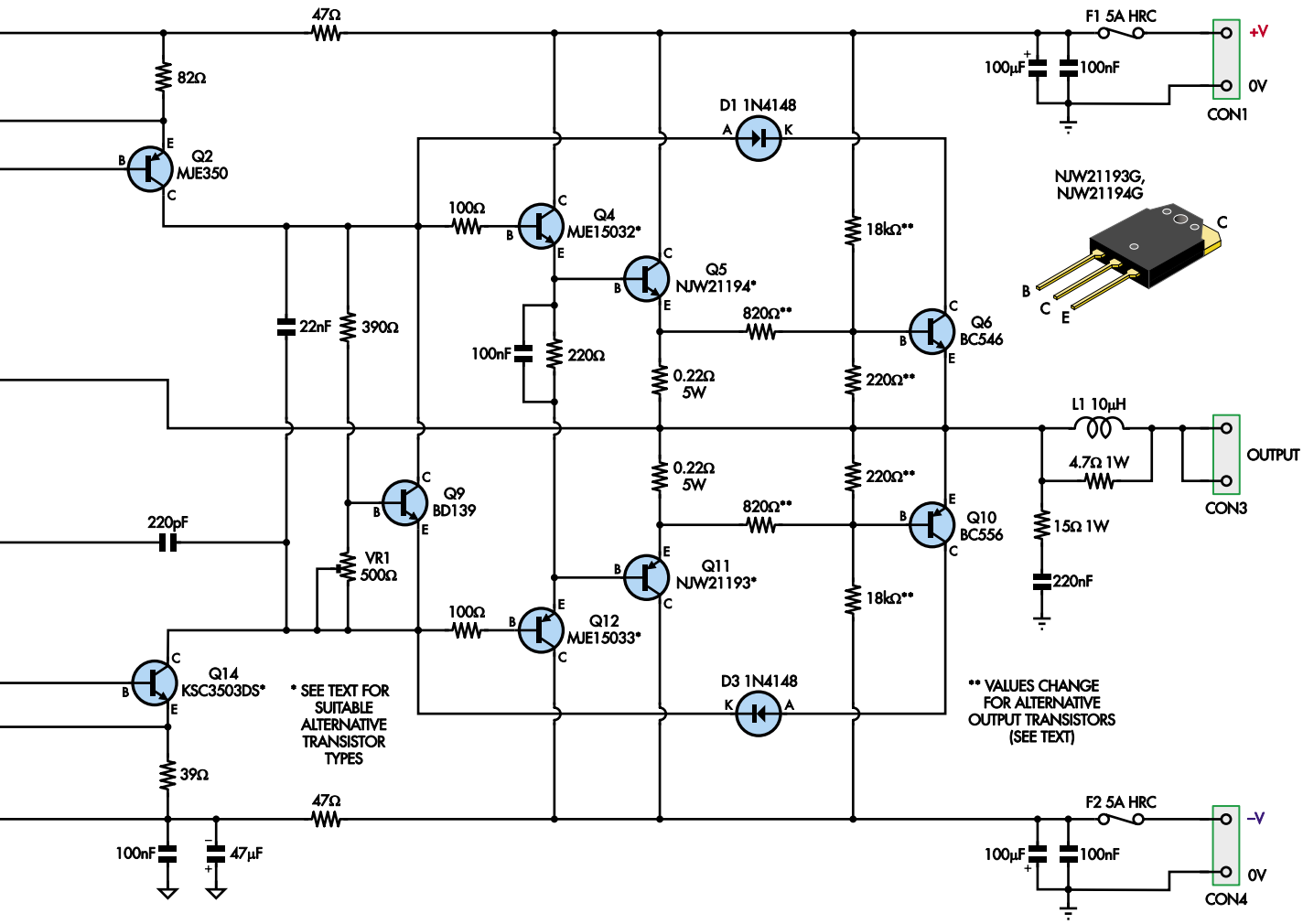


Rysunek 7. Układ wzmacniacza Hummingbird jest dość typowy, choć nieco minimalistyczny. Ma wiele wspólnego z wcześniej opublikowanymi wzmacniaczami o większej mocy, takimi jak SC200 i Ultra-LD. Należy zwrócić uwagę na tranzystor NPN Q17, który został dodany w celu ochrony Q14 podczas ujemnych skoków obcinania, i tranzystory zabezpieczające SOA, Q6 i Q10, z trzema rezystorami każdy do ustawiania nachylenia i przechwytywania limitu I/U



▶ Rysunek 8, Cztery popularne klasy wzmacniaczy. Klasa C jest używana głównie do zastosowań radiowych, nie do audio, gdzie zniekształcenia są mniej istotne. Klasa A ma pojedynczy tranzystor, który zmienia swoje przewodzenie w całym cyklu, podczas gdy w pozostałych trzech klasach zastosowane są pary komplementarne. W klasie B jeden tranzystor przewodzi w dodatniej połowie cyklu, a drugi w ujemnej. Klasa AB jest podobna do klasy B, z tym wyjątkiem, że oba tranzystory przewodzą, gdy napięcie wyjściowe jest bliskie 0 V (fioletowy obszar to miejsce, w którym się pokrywają), podczas gdy w przypadku klasy C żaden tranzystor nie przewodzi w strefie podziału

eprasa.pl e016f8d744



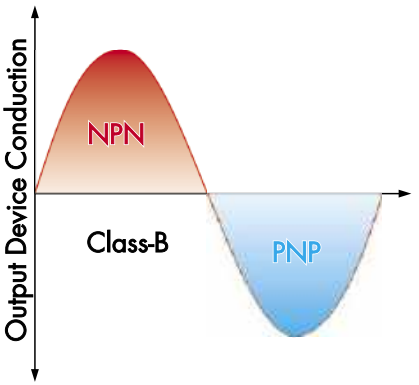
Q9 przyjmuje wartość około 0,6 V, co oznacza, że przez potencjometr VR1 i rezystor 390 Ω płynie prąd około 4,6 mA. Na rezystorze występuje więc napięcie 1,8 V (390 Ω × 4,6 mA). Jest to napięcie U_{CB}, które ostatecznie jest równe 2,4 V (0,6 V + 1,8 V).

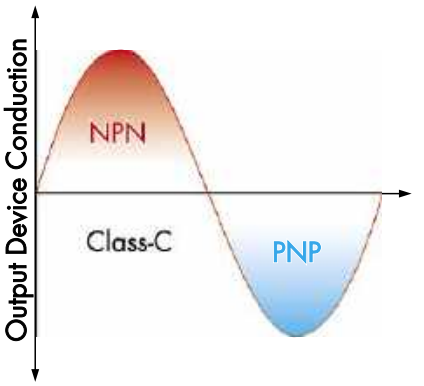
Stopień wyjściowy to pojedyncza para tranzystorów Q5 i Q11. Typy NJW21193/4, jak wspomniano wcześniej, zostały wybrane ze względu na ich duży bezpieczny obszar działania. Są one sterowane przez tranzystory MJE15032/33, ponieważ układ VAS nie zapewnia wystarczającego prądu do bezpośredniego sterowania tranzystorami wyjściowymi.

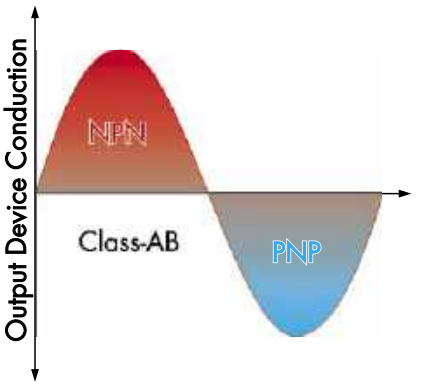
Oba tranzystory wyjściowe mają rezystory emiterowe 0,22 Ω, które zapewniają niewielkie ujemne sprzężenie zwrotne dla ich prądów polaryzacji.

Tranzystory są zdolne do dostarczania znacznie wyższego prądu niż wymagany w tym zastosowaniu. Są one jednak ogólnodostępne i niedrogie, więc dobrze nadają się do tego zastosowania. Rozpraszana przez nie moc nie wymaga tu użycia radiatora.

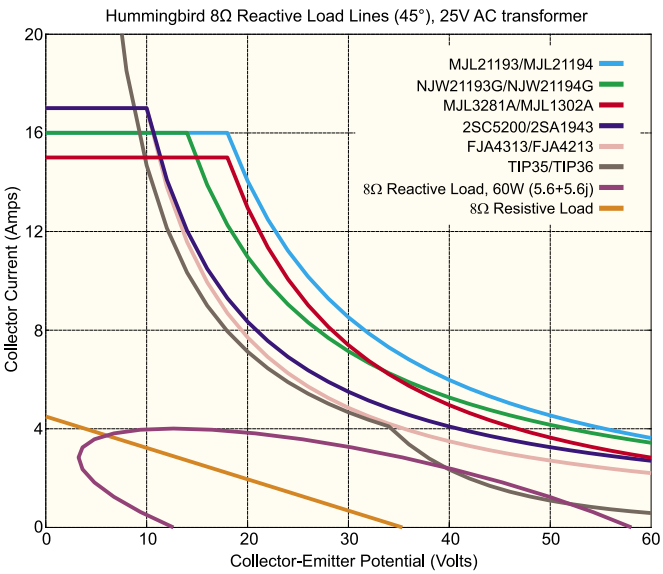
Załóżmy jednak, że użytkownik będzie chciał zwiększyć napięcie zasilające lub wysterować bardzo małe impedancje przebiegami ciągłymi. Może też chcieć osiągnąć idealne śledzenie polaryzacji. W takim przypadku korzystne może być przymocowanie ich do radiatora (lub tylnej części tranzystorów wyjściowych) na luźnych przewodach. Idealnie byłoby zamontować je na głównym radiatorze, aby ich napięcia U_{BE} śledziły napięcia tranzystorów wyjściowych, ponieważ Q9 pomnoży swoje własne zmiany U_{BE} czterokrotnie. Cel



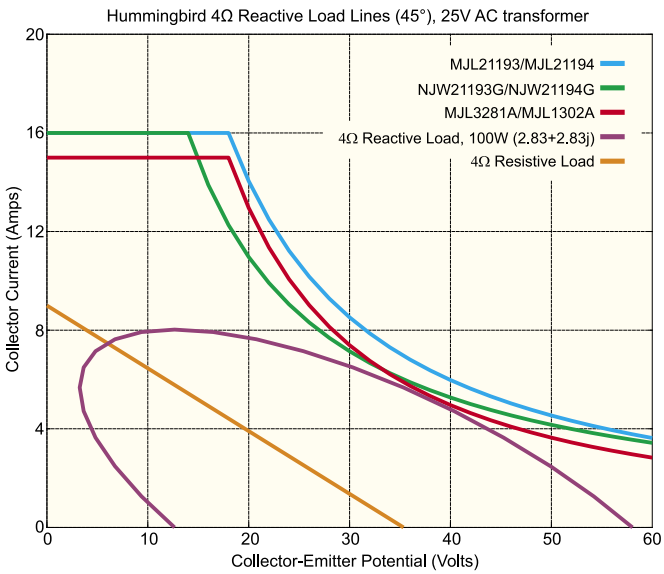




eprasa.pl e016f8d744



Rysunek 9. Krzywe SOA dla wszystkich tranzystorów wyjściowych, które można użyć we wzmacniaczu Hummingbird, plus linie obciążenia dla obciążeń czysto rezystancyjnych 8 Ω i reaktancyjnych 45° (reprezentujących najgorszy przypadek głośnika). Pokazuje to, że wszystkie tranzystory wyjściowe są bezpieczne podczas sterowania takimi obciążeniami przy zalecanych napięciach zasilania, z wyjątkiem być może TIP35/36, więc najlepiej jest ich unikać, jeśli to możliwe



Rysunek 10. Wykres podobny do rysunku 9, ale tym razem linie obciążenia są wykreślone dla obciążeń rezystancyjnych/reaktancyjnych 4 Ω i zostały wyeliminowane te tranzystory wyjściowe, które nie są zalecane do sterowania głośników 4 Ω. Wszystkie trzy opcje są dość bezpieczne. Para MJL3281A/MJL1302A zbliża się dość blisko linii obciążenia reaktancyjnego, ale jest tam obwód zabezpieczający SOA, aby w razie potrzeby uratować sytuację

przyjęty na etapie projektowania wzmacniacza, jakim było uzyskanie maksymalnie kompaktowej konstrukcji spowodował, że rozwiązanie takie nie zostało zastosowane.

Tranzystory sterownika nadal nagrzewają się i schładzają wraz ze zmianami obciążenia, co zapewnia pewne śledzenie termiczne, ale nie jest ono dokładne. W rezultacie, przy chwilowym zastosowaniu dużego obciążenia, prąd polaryzacji stopnia wyjściowego będzie miał tendencję do nieznacznego spadku, gdy moduł nagrzewa się, dostarczając znaczną ilość mocy. Nie dochodzi do niekontrolowanego wzrostu temperatury, ani zmiana prądu polaryzacji nie wpływa na wydajność, więc jest to rozsądny kompromis, dla zachowania kompaktowych gabarytów modułu.

Ochrona SOA

Ponieważ używana jest pojedyncza para tranzystorów wyjściowych, rozsądne będzie zabezpieczenie ich przed nieoczekiwanym przeciążeniem lub zwarciem. Zwarcie wyjścia typowego wzmacniacza często prowadzi do awarii tranzystorów wyjściowych, sterujących, ostatecznie też bezpiecznika, często w takiej właśnie kolejności. Można to obejść, dodając kilka podstawowych elementów ograniczających bezpieczny obszar działania (SOA).

Krzywe SOA dla każdej pary zalecanych tranzystorów wyjściowych pokazano na **rysunkach 9** i **10**. Zostały one zaczerpnięte z not katalogowych tranzystorów. Wykresy zostały uzupełnione krzywymi przedstawiającymi maksymalną moc wyjściową dostarczaną do obciążeń czysto rezystancyjnych i reaktancyjnych, przy czym te ostatnie reprezentują najgorsze obciążenie głośnika.

Jak widać, wszystkie tranzystory, z wyjątkiem pary TIP35/36, będą działać w swoich SOA w tych warunkach. Jednak niektóre głośniki mogą mieć znaczne spadki impedancji przy określonych częstotliwościach, które mogą spowodować, że tranzystory będą działać poza bezpiecznymi obszarami, a także mogą zdarzyć się przypadki niezamierzonego zwarcia okablowania itp.

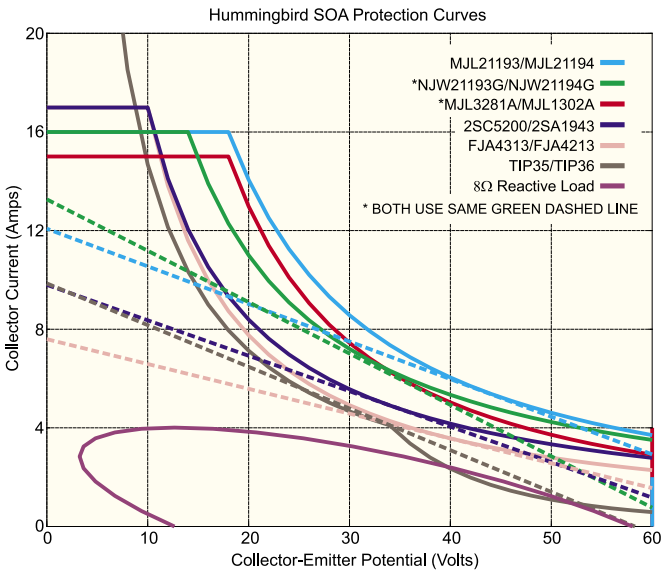
Na **rysunku 11** przedstawiono te same krzywe SOA, co na rysunkach 9 i 10, ale zostały na nim dodane przerywane linie „ochrony SOA". Są to limity, które zostały „zaprogramowane" dla każdej pary tranzystorów wyjściowych tak, aby zapewnić, że pozostaną one w swoich SOA.

Efekt obciążenia wzmacniacza Hummingbirda rezystancją 1 Ω pokazano na **rysunku 12**. Górny przebieg to sygnał wejściowy, dolny natomiast to obcięty przebieg wyjściowy. Obcięcie jest skutkiem zadziałania zabezpieczenia. Nie uchroni ono

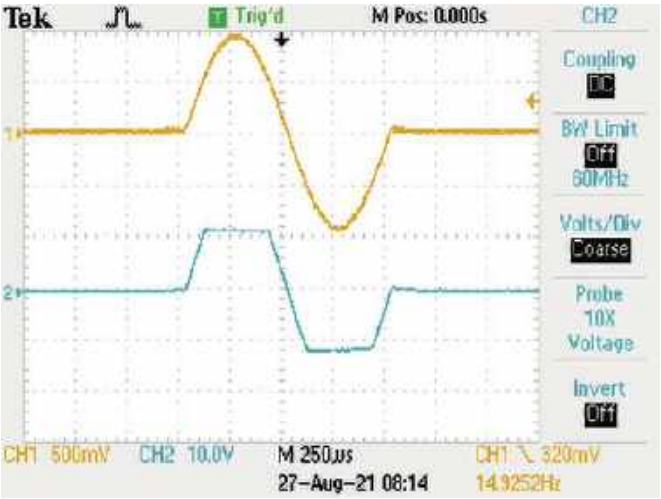
Tabela 1. Alternatywne tranzystory wyjściowe

Wyjście NPN	Wyjście PNP	Rezystory zabezpieczające SOA	Uwagi i ograniczenia	Status
NJW21194G	NJW21193G	18 kΩ 820 kΩ 220 Ω	Wydajność jak przedstawiono	Zweryfikowano
MJL21194	MJL21193	22 kΩ 750 Ω 220 Ω	Wydajność jak przedstawiono, THD <0,001% przy 1 kHz z VAS MPSA42	Zweryfikowano
FJA4313 lub 2SC5242	FJA4213 lub 2SA1962	22 kΩ 470 Ω 270 Ω	Ograniczenie do 25 V AC z transformatora podczas sterowania trudnymi obciążeniami 4 Ω	Zweryfikowano
2SC5200	2SA1943	18 kΩ 560 Ω 220 Ω	Zgodne ze specyfikacją	Zweryfikowano
MJL3281A	MJL1302A	18 kΩ 820 Ω 220 Ω		Nie sprawdzono
TIP35B/C	TIP36B/C	27 kΩ 1 kΩ 390 Ω	Ograniczenie do 25 V AC z transformatora, preferowane obciążenie 8 Ω, zaskakująco dobre osiągi	Zweryfikowano
TIP3055	TIP2955	12 kΩ 680 Ω 270 Ω	Ograniczenie do 25 V AC z transformatora i obciążenie 8 Ω	Nie sprawdzono

eprasa.pl e016f8d744



Rysunek 11, SOA wszystkich tranzystorów wyjściowych, a także linie ochronne SOA (przerywane). Chociaż linie ochronne są proste, to są one ustawione tak, aby pozostawały poniżej krzywych SOA w prawie wszystkich przypadkach, więc wzmacniacz nie może wysterować tranzystorów poza ich krzywymi SOA. Linie ochronne SOA dla NJW21193G/NJW21194G i MJL3281A/MJL1302A są identyczne (zielona przerywana linia), ponieważ pomimo tego, że są to różne krzywe, przecinają się w krytycznym punkcie



Rysunek 12. Celowo przesterowany wzmacniacz na skutek dołączenia do wyjście obciążenia o oporności zaledwie 1 Ω. Wzmacniacz był sterowany pojedynczym impulsem sinusoidalnym. Powoduje to, że tranzystory wyjściowe dostarczają tak duży prąd, że zostaje uruchomiony układ zabezpieczający SOA. Na dolnym przebiegu widać ograniczenie napięcie/prądu wyjściowego w celu ochrony tranzystorów

wprawdzie przed ostatecznym przegrzaniem tranzystorów wyjściowych, natomiast zapobiegnie natychmiastowego uszkodzenia tych elementów. Niektórzy twierdzą, że ten rodzaj ochrony pogarsza parametry wzmacniacza, ale zmierzone parametry mówią same za siebie.

Aby zrozumieć, jak działa zabezpieczenie SOA, rozważmy górną połowę schematu, opartą na tranzystorze NPN Q6 i diodzie D1 oraz trzech rezystorach: 18 kΩ, 820 Ω i 220 Ω.

Podczas normalnej pracy napięcie na rezystorze emiterowym tranzystora Q5 0,22 Ω jest mniejsze niż 0,6 V. Ignorując na razie dodatkowe rezystory oznacza to, że tranzystor Q6 jest wyłączony i nie ma żadnego wpływu.

W warunkach awarii napięcie na rezystorze 0,22 Ω wzrasta do wartości, w której Q6 zaczyna się włączać. Powoduje to przekierowanie prądu z bazy tranzystora sterującego Q4 do wyjścia, a wiec ograniczenie prądu bazy tego tranzystora. To z kolei zatyka tranzystor wyjściowy na skutek silnego ograniczenia prądu bazy. Ostatecznie prąd wyjściowy zmniejsza się do wartości, dla której tranzystor Q6 nie jest już tak silnie włączony. Zostaje tym samym utworzona lokalna pętla sprzężenia zwrotnego, która ogranicza prąd wyjściowy, chroniąc jednocześnie stopień wyjściowy. Dioda D1 jest dołączona, aby obwód zabezpieczający przed prądem przeciwnym nie był odwrotnie polaryzowany przez duże obciążenia wyjściowe.

W przypadku braku trzech dodatkowych rezystorów, Q6 włączyłby się przy prądzie wyjściowym około 3 A (0,6 V na rezystorze 0,22 Ω). To zbyt wcześnie, więc aby umożliwić większy prąd, rezystory 820 Ω i 220 Ω tworzą dzielnik napięcia o współczynniku podziału 0,21. Ostatecznie, do włączenia zabezpieczenia nadprądowego wymagany jest prąd około 13 A płynący przez rezystor emiterowy.

Bez rezystora 18 kΩ limit prądu będzie taki sam, niezależnie od napięcia wyjściowego. Dodanie tego rezystora powoduje wstrzyknięcie większego prądu do dzielnika napięcia utworzonego przez pozostałe dwa rezystory, dzięki temu ograniczenie prądu włącza się wcześniej. Powoduje to, że zabezpieczenie SOA jest „nachylone", aby dopasować się do SOA tranzystorów wyjściowych i pozwala na większy prąd przy wysokich napięciach wyjściowych, ponieważ napięcie na tranzystorach jest niższe. W ten sposób rozpraszają one mniej mocy przy przepływie tego samego prądu.

Wybór tranzystora wyjściowego

Układ wyprowadzeń tranzystorów wyjściowych jest bardzo powszechny. Wzmacniacza Hummingbird zapewnia zmierzoną wydajność z określonymi częściami, ale sprawdzono, że wzmacniacz działa poprawnie również z szeregiem innych

Tabela 2. Alternatywne tranzystory wyjściowe

Sterownik NPN	Sterownik PNP	Komentarz	Status
MJE15032	MJE15033	Jak określono (MJE15034 i MJE15035 nie zostały przetestowane, ale powinny działać podobnie)	Zweryfikowany
MJE15030	MJE15031	Działają dobrze przy obciążeniach 8 Ω i 6 Ω. Przy mocy 3 W zniekształcenia rosną szybciej niż określonych tranzystorów, ale nadal jest to uczciwy wybór	Zweryfikowano
TIP31B/C	TIP32B/C	Działa blisko specyfikacji. Przy obciążeniu 3 W zniekształcenia rosną szybciej niż określonych tranzystorów, ale nadal jest to uczciwy wybór	Zweryfikowano
BD139	BD140	Montować w przeciwnej orientacji (układ pinów ECB vs BCE). Części grupy wzmocnienia -16 to najlepszy wybór. Ograniczenie do transformatora 25 V AC	Zweryfikowano
MJE350	MJE340	Montować w przeciwnej orientacji (układ pinów ECB vs BCE). Nieidealny. Margines dla maksymalnego prądu. Ograniczenie do transformatora 8 Ω i 25 V AC	Nie sprawdzony

eprasa.pl e016f8d744

Tabela 3. Alternatywne tranzystory VAS

VAS NPN	Komentarz	Status
KSC3505DS	Jak określono	Zweryfikowano
BF469	Jak określono	Zweryfikowano
BD139	Nieznacznie podwyższone zniekształcenia, ale zaskakująco dobra wydajność – plotka głosi, że istnieje wiele „typów” BD139, więc „przebieg może się różnić”	Zweryfikowano
MPSA42	Układ wyprowadzeń jest inny. Zmierzone THD <0,001% przy 1 kHz z tranzystorami wyjściowymi MJL21193/4. Większe „sklejanie się” linii ujemnej niż w KSC3505DS, ale nie nadmierne	Zweryfikowano

tranzystorów wyjściowych. Konieczna jest jednak zmiana wartości rezystora zabezpieczającego SOA, zgodnie z **tabelą 1**. Dostępne są ponadto opcje dla tranzystorów sterownika (**tabela 2**) i tranzystora VAS (**tabela 3**).

Budowa

Wszystkie zastosowane elementy są typu przewlekanego i mieszczą się na dwustronnej płytce drukowanej o wymiarach 64×88 mm, oznaczonej kodem 01111211 (**rysunek 13**). W projekcie zadbano o zachowanie dużych punktów lutowniczych, aby ułatwić lutowanie.

Zdecydowanie zalecane jest używanie tranzystorów pochodzących od renomowanych dostawców. Na aukcjach internetowych można znaleźć tanie tranzystory. Nie warto jednak korzystać z takich ofert. Podróbki są powszechne, nawet w przypadku bardzo prostych komponentów. Wszystkie tranzystory zalecane dla tego wzmacniacza są dostępne w rozsądnych cenach u renomowanych dostawców.

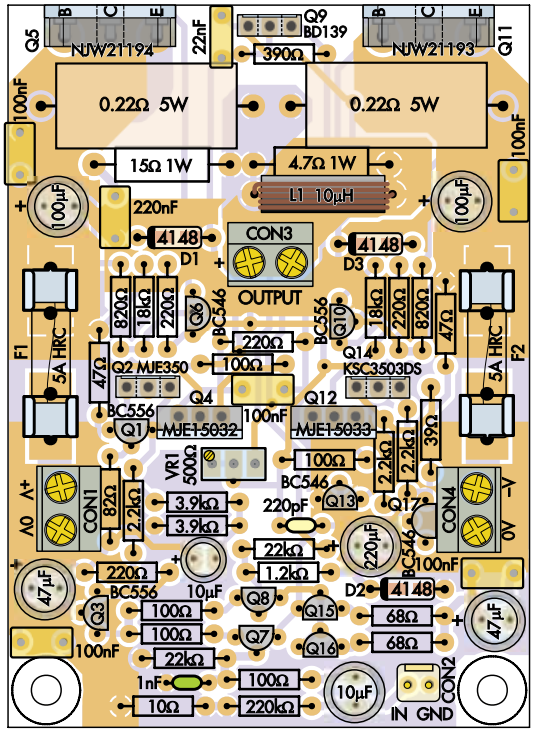
Montaż zaczynamy od wszystkich małych rezystorów i diod – koniecznie trzeba dopilnować, aby kierunek montażu diod był zgodny z rysunkiem 13 i z warstwą opisową na PCB. Należy też przypilnować prawidłowego wlutowania potencjometru montażowego. Położenie jego śruby regulacyjnej powinno być zgodnie z rysunkiem. Jest to bardzo istotne, gdyż prąd spoczynkowy musi być ustawiony na minimum przed pierwszym włączeniem modułu.

W następnej kolejności montujemy złącza wejściowe i wyjściowe. Zostały użyte komponenty z popularnym rozstawem 5/5,08 mm (z wyjątkiem wejścia, gniazda o rastrze 2,54 mm).

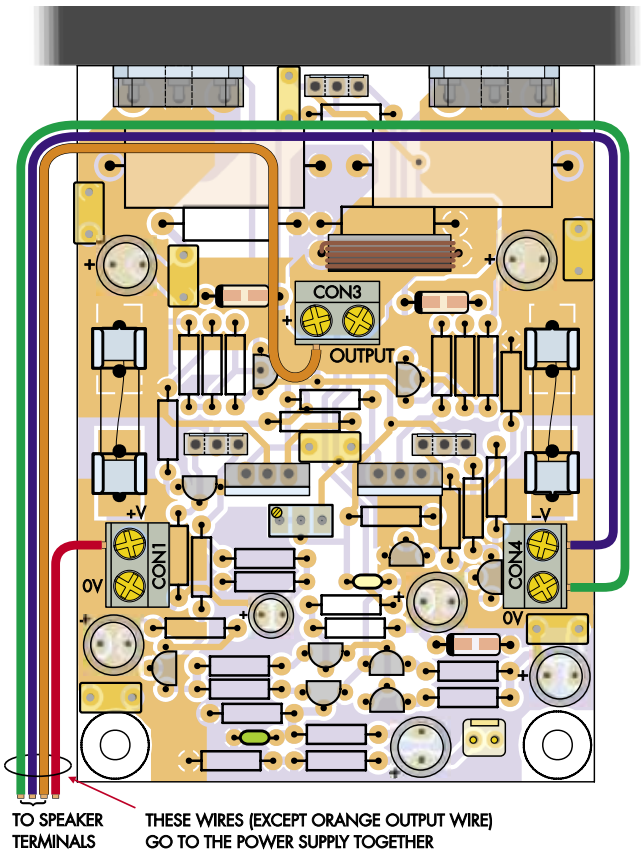
Przed wyborem listwy zaciskowej lub złączy wtykowych należy rozważyć sposób montażu modułów. Dostęp do zacisków śrubowych może być utrudniony w niektórych konfiguracjach, więc w takim przypadku należy użyć złączy wtykowych.

Teraz montowane mogą być wszystkie kondensatory niespolaryzowane. Należy upewnić się, czy kondensatory 220 pF są przystosowane do pracy przy napięciu 100 V. Po nich montujemy gniazda bezpieczników 5 A. Bezpieczniki warto przed montażem umieścić w ich klipsach, a następnie przylutować w całości tak utworzony zespół. Będziemy mieli pewność, że wszystko zostanie do siebie dobrze dopasowane.

Kolejne montowane elementy to kondensatory elektrolityczne. Konieczne jest



Rysunek 13. Budowa wzmacniacza Hummingbird jest prosta. Wystarczy zamontować komponenty do płytki drukowanej, zgodnie z rysunkiem montażowym powyżej. Należy zwrócić uwagę na kierunek wszystkich diod, tranzystorów i kondensatorów elektrolitycznych. W przypadku elementów w obudowach TO-220 i TO-126 metalowe parametry są skierowane tak, jak pokazano na tym rysunku. Jeśli w obudowie TO-126 brakuje radiatora, zwykle znajduje się ona naprzeciwko strony z napisem. Trzeba pamiętać, że zamienniki zalecanych tranzystorów będą miały inne oznakowanie niż pokazane tutaj – tabele 1...3



Rysunek 14. Okablowanie do każdego modułu powinno być prowadzone tak, aby zapewnić zakładane parametry wzmacniacza. Prąd płynący przez przewody będzie wytwarzał pola magnetyczne, które wpływają na działanie elementów wzmacniacza. Utrzymanie niskiego natężenia pola magnetycznego jest możliwe jeśli kable będą prowadzone tak, jak to zostało przedstawione na rysunku. Po ich ułożeniu należy użyć opasek kablowych i zacisku kablowego w celu uniemożliwienia przemieszczania się przewodów i zachowania porządku

eprasa.pl e016f8d744

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

dopilnowanie odpowiedniej ich orientacji. Płytka została zaprojektowana tak, że elektroda „+" (dłuższe wyprowadzenie) znajduje się po lewej stronie, jeśli patrząc na nią tranzystory wyjściowe będą u góry. Warto również sprawdzić, czy kondensatory mają odpowiednie napięcie znamionowe (z godne z wykazem elementów).

Przyszła kolej na tranzystory w obudowach TO-92. Jeśli to możliwe, warto znaleźć dopasowane pary dla Q7 i Q8 oraz Q9 i Q10. W tym celu należy sprawdzić wartości h_{FE} kilku tranzystorów każdego typu i wybrać pary, które mają te parametry jak najbardziej zbliżone do siebie. 10 procentowy rozrzut jest dopuszczalny. Korzystne jest ponadto wybranie egzemplarzy z jak najwyższymi wartościami h_{FE}. W przypadku tranzystorów BC549 i BC556, wartość h_{FE} poniżej 100 kwalifikuje je do wyrzucenia. Na szczęście tak niskie wartości zdarzają się naprawdę rzadko.

W tej fazie montażu można zająć się rezystorami. Jedynymi, które nagrzewają się, są rezystory emiterowe stopnia wyjściowego 0,22 Ω, i to tylko podczas dostarczania pełnej mocy sinusoidalnej ze wzmacniacza, co nie będzie miało miejsca w przypadku materiału muzycznego. Dobrą praktyką jest umieszczanie ich kilka milimetrów nad płytką drukowaną.

Na PCB mogą być montowane standardowe rezystory ceramiczne o mocy 5 W, ale w autorskim projekcie było użytych kilka mniejszych rezystorów (patrz wykaz elementów). W tym zastosowaniu muszą one mieć moc co najmniej 3 W.

Wykaz elementów: (dla jednego wzmacniacza)
1 dwustronne płytka, kod 01111211, 64 mm × 88 mm
1 zasilacz z dzieloną linią ±20 V...±40 V DC (np. transformator sieciowy 15 V...28 V AC, mostek prostowniczy, kondensatory filtrujące, gniazdo sieciowe, okablowanie sieciowe, rurki termokurczliwe itp.
3 2-pinowa listwa zaciskowa mini 5/5,08 mm (CON1, CON3, CON4)
1 2-pinowe gniazdo przewód-płytka z blokadą (CON2)
4 bezpiecznikowe blaszki mocujące M205 (F1, F2)
2 bezpieczniki ceramiczne 5 A 5 mm (F1, F2)
1 emaliowany przewód miedziany o długości 1 m i średnicy 0,8 mm (L1)
1 wieloobrotowy potencjometr montażowy z pionową lub boczną śrubką 500 Ω (VR1)
2 zestawy izolacyjne TO-3P (podkładki i tuleje)
1 TO-126 zestaw izolacyjny (podkładka i tuleja)
3 śrubka z łbem walcowym M3 x 25 mm
3 płaskie podkładki do śrub M3
3 podkładki karbowane do śrub M3
3 nakrętki sześciokątne M3
2 przepalone bezpieczniki 5 mm (do testowania lub celowego przepalenia bezpieczników 100 mA)
1 radiator, typ w zależności od zamierzonego zastosowania (np. Altronics H0545 dla sześciu modułów)
1 mała tubka kleju superglue
1 5 centymetrowy odcinek taśmy maskującej

Półprzewodniki:
5 tranzystorów PNP BC556 65 V 100 mA, TO-92 (Q1, Q3, Q7, Q8, Q10)
1 tranzystor PNP MJE350 300 V 500 mA, TO-126 (Q2) [Altronics Z1127, Jaycar ZT2260].
1 tranzystor NPN MJE15032G lub MJE15034G 250 V/350 V 8 A, TO-220 (Q4) [element14 9556621, Digi-Key MJE15034GOS--ND, Mouser 863-MJE15032G].
1 tranzystor NPN NJW21194G lub MJL21194 250 V 16 A, TO-3P (Q5) [Jaycar ZT2228, element14 2535656, Digi-Key NJW21194GOS-ND, Mouser 863-NJW21194G].
3 tranzystory BC546 65 V 100 mA NPN, TO-92 (Q6, Q13, Q17)
1 tranzystor BD139 80 V 1 A NPN, TO-126 (Q9) [Altronics Z1068, Jaycar ZT2189].
1 tranzystor NJW21193G lub MJL21193 250 V 16 A PNP, TO-3P (Q11) [Jaycar ZT2227, element14 9555781, Digi-Key NJW21193GOS-ND, Mouser 863-NJW21193G].
1 tranzystor PNP MJE15033G lub MJE15035G 250 V/350 V 8 A, TO-220 (Q12) [element14 9556630, Digi-Key MJE15035GOS--ND, Mouser 863-MJE15033G].
1 tranzystor KSC3503DS 300 V 100 mA NPN, TO-126 (Q14) [element14 2453955, Digi-Key KSC3503DS-ND, Mouser 512-KSC3503DS].
2 tranzystory BC549 30 V 100 mA NPN (Q15, Q16)
3 małe diody sygnałowe 1N4148 75 V 250 mA (D1...D3)

Kondensatory:
1 elektrolityczny 220 µF 25 V [Altronics R5144, Jaycar RE6324]
2 100 µF 50 V 105°C elektrolityczny [Altronics R4827, Jaycar RE6346]
2 elektrolity 47 µF 50 V low-ESR [Altronics R6107, Jaycar RE6344]
1 elektrolityczny 10 µF 50 V low-ESR [Altronics R6067, Jaycar RE6075]
1 elektrolityczny niespolaryzowany 10 µF 50 V [Altronics R6560, Jaycar RY6810]
1 220 nF 63 V MKT [Altronics R3029B, Jaycar RM7145].
5 100 nF 63 V MKT [Altronics R3025B, Jaycar RM7125]
1 22 nF 63 V MKT [Altronics R3017B, Jaycar RM7085]
1 1 nF 63 V MKT [Altronics R3001B, Jaycar RM7010]
1 220 pF 100 V ceramiczny NP0/C0G [np. element14 2860112, Digi-Key 445-173535-1-ND, Mouser 810-FG28C0G2A221JNT6]

Rezystory: (wszystkie o mocy 1/4 W + 1% z folią metalową, o ile nie podano inaczej)

1 220 kΩ	5 100 Ω 0,5 W lub 0,6 W 1% metalizowany
2 22 kΩ	1 82 Ω
2 18 kΩ	2 68 Ω
2 3,9 kΩ	2 47 Ω 0,5 W lub 0,6 W 1% metalizowany
3 2,2 kΩ	1 39 Ω
1 1,2 kΩ	1 15 Ω 1 W
2 820 Ω	1 10 Ω
1 390 Ω	2 10 Ω 5 W 10% (do testów)
4 220 Ω	1 4,7 Ω 1 W

2 0,22 Ω 5 W 5% [element14 1735119, Digi-Key BC3440CT-ND, Mouser 594-AC050002207JAC00].

Wykonanie cewki indukcyjnej L1

Cewka wyjściowa jest nawinięta miedzianym drutem emaliowanym (ECW) o średnicy 0,8 mm zgodnie z poniższym opisem.

1. Znaleźć jakiś przedmiot, który nadawałby się na trzpień o średnicy nieco ponad 10 mm i był lekko sfazowany, aby po zakończeniu nawijania cewkę można było łatwo ściągnąć. Przykładowo, można użyć jakiegoś dużego markera permanentnego.
2. Okleić trzpień taśmą maskującą stroną klejącą skierowaną na zewnątrz.
3. Umieścić zagięcie emaliowanego drutu miedzianego (ECW), 30...40 mm od końca i nawinąć dziewięć zwojów na taśmę.
4. Nałożyć kilka kropel „super glue" na ECW. Nie trzeba się przejmować, jeśli klej dostanie się na taśmę, ale należy tego raczej unikać. Klej nie powinien dostać się do trzpienia.
5. Odczekać chwilę, aż klej wyschnie, a następnie nawinąć kolejną warstwę na pierwsze dziewięć zwojów. Być może uda się nawinąć tylko osiem kolejnych zwojów, ale jest to do zaakceptowania. Ponownie nałożyć kilka kropel kleju i odczekać do ich zastygnięcia.
6. Dodać końcowe dziewięciu zwojów i ponownie przykleić.
7. Zsunąć cewkę indukcyjną z trzpienia. Może być potrzebna do tego spora siłą.
8. Oderwać taśmę z wnętrza cewki – można użyć długich szczypiec. Następnie dodać trochę „super glue".
9. Przyciąć końce drutu, zeskrobać z nich emalię i zamontować na płytce drukowanej nad rezystorem 4,7 Ω, jak to pokazano na rysunku.

Dokończenie konstrukcji

Pozostały do zmontowania jeszcze m.in. tranzystory Q2, Q4, Q12 i Q14, które należy przylutować do płytki drukowanej. Tranzystory BD139, NJW21193 i NJW21194, które montuje się na głównym radiatorze (Q5, Q9 i Q11) zostawiamy na koniec.

Przed przystąpieniem do dalszych czynności należy sprawdzić rozmieszczenie elementów montażowych i upewnić się, że znajdują się one na odpowiedniej wysokości do montażu na głównym radiatorze.

Najlepszą metodą montażu tranzystorów do radiatora jest bezpośrednie przykręcenie ich śrubkami, wygięcie nóżek tak, aby pasowały do płytki, a następnie przylutowanie. Idealnie by było, gdyby otwory radiatora można było nagwintować i do nich wkręcić śrubki. Jeśli nie jest to jednak możliwe, należy wykonać otwory między żebrami i użyć długich śrub z nakrętkami.

eprasa.pl e016f8d744

Regulacja i testowanie

Bardzo ważne jest, aby potencjometr regulacji polaryzacji był ustawiony na maksymalną rezystancję, tak aby początkowy prąd polaryzacji był bardzo mały. Jeśli zostanie on zmontowany zgodnie z zaleceniami i **rysunkiem 14** śrubkę należy przekręcić zgodnie z ruchem wskazówek zegara o co najmniej 20 obrotów, a następnie sprawdzić multimetrem, czy między katodą diody D3 (koniec z paskiem) a prawym końcem rezystora 390 Ω, tuż na lewo od Q11, jest blisko 500 Ω. Rezystancję tę należy koniecznie sprawdzić przed uruchomieniem wzmacniacza, gdyż inna wartość może spowodować przepalenie bezpieczników po włączeniu zasilania. Bezpieczniki nie zawsze są wystarczająco szybkie, aby ochronić półprzewodniki.

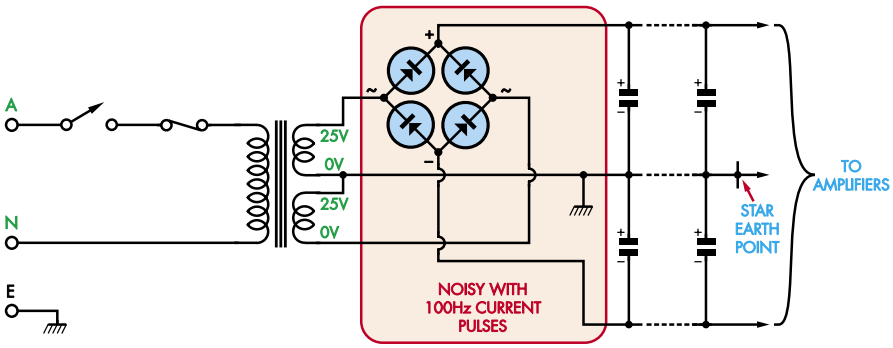
Wstępne testy można przeprowadzić bez montowania wzmacniacza na radiatorze. Będą one miały na celu sprawdzenie, czy wzmacniacz jest sprawny. Zamiast bezpieczników 5 A instalujemy testowe (przepalone) bezpieczniki M205 z przylutowanymi do nich rezystorami 10 Ω 5 W. Nazywamy je „rezystorami bezpieczeństwa".

Do dalszego testu dołączamy jeden woltomierz między wyjściem a masą. Powinien być ustawiony na zakres 200 V (lub zbliżony). Drugi woltomierz ustawiony na zakres 20 V lub podobny dołączmy do jednego z rezystorów 10 Ω. Jeśli do dyspozycji jest jeden miernik, należy monitować tylko napięcie wyjściowe.

Teraz odłączamy wejście modułu i dołączamy zasilanie. Akceptowalne będą napięcia powyżej ±15 V. Jeśli jest to możliwe warto ustawić ograniczenie prądu w zasilaczu na około 100 mA. Sprawdzamy, czy napięcie wyjściowe ustabilizowało się na poziomie 0 V ±50 mV oraz czy napięcie na rezystorze zabezpieczającym 10 Ω jest mniejsze niż 1 V.

Następnie należy odpowiedzieć na poniższe pytania. Jeśli którykolwiek z takich testów zakończy się niepowodzeniem, należy natychmiast wyłączyć zasilanie i sprawdzić przyczynę.

Sprawdzamy więc czy potencjometr polaryzacji jest ustawiony w końcowym prawym położeniu? Czy polaryzacja wszystkich kondensatory jest poprawna? Czy na wejście podawany jest sygnał? Jeśli tak, trzeba go odłączyć. Czy wszystkie tranzystory i diody znajdują się we właściwych miejscach i są zamontowane właściwie? Czy tranzystory wyjściowe znajdują się we właściwym miejscu? Czy napięcia obu linii zasilacza są prawidłowe, a także czy uziemienie jest podłączone poprawnie?



Rysunek 15. Zasilanie wzmacniacza Hummingbird jest na tyle uniwersalne, że możliwe jest dość swobodne wprowadzanie zmian wynikających z potrzeb użytkownika. Jest to możliwe ze względu na typowe, niewygórowane wymagania zasilania. Wymagane są jedynie rozdzielone linie zasilania DC, które nie powinny mieć zbyt dużych tętnień. Dopuszczalny jest zakres napięć pomiędzy ±20 V a ±40 V. Przedstawiona konfiguracja wytwarza około ±34 V, co jest rozwiązaniem idealnym. Korzystną cechą jest ponadto zastosowanie powszechnie dostępnych części. Trzeba natomiast dopilnować, aby kondensatory filtrujące miały wystarczająco wysokie napięcie znamionowe (powyżej najwyższego oczekiwanego szczytowego napięcia DC) i wystarczającą pojemność, pozwalającą „utrzymać" zasilanie pomiędzy impulsami ładowania 100 Hz przy maksymalnej oczekiwanej ciągłej mocy wyjściowej. Należy przyjąć, że wymagana będzie pojemność co najmniej kilku tysięcy mikrofaradów na jedną linię zasilającą. W idealnym przypadku dla wielu modułów wzmacniacza byłoby to co najmniej 10000 µF na linię

Ustawianie polaryzacji

Dalsze czynności uruchomieniowe wymagają zamontowania wzmacniacza na radiatorze z odpowiednimi izolatorami dla tranzystorów wyjściowych i tranzystora mnożącego U_{BE}. Włączamy zasilanie i regulujemy polaryzację, obracając pokrętło potencjometru UR1 w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara, obserwując napięcie na rezystorze 10 Ω. Przez kilka obrotów nic się nie będzie działo, następnie prąd polaryzacji

Wzmacniacz można łatwo zamontować na radiatorze 75 mm, jak pokazano powyżej. Brakuje rezystorów ochronnych SOA, ponieważ planowane było porównanie osiągów wzmacniacza z nimi i bez nich. Następnie można je zamontować obok siebie, tworząc większy system, na przykład tworząc konfigurację sześciokanałową przedstawioną obok. Zestaw ten został zamontowany w obudowie typu rack 2U

eprasa.pl e016f8d744

gwałtownie wzrośnie. Dalszą regulację należy wykonać tak, aby osiągnąć 500 mV na rezystorze. Teraz trzeba poczekać, aż wskazania się ustabilizują i ponownie dokończyć precyzyjnie regulację. Należy to zrobić przy podłączonym docelowym napięciu zasilającym.

W tym momencie można ponownie zainstalować bezpieczniki 5 A i jest to stan osiągnięcia pełnej gotowości do pracy. Później możliwe jest sprawdzenie polaryzacji poprzez pomiar napięcia na rezystorach 0,22 Ω. Na każdym z nich powinno być napięcie 10 mV. Dostęp do potencjometru regulacyjnego będzie dość łatwy jeśli montowane moduły na radiatorze będą ustawione bokiem, tak jak to zrobił autor.

Instalacja

Aby zminimalizować zniekształcenia do przedstawionych wcześniej poziomów, należy zwrócić szczególną uwagę na układ i okablowanie zasilania. Zalecany układ okablowania dla każdego modułu pokazano na rysunku 14, a zalecaną konfigurację zasilania pokazano na **rysunku 15**.

Okablowanie od głównych kondensatorów zasilających powinno mieć skręcone ze sobą przewody dodatnie, ujemne i uziemienia. Wyjście powinno być zagięte w kierunku tranzystorów wyjściowych, przebiegać równolegle do rezystorów wyjściowych 0,22 Ω, a następnie podążać za przewodami zasilającymi.

Przewód wyjściowy powinien podążać za przewodami zasilającymi z powrotem obok zasilacza, następnie do wiązki powinien zostać dołączony przewód uziemiający, minimalizując utworzony obszar pętli. Następnie powinien prowadzić jako para do zacisków głośnikowych (patrz wyżej).

Należy upewnić się, że zasilacz ma punkt uziemienia w konfiguracji gwiazdy, do którego można podłączyć się z masą wejściową, masą wzmacniacza i masą wyjściową głośnika. Sprawdzamy ponadto, czy podłączenia mostka Graetza i jego uziemienia do kondensatorów nie wprowadza zakłóceń do punktu uziemienia. Do tego punktu powinien być dołączony ekran kabla wejściowego.

Na zakończenie upewniamy się, że wszystkie połączenia są bezpieczne i mają niską rezystancję. Słabe połączenia mogą łatwo zwiększyć poziom zniekształceń. Przypadek taki został stwierdzony podczas pomiarów partii modułów, które zostały zbudowane w celu weryfikacji wyników.

Jak uzyskać maksimum korzyści?

Moduł ten powinien znaleźć zastosowanie wszędzie tam, gdzie wymagany jest mały, wytrzymały i niedrogi wzmacniacz wielokanałowy o niskim poziomie zniekształceń. Ponieważ moduły te mieszczą się na radiatorze 75 mm, wiele z nich można zamontować pionowo w obudowie rack 2U.

Pierwotnym przeznaczeniem dlatego wzmacniacza miało być zapewnienie sześciu kanałów dla systemu stereo z trójdrożnymi zestawami głośnikowymi z aktywnymi zwrotnicami. Według założeń, przy dwóch kanałach dla subwooferów, dwóch dla głośników średniotonowych i dwóch dla głośników wysokotonowych, maksymalna moc ciągła powinna wynosić 60 W w każdym kanale subwoofera. Prawdopodobnie połowa tej wartości przypadnie dla głośników średniotonowych i niewielki ułamek tej wartości dla głośników wysokotonowych.

W rezultacie zasilacz z transformatorem 300 VA będzie więcej niż wystarczający dla wszystkich sześciu kanałów. Może wystarczyć nawet 160 VA, jeśli tylko nie jest planowana szczególnie intensywna praca. Dla aplikacji wymagających dużych mocy, istnieją bardziej odpowiednie opcje, takie jak SC200 i seria Ultra-LD. Można też użyć pary tych wzmacniaczy dla kanałów niskich częstotliwości i Hummingbird dla pozostałych. ■

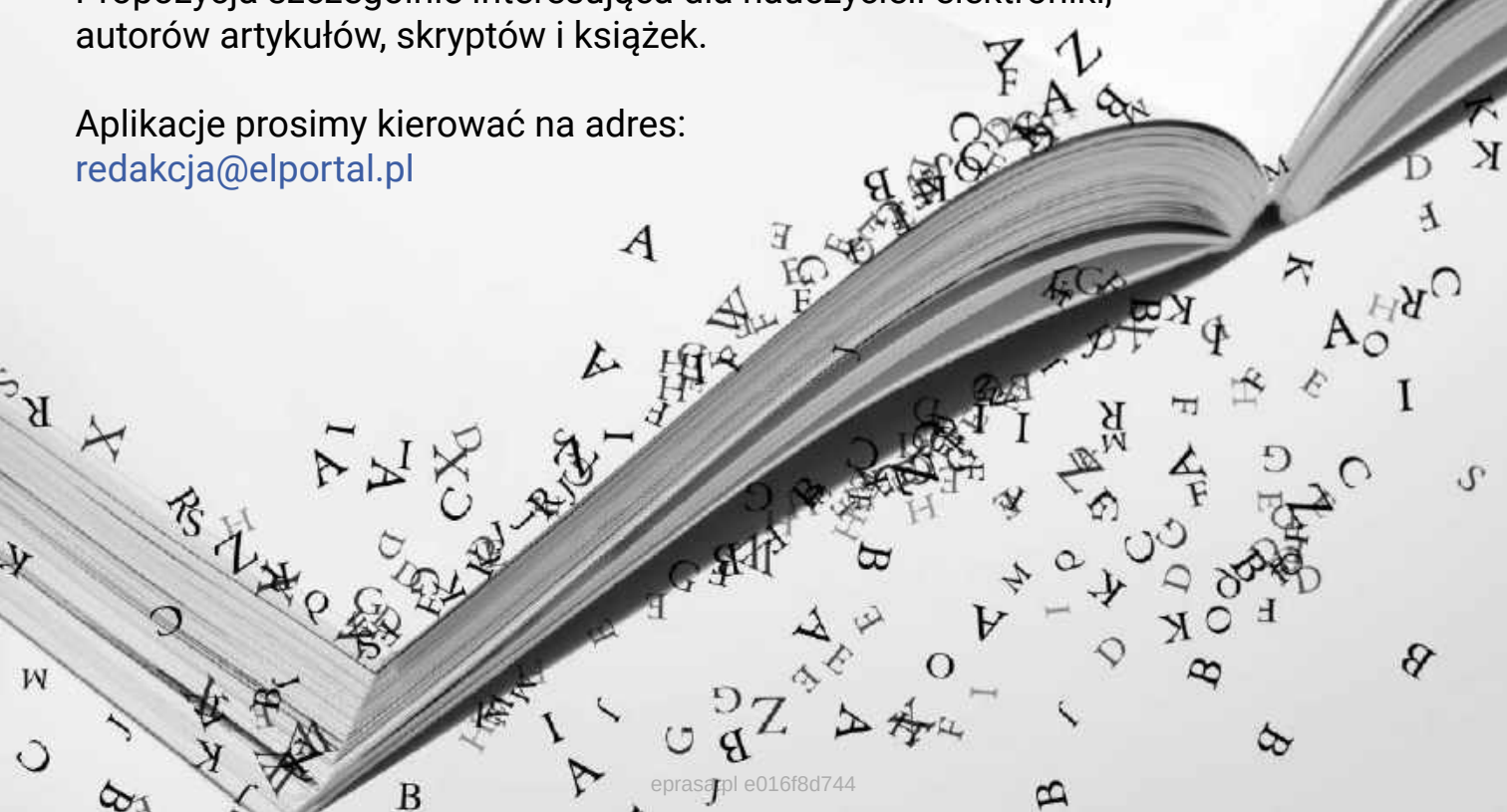
Phil Prosser

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

REKLAMA

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

Aplikacje prosimy kierować na adres:
redakcja@elportal.pl



eprasa.pl e016f8d744

Zabezpieczenie głośnika wysokotonowego żarówką samochodową z włóknem wolframowym

Publikacja zawiera opis techniczny popularnego zabezpieczenia głośnika wysokotonowego zrealizowanego przy pomocy żarówki samochodowej z włóknem wolframowym. W treści artykułu zamieszczono wyniki pomiarów ułatwiające prawidłowy dobór odpowiedniego rodzaju żarówki. Rozwiązanie to jest z powodzeniem stosowane w konstrukcji wielu układów zwrotnic zestawów głośnikowych i pozwala uchronić głośnik wysokotonowy przed uszkodzeniem na skutek przeciążenia.

Żarówki samochodowe z włóknem wolframowym charakteryzują się rezystancją włókna zmieniającą się w zależności od jego temperatury. Posiadają one zatem nieliniową charakterystykę napięciowo-prądową. Właściwości takich żarówek wykorzystuje się z powodzeniem w projektach

1. Wygląd zewnętrzny żarówki samochodowej typu P21W o napięciu pracy 12 V i mocy 21 W

2. Wygląd zewnętrzny zestawu głośnikowego typu ZgB-200-4-566 „ZEUS" produkowanego przez wrzesińską firmę Tonsil (źródło: https://www.skleptonsil.pl)

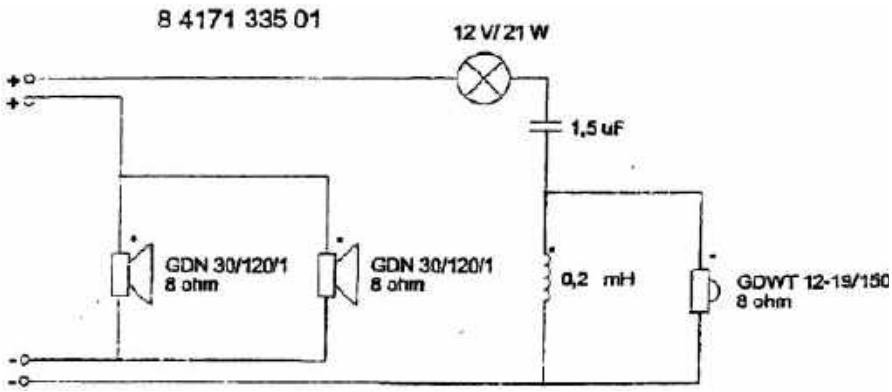
Tabela 1. Wyniki pomiarów żarówki samochodowej typu P21W

Napięcie [V]	Prąd [A]	Opór [Ω]	Moc [W]
0,50	0,47	1,06	0,24
1,00	0,59	1,69	0,59
1,50	0,68	2,21	1,02
2,00	0,74	2,70	1,48
2,50	0,80	3,13	2,00
3,00	0,85	3,53	2,55
3,50	0,91	3,85	3,19
4,00	0,98	4,08	3,92
4,50	1,02	4,41	4,59
5,00	1,06	4,72	5,30
5,50	1,13	4,87	6,22
6,00	1,18	5,08	7,08
6,50	1,20	5,42	7,80
7,00	1,30	5,38	9,10
7,50	1,35	5,56	10,13
8,00	1,40	5,71	11,20
8,50	1,44	5,90	12,24
9,00	1,49	6,04	13,41
9,50	1,53	6,21	14,54
10,00	1,59	6,29	15,90
10,50	1,62	6,48	17,01
11,00	1,65	6,67	18,15
11,50	1,69	6,80	19,44
12,00	1,75	6,86	21,00
12,50	1,80	6,94	22,50
13,00	1,85	7,03	24,05
13,50	1,88	7,18	25,38
14,00	1,92	7,29	26,88
14,50	1,95	7,44	28,28
15,00	1,99	7,54	29,85

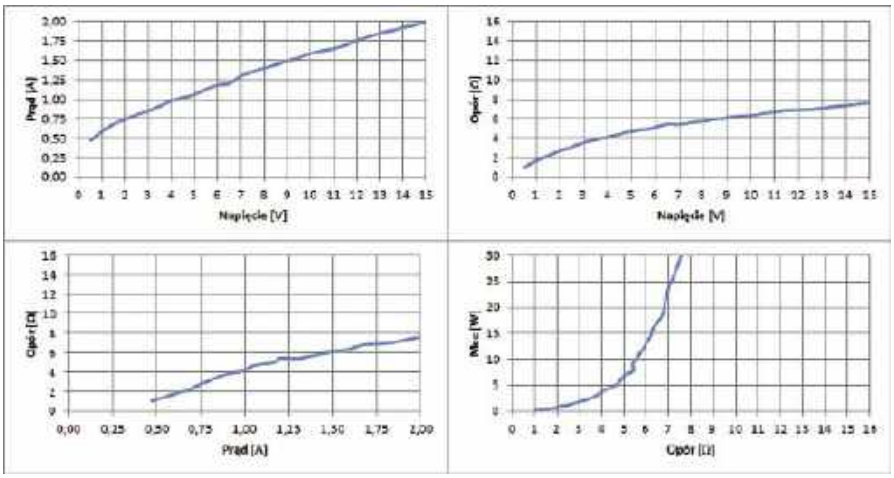
Tabela 2. Wyniki pomiarów układu zastępczego z dzielnikiem napięcia zawierającym element o nieliniowej charakterystyce napięciowo-prądowej (w odniesieniu do wartości napięcia stanowiącego sumę wskazań obydwu woltomierzy)

Napięcie [V]	Prąd [A]	Opór [Ω]	Moc [W]
0,50	0,06	9,06	0,03
1,00	0,10	9,69	0,10
1,50	0,15	10,21	0,22
2,00	0,19	10,70	0,37
2,50	0,22	11,13	0,56
3,00	0,26	11,53	0,78
3,50	0,30	11,85	1,03
4,00	0,33	12,08	1,32
4,50	0,36	12,41	1,63
5,00	0,39	12,72	1,97
5,50	0,43	12,87	2,35
6,00	0,46	13,08	2,75
6,50	0,48	13,42	3,15
7,00	0,52	13,38	3,66
7,50	0,55	13,56	4,15
8,00	0,58	13,71	4,67
8,50	0,61	13,90	5,20
9,00	0,64	14,04	5,77
9,50	0,67	14,21	6,35
10,00	0,70	14,29	7,00
10,50	0,73	14,48	7,61
11,00	0,75	14,67	8,25
11,50	0,78	14,80	8,94
12,00	0,81	14,86	9,69
12,50	0,84	14,94	10,46
13,00	0,86	15,03	11,24
13,50	0,89	15,18	12,01
14,00	0,92	15,29	12,82
14,50	0,94	15,44	13,62
15,00	0,97	15,54	14,48

eprasa.pl e016f8d744



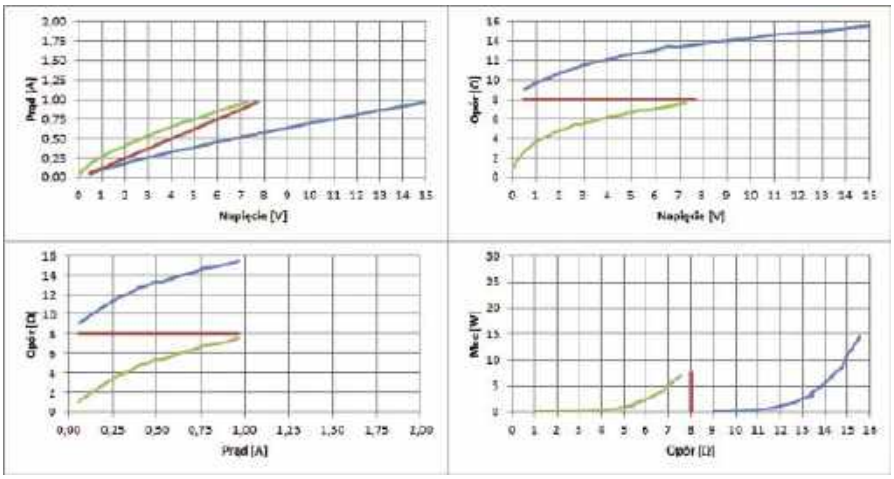
3. Schemat ideowy układu zwrotnicy zestawu głośnikowego typu ZgB-200-4-566 „ZEUS" produkowanego przez wrzesińską firmę Tonsil (źródło: https://www.skleptonsil.pl)



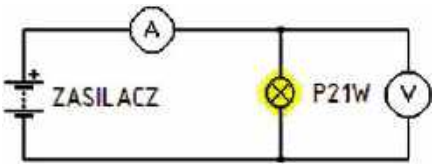
5. Zestaw charakterystyk: prądu w funkcji napięcia, oporu w funkcji napięcia, oporu w funkcji prądu oraz mocy w funkcji oporu żarówki samochodowej typu P21W o napięciu pracy 12 V i mocy 21 W

układów zwrotnic wielu zestawów głośnikowych, w których żarówka pełni rolę zabezpieczającą i jest podłączona bezpośrednio przed filtrem górnoprzepustowym głośnika wysokotonowego.

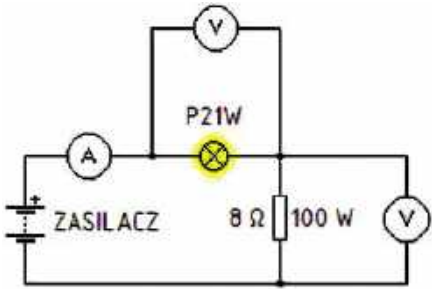
Tego typu rozwiązanie zastosowano m.in. w układzie zwrotnicy zestawu głośnikowego typu ZgB-200-4-566 produkowanego przez wrzesińską firmę Tonsil pod nazwą handlową „ZEUS". Żarówka pełni w układzie



7. Zestaw charakterystyk: prądu w funkcji napięcia, oporu w funkcji napięcia, oporu w funkcji prądu oraz mocy w funkcji oporu układu zastępczego z dzielnikiem napięcia zawierającym element o nieliniowej charakterystyce napięciowo-prądowej (linia niebieska – wyniki pomiarów w odniesieniu do szeregowego połączenia żarówki i opornika, linia czerwona – wyniki pomiarów w odniesieniu do opornika, linia zielona – wyniki pomiarów w odniesieniu do żarówki)



4. Schemat ideowy układu służącego do wyznaczania charakterystyk żarówki samochodowej z włóknem wolframowym



6. Schemat ideowy układu służącego do wyznaczania charakterystyk dzielnika napięcia składającego się z żarówki samochodowej z włóknem wolframowym (element nieliniowy) oraz stuwatowego opornika ośmioomowego (element liniowy)

rolę limitera i ogranicza moc doprowadzaną do uzwojenia cewki głośnika wysokotonowego podczas pracy z pełnym wysterowaniem, co jest szczególnie istotne w przypadku wystąpienia zjawiska przesterowania.

Wyniki pomiarów

Aby lepiej zapoznać się z właściwościami żarówki samochodowej typu P21W o napięciu pracy 12 V i mocy 21 W możemy zbudować prosty układ pomiarowy służący do wyznaczania jej charakterystyk metodą punkt po punkcie. Schemat ideowy układu przedstawiono na **rysunku 4**.

Brakujące dane dotyczące wartości oporu oraz mocy obliczono korzystając z prawa Ohma oraz z prawa Joule'a-Lenza. Na podstawie wyników pomiarów i obliczeń wykreślono zestaw charakterystyk przedstawionych na **rysunku 5**.

W następnej kolejności zbudowano układ zastępczy zawierający dzielnik napięcia składający się z żarówki samochodowej z włóknem wolframowym oraz stuwatowego opornika ośmioomowego. Układ ten posłużył do wyznaczenia metodą punkt po punkcie charakterystyk pozwalających na przybliżone określenie zachowania się włókna wolframowego żarówki samochodowej w warunkach pracy z obciążeniem o charakterze rezystancyjnym.

Brakujące dane dotyczące wartości oporu oraz mocy obliczono korzystając z prawa Ohma oraz z prawa Joule'a-Lenza. Na podstawie wyników pomiarów i obliczeń wykreślono zestaw charakterystyk przedstawionych na **rysunku 7**.

eprasa.pl e016f8d744

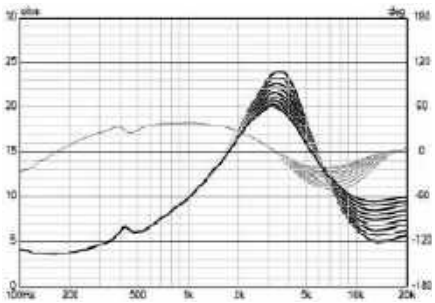
Tabela 3. Wyniki pomiarów układu zastępczego z dzielnikiem napięcia zawierającym element o nieliniowej charakterystyce napięciowo-prądowej (w odniesieniu do wartości napięcia zmierzonego na zaciskach stuwatowego opornika ośmioomowego)

Napięcie [V]	Prąd [A]	Opór [Ω]	Moc [W]
0,44	0,06	8,00	0,02
0,83	0,10	8,00	0,09
1,18	0,15	8,00	0,17
1,50	0,19	8,00	0,28
1,80	0,22	8,00	0,40
2,08	0,26	8,00	0,54
2,36	0,30	8,00	0,70
2,65	0,33	8,00	0,88
2,90	0,36	8,00	1,05
3,14	0,39	8,00	1,24
3,42	0,43	8,00	1,46
3,67	0,46	8,00	1,68
3,87	0,48	8,00	1,88
4,19	0,52	8,00	2,19
4,42	0,55	8,00	2,45
4,67	0,58	8,00	2,72
4,89	0,61	8,00	2,99
5,13	0,64	8,00	3,29
5,35	0,67	8,00	3,58
5,60	0,70	8,00	3,92
5,80	0,73	8,00	4,21
6,00	0,75	8,00	4,50
6,22	0,78	8,00	4,83
6,46	0,81	8,00	5,22
6,69	0,84	8,00	5,60
6,92	0,86	8,00	5,98
7,11	0,89	8,00	6,33
7,33	0,92	8,00	6,71
7,51	0,94	8,00	7,06
7,72	0,97	8,00	7,45

Tabela 4. Wyniki pomiarów układu zastępczego z dzielnikiem napięcia zawierającym element o nieliniowej charakterystyce napięciowo-prądowej (w odniesieniu do wartości napięcia zmierzonego na zaciskach żarówki samochodowej z włóknem wolframowym)

Napięcie [V]	Prąd [A]	Opór [Ω]	Moc [W]
0,06	0,06	1,06	0,00
0,17	0,10	1,69	0,02
0,32	0,15	2,21	0,05
0,50	0,19	2,70	0,09
0,70	0,22	3,13	0,16
0,92	0,26	3,53	0,24
1,14	0,30	3,85	0,34
1,35	0,33	4,08	0,45
1,60	0,36	4,41	0,58
1,86	0,39	4,72	0,73
2,08	0,43	4,87	0,89
2,33	0,46	5,08	1,07
2,63	0,48	5,42	1,27
2,81	0,52	5,38	1,47
3,08	0,55	5,56	1,70
3,33	0,58	5,71	1,94
3,61	0,61	5,90	2,21
3,87	0,64	6,04	2,48
4,15	0,67	6,21	2,78
4,40	0,70	6,29	3,08
4,70	0,73	6,48	3,41
5,00	0,75	6,67	3,75
5,28	0,78	6,80	4,11
5,54	0,81	6,86	4,47
5,81	0,84	6,94	4,86
6,08	0,86	7,03	5,26
6,39	0,89	7,18	5,68
6,67	0,92	7,29	6,11
6,99	0,94	7,44	6,56
7,28	0,97	7,54	7,03

8. Zestaw charakterystyk poziomu ciśnienia akustycznego w funkcji częstotliwości zestawu głośnikowego typu ZgB-200-4-566 „ZEUS" produkowanego przez wrzesińską firmę Tonsil wykreślonych dla różnych wartości rezystancji włókna wolframowego żarówki samochodowej

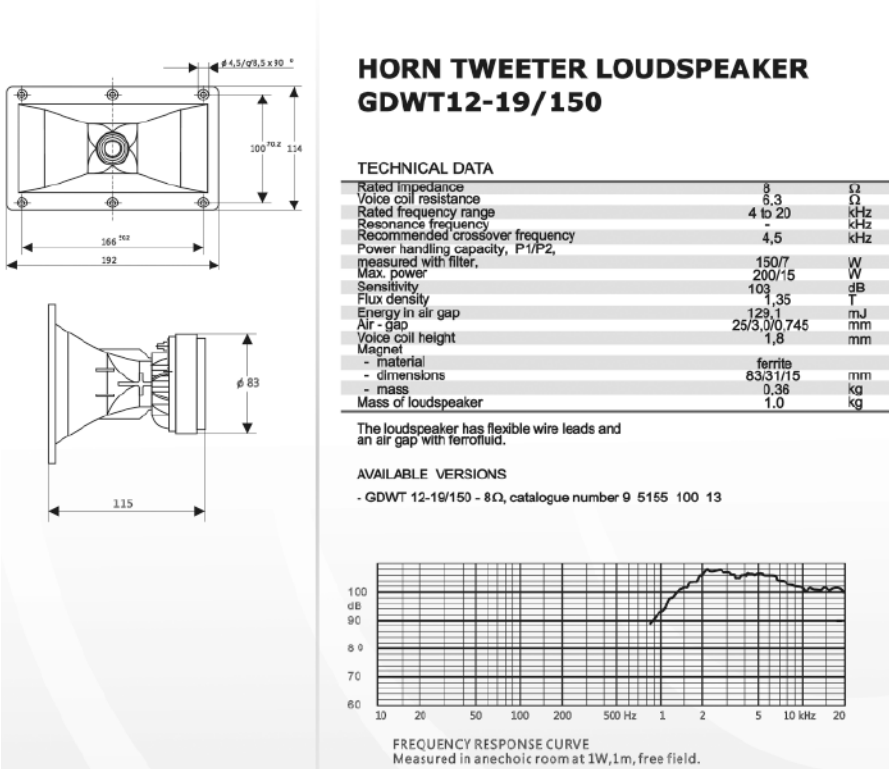


9. Zestaw charakterystyk modułu impedancji w funkcji częstotliwości oraz kąta fazowego w funkcji częstotliwości zestawu głośnikowego typu ZgB-200-4-566 „ZEUS" produkowanego przez wrzesińską firmę Tonsil wykreślonych dla różnych wartości rezystancji włókna wolframowego żarówki samochodowej

Podsumowanie i wnioski

Przedstawiona metodyka przeprowadzania pomiarów pozwala dobrać odpowiednią żarówkę samochodową z włóknem wolframowym do współpracy z dowolnie wybranym filtrem górnoprzepustowym i głośnikiem wysokotonowym. Należy pamiętać o tym, że żarówka powinna zostać podłączona bezpośrednio przed filtrem górnoprzepustowym głośnika wysokotonowego. W przypadku żarówki typu P21W w warunkach przesterowania jej włókno wolframowe osiąga wartość rezystancji zbliżoną do wartości składowej rezystancyjnej uzwojenia cewki zabezpieczanego głośnika wysokotonowego typu GDWT 12-19/150 (**rysunek 10**). Przedstawione zestawy charakterystyk oraz wyniki pomiarów pozwalają określić proporcje pomiędzy wartością mocy wydzielanej na uzwojeniu cewki głośnika a wartością mocy traconej na włóknie wolframowym żarówki samochodowej w wybranych punktach pracy. Wykonany w ten sposób układ limitera ogranicza wartość mocy wydzielanej na uzwojeniu cewki głośnika, co znajduje swoje odzwierciedlenie na wypadkowej charakterystyce poziomu ciśnienia akustycznego w funkcji częstotliwości zestawu głośnikowego (**rysunek 8**) objawiające się niższą efektywnością przetwarzania tonów wysokich. Obecność żarówki samochodowej z włóknem wolframowym ma także wpływ na wypadkową charakterystykę modułu impedancji w funkcji częstotliwości zestawu głośnikowego (**rysunek 9**). Wzrost rezystancji włókna wolframowego żarówki samochodowej powoduje stopniowe obniżanie się i przemieszczanie się wzniesienia na wypadkowej charakterystyce modułu impedancji w funkcji częstotliwości zestawu głośnikowego, którego szczyt ulokowany jest w okolicach częstotliwości 3,0...3,5 kHz przy jednoczesnym podwyższaniu się tej charakterystyki w obszarze częstotliwości z zakresu od 6 kHz do 20 kHz. Wzrost rezystancji włókna wolframowego żarówki samochodowej powoduje także zmniejszanie się wartości kąta fazowego w zakresie częstotliwości od 3 kHz do 20 kHz. Warto zauważyć, że spadek napięcia o wartości już 1 V powoduje

eprasa.pl e016f8d744



TONSIL

HORN TWEETER LOUDSPEAKER
GDWT12-19/150

TECHNICAL DATA

Rated impedance	8	Ω
Voice coil resistance	6,3	Ω
Rated frequency range	4 to 20	kHz
Resonance frequency	-	kHz
Recommended crossover frequency	4,5	kHz
Power handling capacity, P1/P2, measured with filter,	150/7	W
Max. power	200/15	W
Sensitivity	103	dB
Flux density	1,35	T
Energy in air gap	129,1	mJ
Air - gap	25/3,0/0,745	mm
Voice coil height	1,8	mm
Magnet		
- material	ferrite	
- dimensions	83/31/15	mm
- mass	0,36	kg
Mass of loudspeaker	1.0	kg

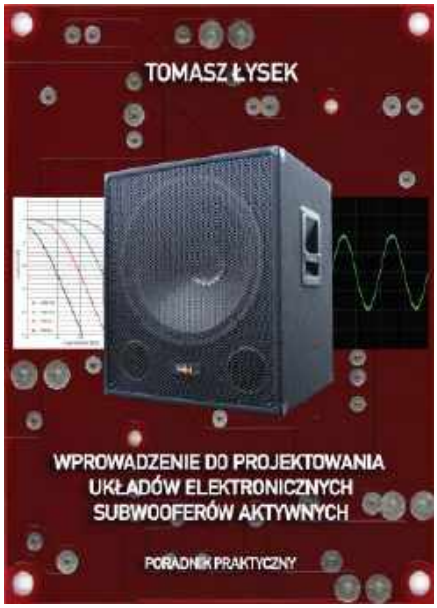
The loudspeaker has flexible wire leads and an air gap with ferrofluid.

AVAILABLE VERSIONS

- GDWT 12-19/150 - 8Ω, catalogue number 9 5155 100 13

10. Karta katalogowa głośnika wysokotonowego typu GDWT 12-19/150 (źródło: https://www.skleptonsil.pl)

widoczne żarzenie się włókna wolframowego żarówki samochodowej. Zbudowany w ten sposób limiter charakteryzuje się łagodnym działaniem polegającym na stopniowym ograniczaniu mocy sygnału oraz dużą bezwładnością. Układ ten z całą pewnością można polecić entuzjastom elektroniki i elektroakustyki.



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

Książka o układach elektronicznych do subwooferów aktywnych

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

mgr inż. Tomasz Łysek

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 e016f8d744

Materiały dodatkowe dostępne są na stronie Silicon Chip: https://tiny.pl/d1brq

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

Tania dwu- lub trójdrożna zwrotnica aktywna, część 2

Aktywna zwrotnica opisana w pierwszej części artykułu charakteryzuje się bardzo dużą elastycznością. Można ją skonfigurować jako zwrotnicę dwudrożną lub trójdrożną, zasilaną prądem zmiennym lub stałym, z regulowanymi poziomami dla wszystkich wyjść i opcjonalnym filtrem poddźwiękowym. Nadaje się świetnie do budowy dwudrożnych lub trójdrożnych zestawów głośnikowych z każdym przetwornikiem sterowanym przez oddzielny wzmacniacz. Może być też używana jako kondycjoner sygnału dla subwoofera Tapped Horn Subwoofer opisanego w miesięczniku „Silicon Chip".

W pierwszej części artykułu znalazło się wyjaśnienie, do czego może przydać się nam zwrotnica aktywna, gdzie takie zwrotnice są wykorzystywane, wyjaśniony został również sposób działania opisanej konstrukcji. Podanych było również kilka wykresów dotyczących osiągów tej zwrotnicy, wykazujących, że nadaje się ona do użytku w systemie hi-fi. Zamieszczony był ponadto wykaz elementów niezbędnych do zbudowania zwrotnicy.

W tym odcinku omówiono czynności wykonywane podczas montażu PCB oraz podano informacje o tym, jak urządzenie należy skonfigurować i jak go używać. Na końcu artykułu znajduje się sekcja rozwiązywania problemów, jeśli takie wystąpią.

Istnieje kilka różnych sposobów na zbudowanie aktywnej zwrotnicy. Dalej będzie wyjaśnione, które części w pewnych przypadkach można pominąć i jak ustawić zworki dla konkretnego zastosowania.

Budowa

Rysunek 15 przedstawia widok płytki drukowanej, który powinien być pomocny podczas budowy zwrtnicy. Jest ona zbudowana na dwustronnej płytce drukowanej (kod 01109211) o wymiarach 176 mm × 117,5 mm.

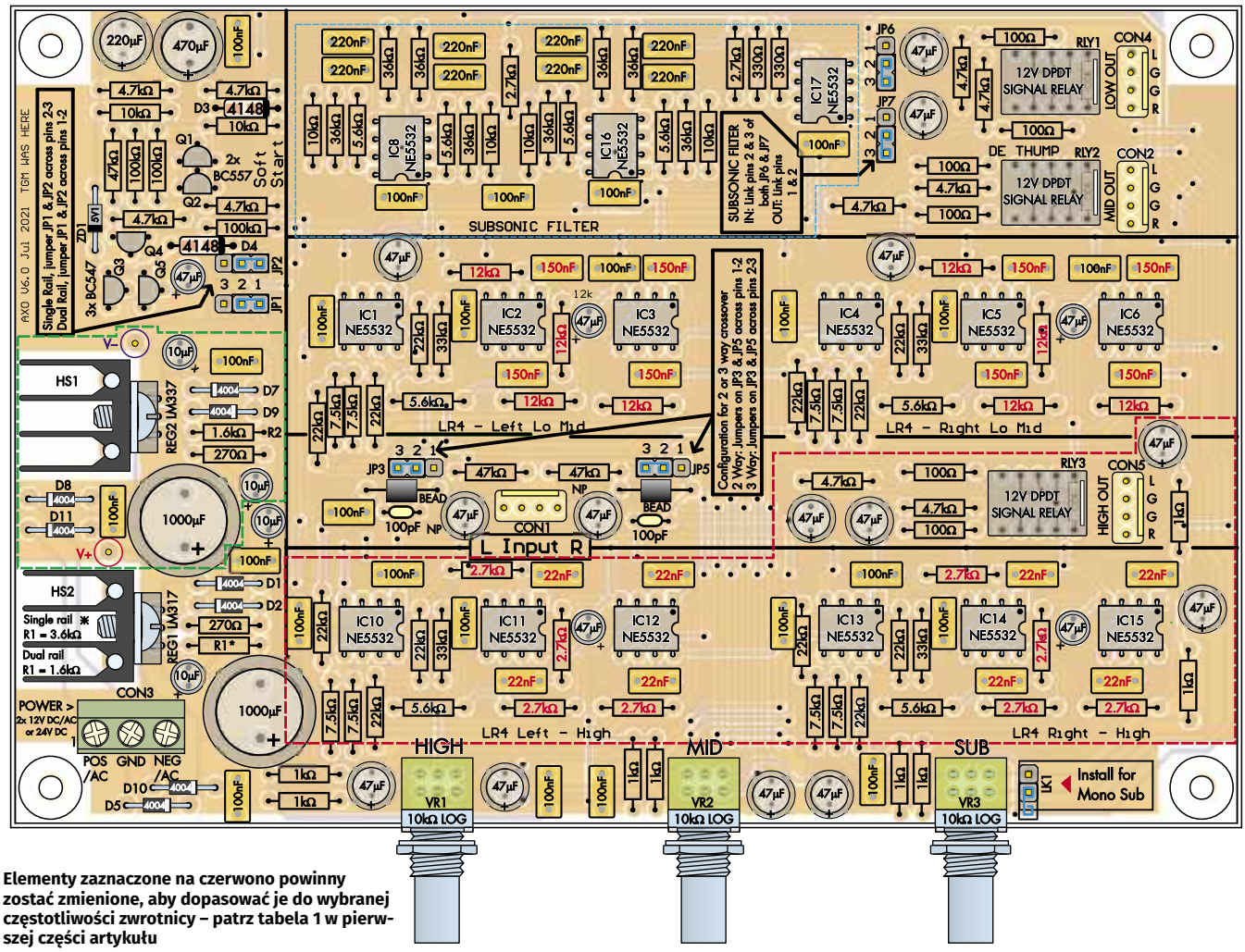
Montaż jest dość prosty. Najpierw należy ustalić, gdzie urządzenie będzie zamontowane i jak zasilane. Jeśli zwrotnicę można umieścić we własnej metalowej

Najważniejsze wskazówki dotyczące lutowania rezystorów i kondensatorów

Jeśli przewidywane jest precyzyjne dobranie częstotliwości punktów podziału zwrotnicy, konieczne będzie odpowiednie dobranie rezystorów i kondensatorów (R i C), odpowiednich dla uzyskania potrzebnych częstotliwości. Następnie należy przylutować kondensatory na płytce. Są one droższe niż rezystory i nie trzeba ich zmieniać. Kolejna czynność, to zastosowanie kołków lutowniczych (można użyć szpilek goldpin) do wszystkich pól rezystorów oznaczonych „R" i przylutowanie do nich rezystorów na górnej stronie płytki. Umożliwi to łatwe ich bocznikowanie lub późniejszą wymianę.

Aby uzyskać dokładnie taką częstotliwość, jaka jest potrzebna można użyć rezystorów z szeregu E24 lub ich równoległych kombinacji.

eprasa.pl e016f8d744



Elementy zaznaczone na czerwono powinny zostać zmienione, aby dopasować je do wybranej częstotliwości zwrotnicy – patrz tabela 1 w pierwszej części artykułu

Rysunek 15. Warstwa opisowa na płytce zwrotnicy ułatwia lokalizację poszczególnych elementów podczas montażu. Należy zwrócić uwagę na to, że płytka jest podzielona na pola obejmujące poszczególne bloki funkcyjne: filtr poddźwiękowy na górze, filtr wysokiej częstotliwości na dole, filtr niskich/średnich częstotliwości pośrodku i zasilacz/układ filtracji zasilania po lewej stronie. Jeśli filtr poddźwiękowy nie będzie używany, można pominąć wszystkie elementy w obszarze zaznaczonym na niebiesko. Jeśli budowany jest aktywny filtr dwudrożny, można pominąć elementy w obszarze zaznaczonym na czerwono. Aplikacje z pojedynczym zasilaniem nie wymagają części znajdujących się w zielonym obszarze

obudowie z wewnętrznym zasilaczem, będzie to rozwiązanie idealne. Należy określić sposób zasilania, pozwoli to wyszczególnić potrzebne do budowy części. W zamieszczonej dalej ramce zebrano informacje dotyczące opcji zasilania.

Kolejny ważny parametr do określenia to częstotliwości punktów podziału zwrotnicy. Informacje o tym były podane w jednej z ramek w pierwszej części artykułu. Wybór częstotliwości podziału będzie miał wpływ na niektóre wartości rezystorów i kondensatorów MKT. Może się zdarzyć, że użytkownik nie będzie miał pewności co do wymaganych częstotliwości. By ułatwić sobie wtedy zadanie i przygotować się na wielokrotną wymianę tych komponentów, warto, zamiast lutować je bezpośrednio do płytki, wlutować do przeznaczonych na te komponenty padów kołki lutownicze (na przykład popularne goldpiny), do których następnie będziemy lutowali docelowe komponenty.

Jeśli potrzebna będzie tylko zwrotnica dwudrożna, żaden z elementów w sekcji wysokich częstotliwości nie jest wymagany (zaznaczone czerwoną przerywaną linią). Podobnie, jeśli nie będzie potrzebny filtr poddźwiękowy, można pominąć elementy znajdujące się w obszarze zaznaczonym przerywaną linią w kolorze niebieskim.

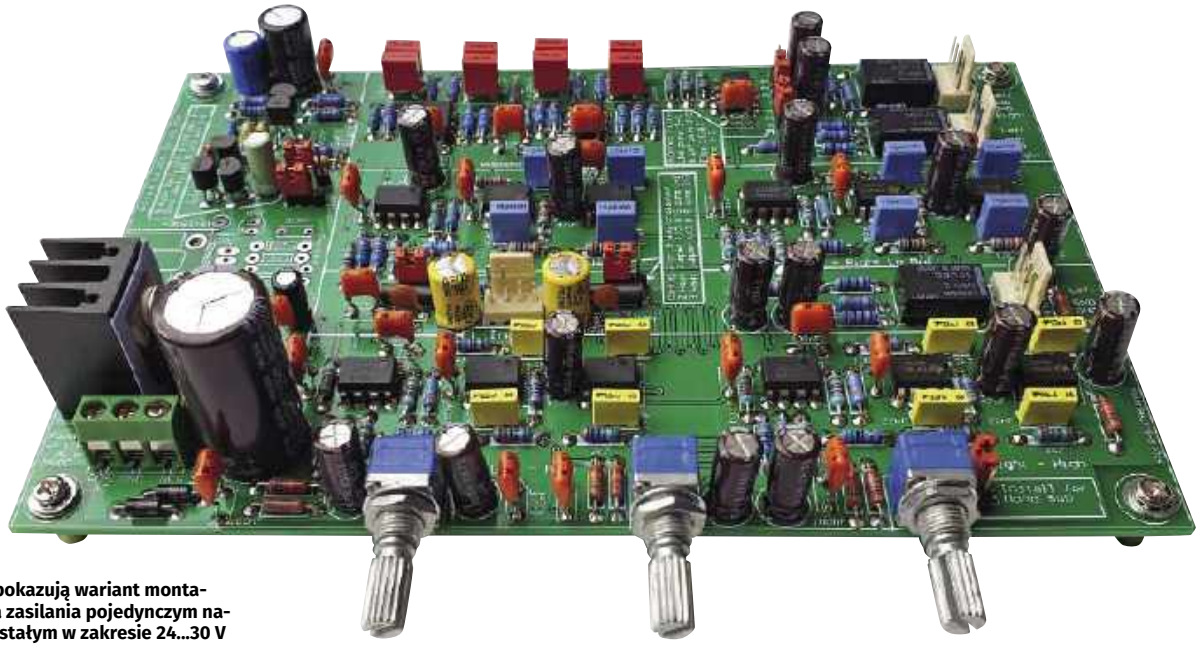
Po ustaleniu wartości potrzebnych elementów i ich skompletowaniu można przystąpić do wlutowania wszystkich rezystorów. Należy pamiętać, że jeśli będzie użyte pojedyncze napięcie stałe, trzeba zmienić R1 na 3,6 kΩ. W takim przypadku można również pominąć REG2 i powiązane z nim elementy.

Po zamontowaniu rezystorów, powinny pozostać nam obcięte po ich montażu fragmenty wyprowadzeń. Nakładamy na te wyprowadzenia koralik ferrytowy i tak wykonane podzespoły montujemy w odpowiednie miejsca na PCB. Przed ich przylutowaniem należy upewnić się, że są one mocno osadzone na płytce drukowanej (odrobina silikonu o neutralnym utwardzeniu pomoże zapobiec ich „grzechotaniu", gdy płytka zostanie poddana wibracjom na skutek działania fal akustycznych). Następnie montowane są wszystkie diody, trzeba przy tym upewnić się, że są zamontowane w kierunku zgodnym z rysunkiem. Nie można tez pomylić trzech różnych typów.

Następne w kolejności są wzmacniacze operacyjne. Można je lutować bezpośrednio do płytki (najbardziej niezawodna metoda) lub umieszczając je w podstawkach, co znacznie ułatwia ich późniejszą wymianę. Niezależnie od zastosowanego podejścia, należy upewnić się, że wszystkie są prawidłowo zorientowane.

Teraz należy zamontować wszystkie kondensatory MKT i ceramiczne, a następnie przekaźniki. Paski na przekaźnikach muszą być skierowane tak, jak pokazano na rysunku 15. Trzeba pamiętać, że budując zwrotnicę dwudrożną, można pominąć przekaźnik RLY3.

eprasa.pl e016f8d744



Zdjęcia pokazują wariant montażowy dla zasilania pojedynczym napięciem stałym w zakresie 24...30 V

Kolejne montowane elementy to gniazda. Gniazda spolaryzowane można umieścić w dowolny sposób, ale zalecana jest orientacja pokazana na rysunku 15. Teraz lutujemy pojedynczą listwę zaciskową ustawioną tak, aby otwory na przewody znalazły się od strony najbliższej krawędzi płytki drukowanej.

Do zamontowania pozostały kondensatory elektrolityczne. Zaczynamy od najmniejszych, kończąc na największych. Na wejściu znajdują się dwa kondensatory niespolaryzowane (bipolarne), po obu stronach CON1 (uwaga, rysunek 15 może w tym względzie mylić ponieważ zawiera znaczniki polaryzacji!), ale wszystkie pozostałe są spolaryzowane. Dłuższe wyprowadzenia powinny trafić do otworów oznaczonych znakiem + na warstwie opisowej PCB.

Następnie montujemy trzy potencjometry lub dwa (z pominięciem VR1, „high"), jeśli budowana jest zwrotnica dwudrożna.

Teraz za pomocą zestawów izolacyjnych należy przymocować stabilizatory do radiatorów i przylutować nóżki radiatorów do płytki drukowanej. Nóżki stabilizatorów należy przylutować do PCB na samym końcu. Nie można pomylić ze sobą tych dwóch stabilizatorów.

Konfiguracja zworek

Przyszedł czas na instalację zworek na listwach JP1...JP6 i LK1. Instrukcje są widoczne na płytce drukowanej, ale na wypadek, gdyby nie były jasne:

1. W przypadku pracy z zasilaniem pojedynczym, dla JP1 i JP2, należy umieścić zworki między szpilkami 2 i 3. W przypadku pracy z zasilaniem symetrycznym, podwójnym zasilaniem DC (split rail) lub AC, umieszczamy je między szpilkami 1 i 2.
2. W przypadku pracy dwudrożnej, dla listew JP3 i JP4 zworki należy umieścić między szpilkami 1 i 2 tych listew. W przypadku pracy w trybie trójdrożnym należy je umieścić między szpilkami 2 i 3.
3. Jeśli planowane jest użycie zalecanego filtra poddźwiękowego, należy zmostkować szpiki 2 i 3 JP5 i JP6. W przeciwnym razie należy zmostkować szpilki 1 i 2.
4. Jeśli wyjścia „niskie" (głośnik niskotonowy/subwoofer) mają być monofoniczne, na szpilkach LK1 należy umieścić zworkę. W przeciwnym razie LK1 pozostawiamy otwarte.

Tworzenie połączeń

Dla wszystkich wejść i wyjść zostały zastosowane wtykane, spolaryzowane złącza szpilkowe. Pozwala to na wykonanie kabli pasujących do danej konstrukcji. Możliwość odłączenia płytki zapewnia porządek i znacznie ułatwia testowanie/naprawę.

Jeśli nie spodziewamy się serwisowania urządzenia, kable można przylutować bezpośrednio do pól lutowniczych gniazd, ale znacznie bardziej profesjonalny efekt zostanie uzyskany, jeśli zostaną zastosowane wspomniane pary wtyków i gniazd.

Konfiguracja i testowanie

Po umieszczeniu zworek zgodnie z powyższym opisem, podłączamy zasilanie do gniazda CON3.

W przypadku transformatora z odczepem środkowym (18...24 V AC) odczep jest podłączony do środkowego pinu, a końce uzwojeń do dwóch pozostałych (nie ma znaczenia, w którą stronę).

W przypadku transformatora z pojedynczym uzwojeniem wtórnym (9...12 V AC) jeden koniec łączymy do środkowego styku, a drugi koniec do jednego ze styków zewnętrznych.

W przypadku pojedynczego zasilania DC (około 24...30 V DC), do środkowego pinu należy dołączyć masę, a wyjście dodatnie do jednego z pinów zewnętrznych.

W przypadku podwójnej linii DC (±12 V... ±15 V), 0 V należy podłączyć do środkowego pinu, a dwie linie zasilania do pinów zewnętrznych, w dowolną stronę.

Jeśli wzmacniacze operacyjne są umieszczone w podstawkach, można je na czas testów wyjąć.

Teraz dołączamy zasilanie i sprawdzamy napięcie wyjściowe REG1. Jako masy pomiarowej można użyć środkowej śruby bloku zacisków CON3 i zmierzyć punkt testowy oznaczony jako „+9Volts" w pobliżu REG1. Odczyt powinien mieścić się w zakresie +17 V...+19 V dla pracy z pojedynczym zasilaniem, lub +8 V...+10 V w przeciwnym razie.

W przypadku zasilania dual-rail lub AC, należy sprawdzić również wyjście REG2. W tym celu można skorzystać z punktu testowego „−9Volts" ulokowanego w pobliżu REG2. Można spodziewać się odczytu między −8 V a −10 V.

Jeśli używane jest pojedyncze zasilanie prądem stałym, należy sprawdzić, czy napięcie połowy zasilania jest prawidłowe, dzieląc odczyt wyjściowy REG1 na pół, a następnie mierząc napięcie na lewym końcu dwóch rezystorów 1 kΩ po lewej stronie

eprasa.pl e016f8d744

skrajnego lewego potencjometru. Odczyt powinien być bardzo zbliżony do przewidywanej wartości.

Jeśli używany jest zasilacz z pomiarem prądu (lub dołączony jest amperomierz szeregowo z zasilaczem), sprawdzamy, czy pobór prądu wynosi około 150 mA z zainstalowanymi wzmacniaczami operacyjnymi lub mniej niż 50 mA bez nich. Jeśli jest znacznie wyższy (powiedzmy >250 mA i >100 mA odpowiednio), to jest problem, być może gdzieś jest zwarcie.

Ostatnim testem jest sprawdzenie, czy każde wyjście przetwarza prawidłowy zakres częstotliwości i czy można regulować poziom głośności każdego z zakresów za pomocą odpowiedniego potencjometru. Chociaż można to zrobić za pomocą generatora przebiegu sinusoidalnego i oscyloskopu, łatwo jest to sprawdzić również bez żadnego z tych przyrządów. Wystarczy podłączyć źródło sygnału akustycznego do wejść urządzenia (np. z muzyką rockową lub pop) i dołączyć kolejno każdą parę wyjść do wzmacniacza audio (upewniając się, że jest on początkowo ściszony!). Sprawdzamy, czy na wyjściach niskotonowych występują głównie basy, na wyjściach średniotonowych sygnały o średnim zakresie (np. ludzki głos), a na wyjściach wysokotonowych tony wysokie (talerze perkusyjne itp.).

Sprawdzamy ponadto, czy dźwięk jest czysty i czy potencjometry prawidłowo regulują poziomy wyjściowe.

Jedynym aspektem, którego tak naprawdę nie można przetestować za pomocą uszu, jest działanie filtra poddźwiękowego, ponieważ ma on na celu usunięcie sygnałów, których nie można usłyszeć. W tym celu potrzebny będzie generator przebiegu sinusoidalnego ustawiony na niską częstotliwość (np. 10 Hz) i obejrzeć przebiegi na oscyloskopie, aby sprawdzić, czy sygnał jest mocno tłumiony. Powinien on być obniżony o 6 dB przy 20 Hz i znacznie więcej (mniej niż 1/10 pierwotnej amplitudy) przy 10 Hz.

Jeśli którakolwiek z powyższych kontroli nie powiedzie się, trzeba wyłączyć zasilanie i zapoznać się z sekcją rozwiązywania problemów.

Końcowa konfiguracja i użytkowanie

Konfiguracja aktywnej zwrotnicy sprowadza się do ustawienia odpowiednich wartości tłumienia dla każdego kanału. Jeśli budowany jest skomplikowany system głośników, uzyskanie prawidłowych częstotliwości i poziomów zwrotnicy będzie wymagało dokonania wielu pomiarów i poprawek. Wykracza to poza zakres tego artykułu.

Jak można zauważyć, w artykule nie zostały podane szczegóły dotyczące sposobu montażu lub okablowania aktywnej zwrotnicy. Można ją zbudować jako samodzielną jednostkę, zintegrowaną z przedwzmacniaczem, zintegrowaną ze wzmacniaczem mocy lub jako część kompletnego systemu przedwzmacniacza, albo zwrotnicy, albo wzmacniacza.

Chociaż aktywna zwrotnica nie musi mieć własnej obudowy, można ją umieścić w sposób pokazany powyżej. W przedstawionym przykładzie wykorzystano obudowę Altronics H0480F o szerokości 200 mm, głębokości 155 mm i wysokości 65 mm. Do zasilania użyto zasilacza 12 V AC (Altronics M9267A), ale wersja 0,5 A będzie również działała prawidłowo

W wykazie elementów urządzenia do samodzielnego montażu zostało wymienionych kilka przewodów ekranowanych i gniazd RCA do montażu w obudowie.

Gniazda RCA są montowane w obudowie, jedna para jako wejścia i dwie lub trzy pary jako wyjściowe. Następnie podłączamy je do spolaryzowanych wtyczek za pomocą przewodu ekranowanego. Ekrany uziemienia należy podłączyć do dwóch środkowych pinów, a sygnały lewy/prawy do dwóch zewnętrznych.

Pozostaje jeszcze okablowanie zasilające, które można połączyć do zamontowanego w obudowie gniazda zasilającego przeznaczonego do pracy z zasilaczem DC lub AC. Alternatywnie, można użyć odpowiednio dużej obudowy, by umieścić w niej również transformator sieciowy. Bez doświadczenia w budowie sprzętu zasilanego z sieci nie należy jednak stosować tego podejścia. Potrzebna jest w tym przypadku znajomość zasad bezpieczeństwa. Uziemienie metalowej obudowy i ramy transformatora powinno być wykonane zgodnie z obowiązującymi w tym zakresie zasadami.

W przypadku integracji z przedwzmacniaczem, wejście może być dołączone bezpośrednio do wyjścia przedwzmacniacza, a nie

eprasa.pl e016f8d744

Różnice między zasilaniem pojedynczym lub podwójnym

W przypadku pracy z pojedynczym zasilaniem DC, napięcie powinno wynosić około 18 V (w rzeczywistości 17,9 V). Układ sztucznej masy generuje następnie masę sygnału +9 V, umożliwiając wzmacniaczom operacyjnym działanie z wirtualnych linii zasilania ±9 V.

W tym celu rezystor odniesienia LM317 (REG1), R1, musi być równy 3,6 kΩ, jak pokazano na schemacie układu i widoku PCB. W tym przypadku nie ma potrzeby montowania elementów linii ujemnej (LM337 i powiązanych części).

W przypadku pracy z podwójnym napięciem (w tym dowolnego zasilania prądem przemiennym) napięcie LM317 powinno wynosić około 9 V (w rzeczywistości 8,7 V). W tym celu rezystor odniesienia LM317 (REG1), R1, musi być równy 1,6 kΩ, zamiast 3,6 kΩ. Domyślnie LM337 wytwarza napięcie -9 V (w rzeczywistości –8,9V).

Niezależnie od tego, zwrotnica pobiera mniej niż 150 mA (prototypy pobierały 120 mA), więc każde zasilanie 24 V DC lub ±15 V zdolne do dostarczenia 150...200 mA powinno być dobre. Napięcie zasilania powinno być utrzymywane poniżej 35 V DC. W razie potrzeby, do obniżenia napięcia można użyć rezystora 5 W. Rezystor 100 Ω 5 W obniży to napięcie o około 12 V.

Ujęcie porównawcze pokazujące, które części zostały pominięte w wersji z pojedynczą linią zasilania (pokazanej powyżej) i w wersji z podwójną linią poniżej

do gniazd (można ewentualnie zamontować gniazda i zmostkować je zewnętrznie, co zapewni maksymalną elastyczność). Podobnie, jeśli wzmacniacze są wbudowane w tę samą obudowę (najprawdopodobniej z zasilaczem sieciowym), gniazda wyjściowe mogą być podłączone bezpośrednio do wejść modułu wzmacniacza lub za pośrednictwem zestawów gniazd pre-out/pre-in.

Choć w systemie zintegrowanym zwrotnica może być zasilana z zasilacza przedwzmacniacza, powstaje w takim przypadku ryzyko utworzenia pętli masy i pojawienia się przydźwięków i szumów. Korzystanie z niezależnego zasilacza pozwala uniknąć takich problemów. Jeśli wystąpi przydźwięk, pierwszą rzeczą, którą należy wypróbować, jest zasilanie aktywnej zwrotnicy z niezależnego źródła.

Używanie zwrotnicy z subwooferem Tapped Horn Subwoofer

Zwrotnica aktywna to elastyczna konstrukcja nadająca się do wielu zastosowań, jej idea wywodzi się z projektu subwoofera Tapped Horn opublikowanego w numerze z września 2021 r. (*siliconchip.com.au/Article/15028*). Subwoofer ten wymaga filtra pasmowoprzepustowego, ponieważ ma bardzo nierówną charakterystykę częstotliwościową powyżej około 80 Hz i może zostać łatwo uszkodzony przez sygnały poddźwiękowe.

Opisywana w artykule zwrotnica aktywna jest idealna do jej sterowania. Konfiguracja dwudrożna jest w dobra, chociaż konfiguracja trójdrożna również będzie działać. Trzeba pozostawić filtr dolnoprzepustowy dla wyjścia LF na poziomie 80 Hz i upewnić się, że włączony jest filtr podźwiękowy. Następnie można sterować posiadany zestaw hi-fi sygnałem z wyjść MF. Regulacja poziomu wyjściowego LF pozwoli ustawić poziom subwoofera odpowiedni dla pomieszczenia użytkownika.

Rozwiązywanie problemów

Jeśli wystąpią trudności z uruchomieniem zwrotnicy, najpierw należy sprawdzić, czy wszystkie zworki zostały prawidłowo włożone. Następnie dokładnie sprawdzamy płytkę. Poszukujemy zimnych lutów lub niekompletnie uformowanych połączeń lutowniczych, zwarć (np. nadmiaru cyny, łączącej sąsiadujące pady, które nie powinny być połączone), odwróconych elementów (elementów zamontowanych niezgodnie z oznaczeniami polaryzacji na PCB), zamienionych elementów itp. Sprawdzamy, czy wszystkie wartości rezystorów i kondensatorów odpowiadają wartościom pokazanym na rysunku 15.

eprasa.pl e016f8d744

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

Wszelkie znalezione problemy należy oczywiście naprawić, po czym testy powinny być rozpoczęte od nowa.

Jeśli urządzenie nadal nie działa, trzeba sprawdzić, czy napięcie wejściowe zasilacza jest prawidłowe i czy działa sekcja zasilania.

W przypadku wersji z pojedynczym zasilaniem należy sprawdzić, czy napięcie sztucznej masy wynosi około połowy całkowitego napięcia zasilającego, jak opisano powyżej, plus/minus 200 mV. Sprawdzamy również, czy całkowite napięcie między nóżkami 4 i 8 każdego wzmacniacza operacyjnego jest dwukrotnie wyższe, tj. 17,8 V ±200 mV.

W przypadku wersji z dwoma liniami zasilającymi należy sprawdzić, czy amplitudy napięcia linii dodatniej i ujemnej mieszczą się w zakresie wartości nominalnych ±200 mV.

Kliknięcie przekaźników powinno być słyszalne po około pięciu sekundach od włączenia zasilania. Nie jest ono głośne, ale powinno być słyszalne. Jeśli nie, może to oznaczać problem z tą częścią układu, brakiem zrównoważenia linii zasilającej lub zwarciem na linii wirtualnej masy, co powoduje, że przekaźniki nie są zwalniane.

Jeśli przekaźniki nie klikną, trzeba sprawdzić napięcia na wyprowadzeniach tranzystorów Q1 i Q2 w obwodzie wykrywania zasilania. Po kilku sekundach napięcia baza-emiter Q1 i Q2 powinny być niższe niż 400 mV (w urządzeniu prototypowym ustabilizowały się do około –30 mV). Jeśli zostanie zmierzone napięcie 0,6 V lub więcej, trzeba sprawdzić wartości rezystorów w tej części układu.

Sprawdzamy, czy tranzystor Q4 jest wyłączony po kilku sekundach. Jego napięcie baza-emiter powinno spaść do wartości bliskiej zeru. Sprawdzamy też, czy po ustabilizowaniu się sytuacji napięcie baza-emiter tranzystora Q5 wynosi około 0,6 V.

Spowoduje to włączenie tej pary układu Darlingtona, a tym samym przekaźników. Sprawdzamy, czy przekaźniki są zainstalowane prawidłowo i czy są one ustawione we właściwej pozycji.

Jeśli linie zasilające mają zbyt niskie napięcia, stabilizatory przestaną działać. Obwód *de-thump* wykryje wtedy tętnienia na liniach zasilających i odłączy wyjście.

Gdy zasilacze działają i „wyłączanie wyciszania" działa, można dołączyć sygnał wejściowy i prześledzić jego przebieg w całym układzie. Czy istnieją sygnały wyjściowe z filtrów, które trafiają do potencjometrów? Czy potencjometry są odpowiednio ustawione?

Filtry 24 dB/oktawę mają stromą charakterystykę, więc jeśli zostanie zastosowany sygnał 1 kHz z wartościami filtrów podanymi w artykule, na wejściach niskich tonów będzie on całkowicie stłumiony, a na wyjściu wysokich tonów sygnał wprawdzie pojawi się, ale będzie bardzo stłumiony.

Końcowe przemyślenia

Maksymalne dopuszczalne napięcie wejściowe dla zwrotnicy wynosi 35 V DC. Po jego osiągnięciu radiatory stają się dość ciepłe. Trzeba sprawdzić to w swojej konstrukcji, a jeśli są zbyt ciepłe można dołożyć rezystor 5 Ω szeregowo ze źródłem zasilania. Zabieg ten powinien obniżyć napięcie wejściowe. Można zacząć od 100 Ω. Przy poborze prądu 120 mA, spowoduje to spadek napięcia 12 V i wydzielenie mocy 1,5 W.

Gdy wszystko jest gotowe i działa, można dołączyć głośniki. Zalecane jest dołączenie głośników wysokotonowych za pomocą bipolarnych kondensatorów elektrolitycznych o wysokiej pojemności, co powinno chronić je przed wszelkimi stanami nieustalonymi prądu stałego lub niskimi częstotliwościami, które może emitować wzmacniacz.

Dobrze sprawdzi się niespolaryzowany kondensator 100 µF 50 V, taki jak Altronics Cat R6590A. Charakteryzuje się on prądem tętnień na poziomie 900 mA, co jest więcej niż wystarczające dla głośnika wysokotonowego. Przy częstotliwości 2 kHz będzie on miał impedancję 0,8 Ω i wprowadzi tłumienie około 0,8 dB. W razie potrzeby można dwukrotnie zwiększyć pojemność kondensatora.

Zazwyczaj regulacja głośności pozostaje w przedwzmacniaczu, który steruje wejściem aktywnej zwrotnicy. Do ustawienia poziomów zwrotnicy idealnie byłoby użycie przyrządów pomiarowych. Przy ich braku ciekawym rozwiązaniem może być zastosowanie odbiornika FM ustawionego między stacjami. Na jego wyjściu pojawia się całkiem dobry szum biały. Może być on zastosowany do ustawienia trzech regulatorów poziomu. W wyniku regulacji we wszystkich trzech głośnikach powinno się uzyskać pozornie równe poziomy głośności. Jest to całkiem dobry punkt wyjścia do precyzyjnego dostrojenia poziomów. ■

Phil Prosser

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

Własna obudowa

Prawdopodobnie wielu konstruktorów wbuduje aktywną zwrotnicę w inny element wyposażenia, ale z pewnością można ją umieścić również we własnej obudowie, jak pokazano na głównym zdjęciu. Umieszczenie jej w obudowie jest dość proste.

Prototyp autora był zasilany z zasilacza wtyczkowego 12 V AC zawierającego mały transformator sieciowy z pojedynczym uzwojeniem wtórnym 12 V AC. W tej konfiguracji diody prostownicze działają jako półokresowy podwajacz napięcia, wytwarzając napięcia +12 V i –12 V DC (w przybliżeniu) do zasilania wbudowanych stabilizatorów liniowych +9 V i –9 V.

W tym przypadku każdy kondensator filtrujący jest „ładowany" z częstotliwością 50 Hz, a nie 100 Hz, jak miałoby to miejsce w przypadku transformatora z dwoma uzwojeniami wtórnymi 12 V lub uzwojeniem wtórnym 24 V z odczepem środkowym. Jest to wygodne, a analiza pokazuje, że układ działa dobrze i nie wpływa to na osiągi urządzenia.

Przedstawiona konfiguracja działała idealnie, bez trzasków przy włączaniu i wyłączaniu. Nawet w przypadku subwoofera z obciążeniem tubowym o skuteczności bliskiej 110 dB przy 1 W/1 m, nie było szumów ani zakłóceń (takie było zastosowanie tego konkretnego urządzenia).

Poniżej wymieniono dodatkowe części używane do wbudowania zwrotnicy aktywnej w obudowę. Należy pamiętać, że niektóre z tych części są sugerowane w głównym wykazie elementów, ale ta jest bardziej kompleksowa.

Najpierw należy zamontować płytkę drukowaną w dolnej części obudowy za pomocą gwintowanych elementów dystansowych i śrub, złącza do tylnego panelu i przełącznik do przedniego panelu. Następnie wystarczy przylutować wszystkie przewody do tych złączy i przełączników oraz dołączyć pozostałe końce do odpowiednich punktów na płytce.

Wykaz elementów:

1 obudowa z tworzywa ABS, 200 mm × 155 mm × 65 mm [Altronics H0480F, Jaycar HB5912]
1 zasilacz wtyczkowy 12 V AC 500 mA [Altronics M9265A, Jaycar MP3058]
1 gniazdo zasilania DC do montażu panelowego, wewnętrzna średnica bolca 2,1 mm [Altronics P0628, Jaycar PS0522]
4 gwintowane dystanse M3 o długości 20 mm [Altronics H1250, Jaycar HP0907 25 mm]
8 śrub z łbem walcowym M3 × 6 mm [Altronics H3110A, Jaycar HP0400]
4 pozłacane czerwone gniazda RCA do montażu panelowego [Altronics P0152, Jaycar PS0259]
4 pozłacane białe gniazda RCA do montażu panelowego [Altronics P0151, Jaycar PS0261]
1 małe pokrętło pasujące do wałka wielowypustowego 18T [Altronics H6510, Jaycar HK7734]
1 przełącznik zasilania do montażu panelowego [np. Altronics S1040, Jaycar ST0581]
1 czerwony przewód zasilający o długości 1 m [Altronics W2250, Jaycar WH3010]
1 czarny przewód zasilający o długości 1 m [Altronics W2251, Jaycar WH3011]
1 przewód ekranowany audio typu ósemka o długości 2 m [Altronics W2995, Jaycar WB1506]
1 rurka termokurczliwa o długości 100 mm i średnicy 5 mm [Altronics W0913A, Jaycar WH5533]
1 rurka termokurczliwa o długości 100 mm i średnicy 1,5 mm [Altronics W0910A, Jaycar WH5530]

eprasa.pl e016f8d744

Publikowany w jednym z wydań miesięcznika „Silicon Chip" projekt elastycznego cyfrowego kontrolera oświetlenia („Flexible Digital Lighting Controller") to nowa konstrukcja przeznaczona do sterowania oświetleniem zasilanym z sieci lub adresowalnymi taśmami oświetleniowymi LED RGB. Urządzenie pozwala tworzyć spektakularne pokazy świetlne. Opisany w artykule translator umożliwia działanie wszystkich wcześniejszych jednostek podrzędnych (slave) Lighting Controller z nowym systemem.

Materiały dodatkowe dostępne są na stronie Silicon Chip: https://tiny.pl/d455w
Materiały dodatkowe są również dostępne na stronie elportal.pl/do-pobrania

Translator cyfrowych sterowników oświetlenia

Cyfrowy kontroler oświetlenia opublikowany w wydaniach z października, listopada i grudnia 2010 r. (*siliconchip.com.au/Series/14*) umożliwia stworzenie choreografii muzycznej dla maksymalnie 32 żarówek zasilanych z sieci lub taśm LED 12 V. Jest on sterowany przez jednostkę nadrzędną (master) opartą na mikrokontrolerze dsPIC33FJ64, który steruje oświetleniem i odtwarza muzykę.

10 lat później został zaprojektowany elastyczny cyfrowy sterownik oświetlenia (*siliconchip.com.au/Series/351*), który zastąpił starsze urządzenia. Zachowano podobieństwo koncepcji nowego sterownika do starszych rozwiązań. Nowe urządzenie może sterować maksymalnie 64 kanałami oświetleniowymi. Jedną z najważniejszych zmian jest dodanie ściemniania na tylnym zboczu (*trailing edge*) zamiast stosowanego wcześniej ściemniania na przednim zboczu (*leading edge*), które jest odpowiednie tylko dla żarówek.

Ściemnianie trailing edge jest idealne dla nowoczesnych lamp LED zasilanych z sieci, ponieważ łagodzi prądy rozruchowe poprzez włączanie w pobliżu przejścia przez zero napięcia sieciowego. Metoda ta jest również w pełni kompatybilna z żarówkami.

Zaprojektowane zostało ponadto odrębne urządzenie slave do obsługi tak zwanych „inteligentnych" niskonapięciowych taśm LED, opublikowana w grudniowym wydaniu Silikon Chip z roku 2020. Uwzględniono w nim opcje konfigurowania grup wielu diod LED w celu pokrycia większego obszaru. W ten sposób nowy system może sterować oświetleniem LED zasilanym z sieci lub niskonapięciowo.

Oba wspomniane urządzenia slave są adresowalne, więc kombinacja sieciowych i niskonapięciowych diod LED może być synchronicznie sterowana przez ten sam kanał.

Systemy 2010/11 i 2020 są jednak niekompatybilne i używają zupełnie innych protokołów sygnalizacyjnych i inne strategie sterowania. Dlatego za pomocą starszego cyfrowego sterownika oświetlenia trudno jest zmodernizować system.

Przykładowo, starszy cyfrowy sterownik oświetlenia nieustannie przesyła dane w celu

To niewielkie urządzenie łączy w sobie dwa różne systemy cyfrowego sterownika oświetlenia. Pobiera dane wejściowe z dowolnego urządzenia master Flexible Digital Lighting Controller 2020 (mogą to być po prostu płytki Arduino) i może sterować starszymi urządzeniami slave Digital Lighting Controller z 2010 lub 2011 roku. Altronics nadal oferuje zestawy dla jednostek slave (Cat K5886 i K5887)

eprasa.pl e016f8d744

precyzyjnego sterowania każdym zdarzeniem przełączania w czasie zgodnie z przebiegiem sieci. Występuje tu około 2000 zdarzeń przełączania na sekundę. Z drugiej strony, Flexible Lighting Controller przesyła dane tylko wtedy, gdy wyświetlacz wymaga zmiany, a urządzenia podrzędne obsługują synchronizację sieci.

Cechy

- Umożliwia sterowanie urządzeniami slave Digital Lighting Controller z lat 2010 i 2011 za pomocą urządzeń master Flexible Digital Lighting Controller (opisanych w 2020 r.)
- Jednostki slave 2010, 2011 i 2020 mogą być mieszane i kontrolowane przez pojedynczą jednostkę master 2020
- Kompaktowa jednostka mieści się w obudowie UB5 Jiffy
- Zasilany zasilaczem wtyczkowym 9 V AC
- Używa do połączeń standardowych kabli Ethernet CAT5/CAT6

Translator

Logicznym sposobem na wypełnienie tej luki jest zastosowanie translatora protokołów. Opisany w artykule Translator odbiera dane w „nowym" formacie i przesyła je dalej w „starym" formacie. Oznacza to, że jednostka główna zaprezentowana w listopadzie 2020 r. może być używana do sterowania zarówno starszymi jednostkami podrzędnymi, jak i tymi nowszymi, dla których pierwotnie została stworzona.

Master z listopada 2020 r. jest oparty na kicie Micromite BackPack i oferuje interfejs graficzny, którego brakowało w jego starszej wersji. Można więc teraz używać go jako urządzenia nadrzędnego (master) sterującego dowolnym z czterech różnych typów urządzeń podrzędnych (slave).

Możliwe jest ponadto użycie konwertera USB-Serial do sterowania urządzeniami podrzędnymi Flexible Digital Lighting Controller za pomocą programu Processing. W rzeczywistości nowszy protokół jest tak prosty, że jako urządzenia master takiego systemu można nawet użyć płytki Arduino.

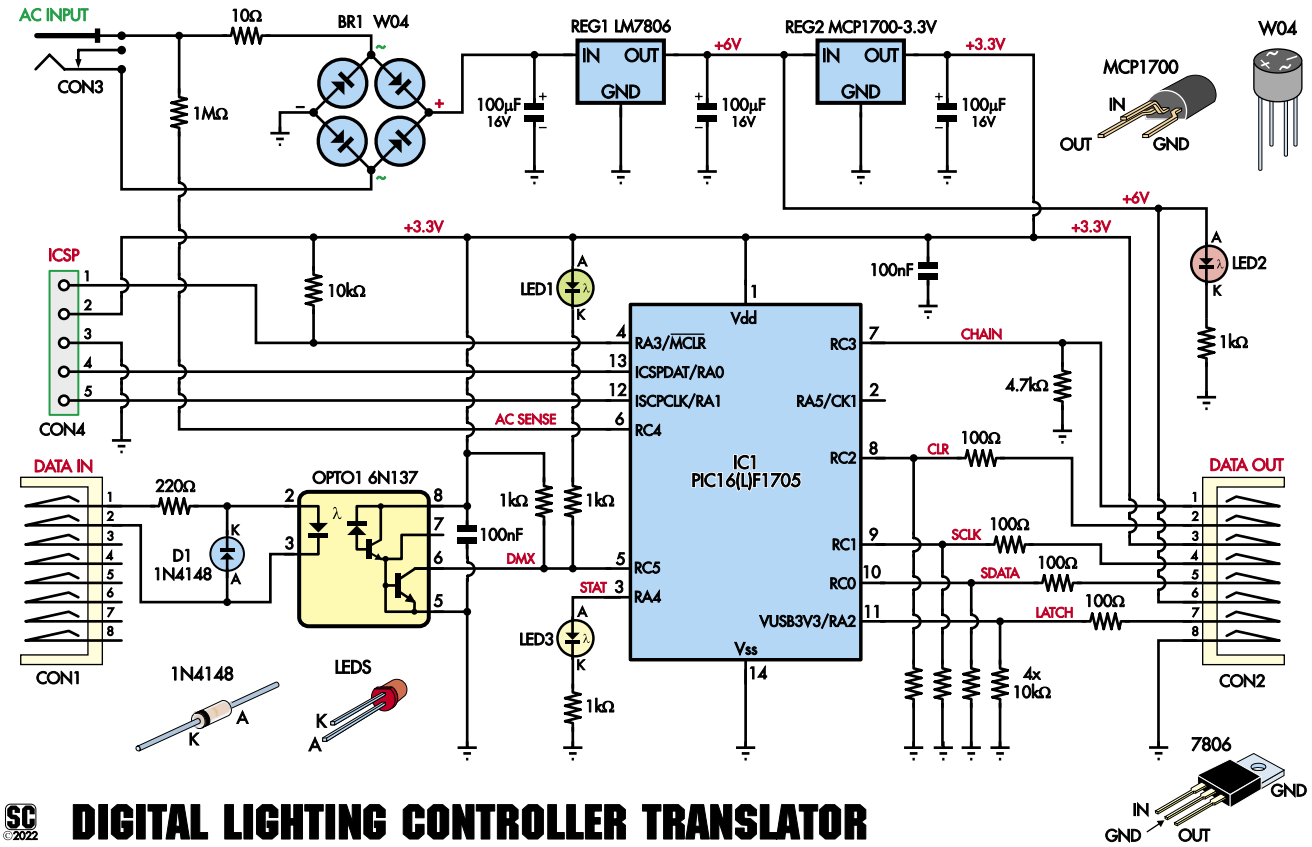
Stary protokół sterowania

Oba systemy Digital Lighting Controller wykorzystują sygnały logiczne przesyłane kablem CAT5/CAT6 zakończonym wtyczkami RJ45 (podobnymi do kabli Ethernet). Ale jest to tak naprawdę wszystko, co je łączy.

Starszy system przekazuje sygnały w standardzie 3,3 V czterema żyłami kabla. Są one używane do sterowania liniami DATA, CLOCK, LATCH i RESET rejestru przesuwającego 74HC595. Wyjścia rejestru przesuwającego są następnie używane do sterowania MOSFET-ami (dla wersji LED) lub triakami (dla wersji 230 V).

Pozostałe cztery linie to: zasilanie 6 V i 3,3 V, masa i linia wykrywania długości łańcucha. W wersji 230 V do oddzielenia napięcia sieciowego od sygnałów sterujących w każdym urządzeniu podrzędnym zastały zastosowane optoizolatory, wersja LED nie ma takiego rozwiązania. W ten sposób większość obwodów jest dołączona do tej samej linii napięciowej. W rzeczywistości jednostka główna zapewnia zasilanie i jest bezpośrednio podłączona do wszystkich rejestrów przesuwających w łańcuchu.

System ten przesyła dane do rejestrów przesuwających 20 razy w każdej połówce cyklu sieci. Linia wykrywania długości łańcucha służy do wykrywania liczby podłączonych urządzeń slave, i jeśli podłączonych jest mniej niż pełna liczba urządzeń slave, może zmniejszyć ilość wysyłanych danych. Musi ponadto synchronizować swoje dane z przebiegiem sieci, aby triaki były prawidłowo wyzwalane. System taki działa



SC 2022 **DIGITAL LIGHTING CONTROLLER TRANSLATOR**

Rysunek 1. Schemat translatora jest oparty na tym samym schemacie optoizolowanego odbiornika, co nowsze jednostki slave „Flexible". Para stabilizatorów zapewnia zasilanie 3,3 V i 6 V potrzebne do sterowania starszymi urządzeniami slave, podczas gdy cztery piny we/wy generują dane przy użyciu tego samego interfejsu, co oryginalna jednostka master oparta na mikrokontrolerze dsPIC33FJ64

eprasa.pl e016f8d744

dobrze, ale wymaga dużej szybkości transmisji danych i ciągłej uwagi ze strony głównego mikrokontrolera.

Nowy protokół

Nowy system przekazuje znaczną część odpowiedzialności za sterowanie do urządzeń slave, z których każdy ma własny mikrokontroler. Każdy slave ma również optoizolator zapewniający separację galwaniczną od magistrali, a tym samym od mastera.

Nowy protokół jest inspirowany protokole DMX-512, który jest używany w profesjonalnych systemach sterowania oświetleniem. W DMX-512 zastosowano sygnały różnicowe o poziomach zgodnych z RS-485, przesyłane z prędkością 250000 bodów. W nowym protokole zastosowano pojedynczy sygnał logiczny transmitowany z szybkością 38400 bodów, ponieważ jest on łatwiejszy w utworzeniu i interpretacji.

Podobnie jak w DMX-512, początek ramki jest oznaczony stanem „break" na szeregowej linii danych. Jest to okres około 13 bitów niskiego (nie spoczynkowego) poziomu danych i nie jest to stan, który występuje w innej formie podczas normalnej transmisji.

Pierwszy bajt danych to 0x00. Określa on typ ramki, kolejne dane zawierają wartości jasności lampy. Istnieją inne typy ramek DMX-512, ale nie są używane w naszym systemie.

Rzeczywiste dane następują jako kolejne dane szeregowe. Pierwszy bajt po 0x00 jest wysyłany do pierwszej lampy, następny do drugiej i tak dalej, aż do 64 lamp.

Jeśli planowana jest implementacja własnego mastera, można również zapoznać się z kodem Arduino i Processing.

Układ

Na **rysunku 1** został pokazany schemat translatora, który ma wiele wspólnego z urządzeniami slave Flexible Digital Lighting Controller (opisanymi w wydaniach Silikon Chip z października i grudnia 2020 r.). We wszystkich trzech zastosowano 14-nóżkowe mikrokontrolery i optoizolatory 6N137, które zapewniają izolowany odbiór danych z urządzenia master.

Układ IC1 to mikrokontroler PIC16F1705 lub PIC16LF1705, ten sam, który jest używany w jednostce slave 230 V. CON4 to złącze ICSP, którego można użyć do zaprogramowania mikrokontrolera. Rezystor 10 kΩ między nóżkami 1 i 4 IC1 podciąga pin \MCLR, natomiast kondensator 100 nF filtruje lokalnie napięcie 3,3 V zasilające mikrokontroler.

Nóżki 1 i 2 gniazda RJ45 CON1 są połączone szeregowo z diodą LED (nóżki 2 i 3) OPTO1 za pośrednictwem rezystora 220 Ω. Dioda 1N4148 D1 zabezpiecza diodę LED przed odwrotną polaryzacją poprzez bocznikowanie prądu, jeśli zasilanie jest podawane w odwrotnym kierunku.

Podczas normalnej pracy master podaje napięcie +3,3 V lub 5 V na nóżkę 1 złącza CON1. Nóżka 2 będzie bezczynna przy tym samym napięciu, ale będzie przyjmować niską wartość, gdy urządzenie nadrzędne przesyła bit „0" lub stan break. W ten sposób prąd płynie tylko wtedy, gdy wyjście urządzenia master nie jest pod napięciem spoczynkowym.

Optoizolator OPTO1 jest zbocznikowany przez kolejny kondensator 100 nF pomiędzy jego nóżką 5 (masa obwodu) i nóżką 8 (3,3 V). Nóżka 6 wyjściowa jest podciągany rezystorem 1 kΩ do linii 3,3 V. W stanie oczekiwania znajduje się zatem w tym samym wysokim stanie co master bez przepływu prądu.

Gdy urządzenie nadrzędne wysyła „0", prąd przepływa przez diodę LED optoizolatora OPTO1, a jego wewnętrzny obwód powoduje, że nóżka 6 jest ściągana do masy. Obwód zapewnia izolację przy jednoczesnym zachowaniu prawidłowej logiki. Ponadto stan odłączenia jest taki sam, jak stan bezczynności, co oznacza, że slave nie zachowuje się nieprawidłowo, jeśli nie jest podłączony do mastera.

Nóżka 6 optoizolatora OPTO1 jest podłączona do nóżki 5 mikrokontrolera IC1, który jest skonfigurowany do pracy jako odbiornik UART z prędkością 38400 bodów. Zielona dioda LED1 połączona szeregowo z rezystorem 1 kΩ jest również połączona między linią 3,3 V a wyjściem OPTO1. W ten sposób zapala się za każdym razem, gdy master przesyła „0".

Chociaż transoptor OPTO1 nie jest konieczny dla większości aplikacji, to jednak możliwe jest dołączenie translatora do komputera w celu realizacji „prostego mastera" za pomocą aplikacji Processing. Obecność transoptora stwarza w miarę bezpieczne warunki użytkowania, pozwalające uniknąć możliwości uszkodzenia portu USB komputera. Należy pamiętać, że na płytce drukowanej nie ma frezowanych slotów powietrznych, które gwarantowałyby odpowiednie odległości, więc OPTO1 nie zapewni izolacji od napięć sieciowych i wymagania odnośnie „creepage" i „clearance" nie są spełnione. Mowa tu o wymogach dotyczących minimalnych dopuszczalnych odstępów na płytce PCB, pomiędzy ścieżkami i padami znajdującymi się na różnych potencjałach, narzuconych przez normy dla danej aplikacji urządzenia.

Nóżki 8...11 układu IC1 są dołączone do innego gniazda RJ-45, CON2, w celu przesyłania danych w „starym" protokole. Każda nóżka ma szeregowy rezystor 100 Ω ograniczający prąd zwarciowy i rezystor podciągający 10 kΩ ustawiający bezpieczny stan domyślny podczas uruchamiania mikrokontrolera.

Więcej szczegółów na temat działania starego protokołu można znaleźć w artykule zamieszczonym w Silikon Chip w październiku 2010 (siliconchip.com.au/Article/315). Piny dostarczają sygnały DATA, CLOCK, LATCH i RESET przy użyciu peryferiów SPI i GPIO układu IC1.

Nóżka 7 układu IC1 (RC3) jest dołączona do linii CHAIN SENSE złącza CON2 i jest ściągana do masy przez rezystor 4,7 kΩ. Każdy slave ma rezystor 10 kΩ podciągający tę linię do 3,3 V, więc napięcie na tym pinie zależy od liczby podłączonych układów slave. W ten sposób liczbę urządzeń podrzędnych można określić za pomocą przetwornika analogowo-cyfrowego (ADC) poprzez odczytanie napięcia na tym pinie.

Nóżka 3 (RA4) układu IC1 jest podłączona do żółtej diody LED a następnie poprzez

Wykaz elementów

1 płytka dwustronna – kod PCB 16110206, 79 mm × 45 mm
1 zestaw wtyczek 9 V AC z wtyczką zasilania o średnicy wewnętrznej 2,1 mm
2 gniazda RJ45 do montażu na PCB (CON1, CON2) [Altronics P1448].
1 gniazdo zasilania do montażu na płytce drukowanej o średnicy wewnętrznej 2,1 mm (CON3)
1 5-pinowe złącze męskie (CON4 – opcjonalne, do programowania układu IC1 w obwodzie)
1 obudowa UB5 Jiffy
4 podkładki dystansowe M3 × 12 mm
9 wkrętów M3 × 6 mm
1 nakrętka M3 i podkładka (dla REG1)
4 samoprzylepne nóżki gumowe

Półprzewodniki

1 mikrokontroler PIC16F1705 lub PIC16LF1705, DIP-16, zaprogramowany kodem 1611020F.HEX (IC1)
1 mostek prostowniczy W02M/W04M (BR1) [Jaycar ZR1304]
1 optoizolator 6N137, DIP-8 (OPTO1)
1 7806 stabilizator liniowy 6 V, TO-220 (REG1)
1 MCP1700-3.3 stabilizator liniowy 3,3 V o niskim spadku napięcia, TO-92 (REG2)
1 zielona dioda LED 3 mm (LED1)
1 czerwona dioda LED 3 mm (LED2)
1 żółta dioda LED 3 mm (LED3)
1 dioda przełączająca 1N4148 (D1)

Kondensatory

3 100 µF 25 V elektrolityczny
2 100 nF 63 V MKT

Rezystory (wszystkie 1/4 W osiowe 1% metalizowane)

1 1 MΩ 5 10 kΩ 4 1 kΩ 1 220 Ω 4 100 Ω 1 10 Ω

eprasa.pl e016f8d744

szeregowy rezystor 1 kΩ do masy. Dioda ta sterowana przez program mikrokontrolera sygnalizuje odpowiedni mrugnięciami kody błędów.

Nóżka 6 (RC4) układu IC1 jest dołączona do jednej strony wejścia zasilania AC za pomocą rezystora 1 MΩ i służy do wykrywania polaryzacji sieci, a tym samym śledzenia fazy sieci. Rezystor podciąga nóżkę 6 do stanu wysokiego lub niskiego przez przebieg prądu przemiennego, jednocześnie ograniczając prąd do minimalnej wartości, dzięki czemu pin wejściowy mikrokontrolera nie zostanie uszkodzony.

Zasilanie

Napięcie 9 V AC do zasilania obwodu wchodzi przez gniazdo CON3. Należy zastosować zasilanie prądem przemiennym, aby umożliwić obwodowi wykrywanie fazy sieci 230 V (a w szczególności momentu przejścia przez zero). Jest to konieczne do sterowania urządzeniami slave sterującymi światłami zasilanymi z sieci AC. Zasilacz wtyczkowy AC zapewnia bezpieczny i prosty sposób wykonania tego zadania, a przy okazji zapewnia zasilanie.

Prąd płynie do mostka prostowniczego BR1, a powstały impulsowy prąd stały jest filtrowany przez pierwszy z trzech kondensatorów elektrolitycznych 100 µF. REG1 to stabilizator 7806, który zapewnia napięcie stabilizowane 6 V. Jest ono dodatkowo filtrowane na kondensatorze 100 µF.

Transformator zasilający mostek prostowniczy i kondensator filtrujący powoduje wysoki szczytowy pobór prądu, gdy przebieg prądu przemiennego zbliża się do wartości amplitudy. Dlatego, aby ograniczyć prąd szczytowy dodano rezystor szeregowy 10 Ω, który powoduje zmniejszenie zniekształcenia przebiegu AC, a tym samym poprawia wykrywanie przejścia przez zero.

Anoda czerwonej diody LED2 jest podłączona do linii 6 V, katoda natomiast do masy obwodu poprzez rezystor 1 kΩ. W ten sposób dioda LED2 świeci się, gdy urządzenie jest zasilane.

Linia 6 V zasila również REG2, stabilizator MCP1700 3,3 V i trzeci kondensator 100 µF, służące do wytworzenia napięcia stabilizowanego 3,3 V. Linie 6 V i 3,3 V są potrzebne do zapewnienia kompatybilności z urządzeniami slave ze starszego systemu.

Oprogramowanie

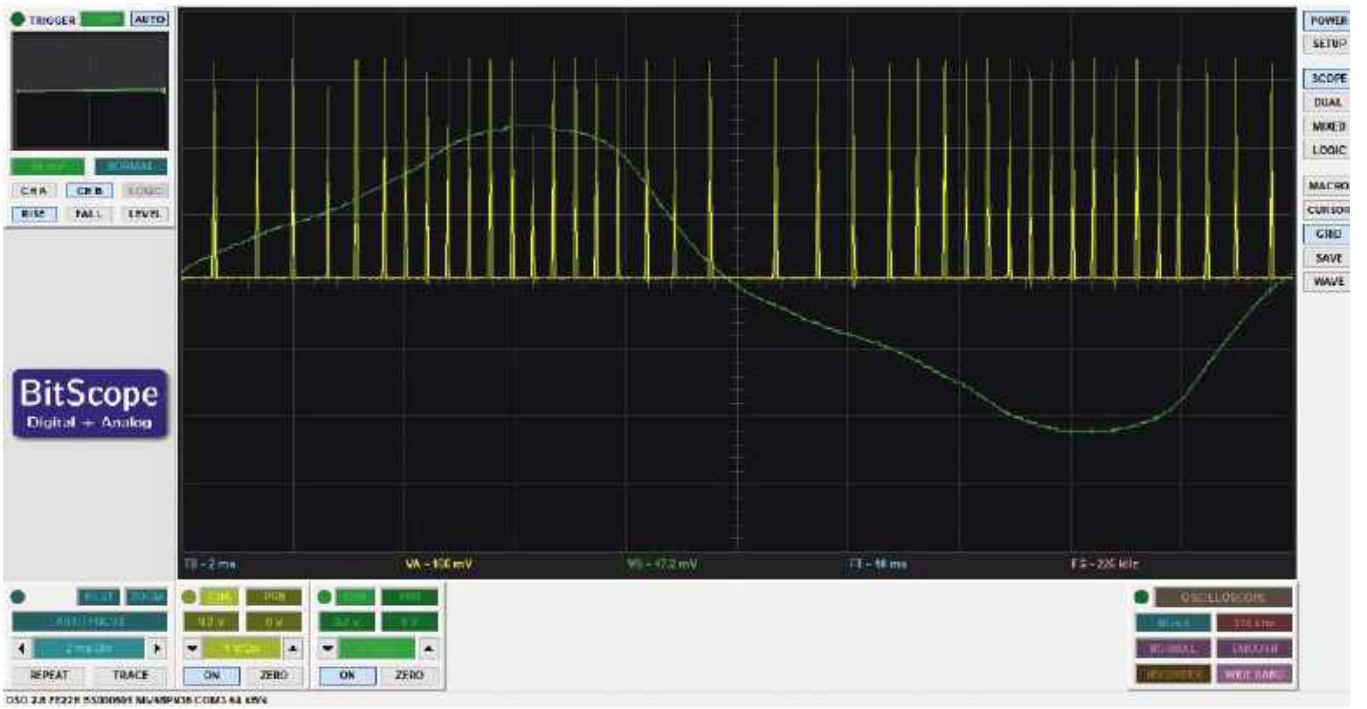
Ponieważ wiele funkcji Translatora jest podobnych do tych z nowszych urządzeń slave, ponownie została użyta część tego kodu. Po początkowej konfiguracji firmware robi niewiele więcej niż sprawdzanie flag przerwań urządzeń peryferyjnych. Informują one czy są jakieś zadania do wykonania. Decydują o tym przerwania, ponieważ nie ma żadnych danych wejściowych użytkownika, które można by monitorować i ewentualnie podejmować jakieś działania.

Kod odpowiedzialny za konfigurację inicjalizuje UART (do odbierania danych szeregowych z OPTO1) i SPI (do wyprowadzania danych z rejestru przesuwającego). Timer jest ustawiony na uruchamianie około 7800 razy na sekundę. Ponadto, włączany jest przetwornik ADC, a poszczególne piny I/O są konfigurowane adekwatnie do ich ról.

Fragment głównej pętli programu sprawdza czy przychodzą jakieś dane do UART-a. Jeśli zostaną one zidentyfikowane jako dane lampy, następuje natychmiastowe ich przetworzenie na tablice danych, które następnie zostają wysyłane za pośrednictwem rejestru przesuwającego do urządzeń slave. Przetworzenie każdego znaku danych zajmuje do 85 µs, a przy prędkości 38400 bodów mogą przychodzić raz na 260 µs. Każdy odebrany znak składa się z 10 bitów, w tym bitów startu i stopu.

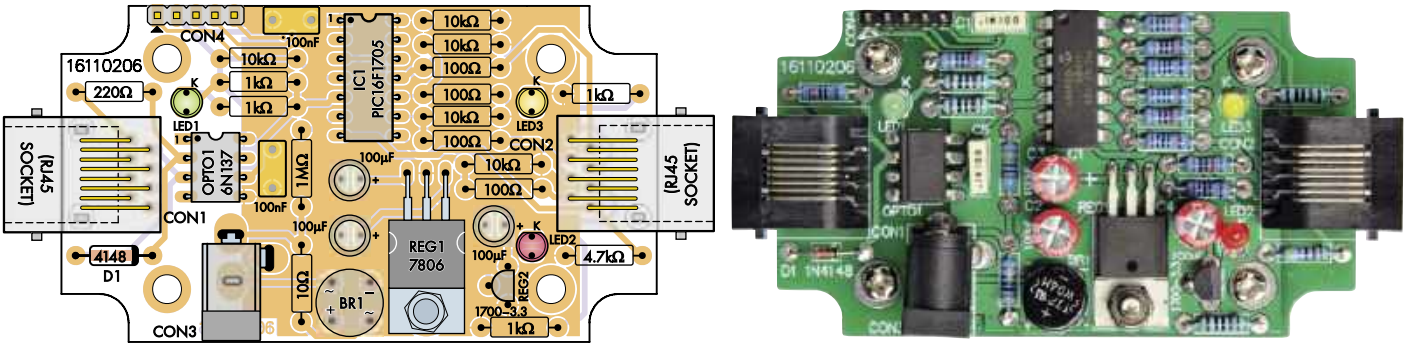
Zegar uruchamia się co 128 µs i jest używany do zwiększania stanu licznika, więc każdy półokres przebiegu sieci jest podzielony na 78 części. W głównej pętli oprogramowanie sprawdza, czy przychodzący przebieg AC zmienił polaryzację, i używa wewnętrznego licznika do oznaczenia tego punktu w odniesieniu do stanu licznika.

Pin nie zmienia stanu dokładnie w momencie przejścia przez zero. Poziom napięcia przejścia pinów jest powyżej 0 V i zmienia się w zależności od tego, czy jest dodatni, czy ujemny. Mikrokontroler ustawia drugi licznik, aby dostarczyć sygnał zsynchronizowany z każdym półtaktem sieci.



Oscylogram 1. Timing impulsów rejestru latch w odniesieniu do przebiegu sieciowego. Przebieg prądu przemiennego jest dość znacznie zniekształcony ze względu na właściwości transformatora i krótki prąd rozruchowy w kondensatorze poprzedzający szczyty przebiegu. Mimo to, jest wystarczająco dobry, aby wykrywać przejście przez zero. Bardziej rozłożone w czasie impulsy w pobliżu szczytów napięcia sieciowego zapewniają bardziej równomierne stopnie jasności dla lamp żarowych bez zbytniego wpływu na zasilanie sieciowe diody LED

eprasa.pl e016f8d744



Rysunek 2. Montaż płytki drukowanej jest stosunkowo prosty. Należy zamontować elementy, jak pokazano tutaj, zwracając szczególną uwagę na kierunek IC1, OPTO1, kondensatorów elektrolitycznych, diody D1 i diod LED. Jeśli wystąpią problemy związane z sygnałami sterującymi wpływającymi na taktowanie, pomocny może być kondensator o małej pojemności (10 pF) między nóżkami 6 i 14 układu IC1

Sprawdzenie kształtu przebiegu sieciowego i dostosowanie liczników może zająć do 7 µs. Nie jest to znaczący czas w porównaniu z innymi wykonywanymi czynnościami. Począwszy od 20 (z 78) punktów w okresie, mapy bitowej rejestru przesuwającego są kolejno podawane na wyjście. Te 78 punktów wybrano w celu częściowej kompensacji chwilowego napięcia sieciowego zmieniającego się w cyklu, co skutkuje bardziej płynną rampą jasności. Nie ma ustawienia, które zapewni idealnie liniowe wyniki dla wszystkich żarówek, a diody LED naturalnie będą się pod tym względem różniły. Wybrane do sterowania wartości liczbowe powinny jednak stanowić consensus dla wszystkich typów lamp.

Punkty zagęszczają się w pobliżu szczytu i oddalają się od siebie w pobliżu przejścia przez zero. Ma to dodatkową zaletę w postaci zmniejszenia wpływu jittera na wyłączanie triaków. Na **oscylogramie 1** można zaobserwować czas tych impulsów danych. Zielona linia to przebieg wyjściowy z transformatora, a nie przebieg sieciowy, stąd jest daleki od sinusoidy.

Dostarczenie tych danych zajmuje około 75 µs. Tak więc w najgorszym przypadku, gdy bajt danych jest odbierany jednocześnie z transmisją SPI, licznik czasu może zostać nieznacznie opóźniony. Jeśli to opóźnienie jest dłuższe niż cykl timera 128 µs, zliczanie timera zostanie pominięte. Jednak uszkodzenie przebiegu wyjściowego spowodowane pominięciem zdarzeń timera nie powinno wystąpić podczas normalnej pracy, chociaż w najgorszych warunkach może wystąpić niewielki jitter (do około 50 µs).

Należy pamiętać, że Translator został zaprogramowany do pracy tylko w sieciach 50 Hz. Czas jest prawdopodobnie zbyt krótki, aby działał poprawnie w systemach 60 Hz.

LEDowy wskaźnik stanu

Każdy cykl timera wyzwala również sprawdzenie i ewentualną aktualizację diody LED pełniącej funkcję wskaźnika stanu. Co dwie sekundy sprawdzany jest przebieg sieciowy, dane przychodzące i łańcuch wychodzący. W przypadku wykrycia usterki dioda LED miga, w przeciwnym przypadku świeci światłem ciągłym.

Jeden błysk oznacza, że w ciągu ostatnich dwóch sekund nie odebrano żadnych podłączonych urządzeń. Dwa mignięcia oznaczają, że nie wykryto żadnych danych przychodzących. Trzy błyski oznaczają, że w przebiegu AC nie zaobserwowano żadnych przejść przez zero. Sprawdzenie i aktualizacja stanu diody LED może zająć do 15 µs.

Budowa

Translator jest zbudowany na płytce drukowanej (kod 16110206) o wymiarach 79 mm × 45 mm (**rysunek 2**). Całość mieści się w obudowie UB5 Jiffy.

Montaż należy zacząć od przylutowania rezystorów zgodnie z oznaczeniami widocznymi na warstwie opisowej płytki drukowanej. Przed montażem rezystancję warto dwukrotnie zmierzyć multimetrem, aby upewnić się czy ma prawidłową wartość. Trzeba ponadto zwrócić uwagę na to, że rezystory po prawej stronie płytki wydają się być ułożone parami, ale niektóre nie są.

Jedyna dioda znajduje się obok złącza CON1 w lewym dolnym rogu płytki drukowanej. Oznakowanie katody na diodzie musi pokrywać się z oznakowaniem katody na warstwie opisowej PCB. Następnie można zamontować dwa kondensatory 100 nF, jeden obok układu IC1 i jeden w pobliżu OPTO1.

Mostek prostowniczy BR1 znajduje się w dolnej środkowej części płytki drukowanej. Należy upewnić się, że jego znak „+" znajduje się w lewym dolnym rogu zgodnie z opisem na PCB. Przed wlutowaniem mostek powinien być dociśnięty do płytki, następnie należy przyciąć wszystkie jego wyprowadzenia i dopiero teraz mona je przylutować.

Następnie lutujemy dwa układy w obudowach DIL – IC1 i OPTO1. Na płytce jest miejsce na podstawki, ale nie są one konieczne, ponieważ układ IC1 można zaprogramować w obwodzie za pośrednictwem złącza CON4, nawet po jego uprzednim wlutowaniu.

Przed wlutowaniem układów OPTO1 i IC1 trzeba sprawdzić czy są one włożone w odpowiednim kierunku. Nóżki 1 powinny znaleźć się w lewym górnym rogu płytki drukowanej. Nóżki układów powinny być wyprostowane, aby było możliwe umieszczenie ich w płytce. Następnie lutujemy dwie nóżki i upewniamy się, że układy płasko przylegają do płytki. Jeśli tak, można lutować pozostałe nóżki.

Aby zainstalować stabilizator REG1 trzeba wygiąć jego wyprowadzenia do spodu o 90° około 7 mm od korpusu układu. Teraz można przełożyć je przez otwory w płytce i zamontować jedną ze śrub z tyłu płytki drukowanej. Następnie zabezpieczamy stabilizator nakrętką i podkładką z przodu radiatora.

Kolejna czynność to ostrożne wyrównanie stabilizatora, aby był w pozycji prostopadłej do punktów lutowniczych, po czym można już mocno dokręcić nakrętkę, uważając przy tym, aby nie przekręcić elementu. Po sprawdzeniu poprawności ułożenia lutujemy nóżki z tyłu płytki drukowanej i przycinamy nadmiar wyprowadzeń.

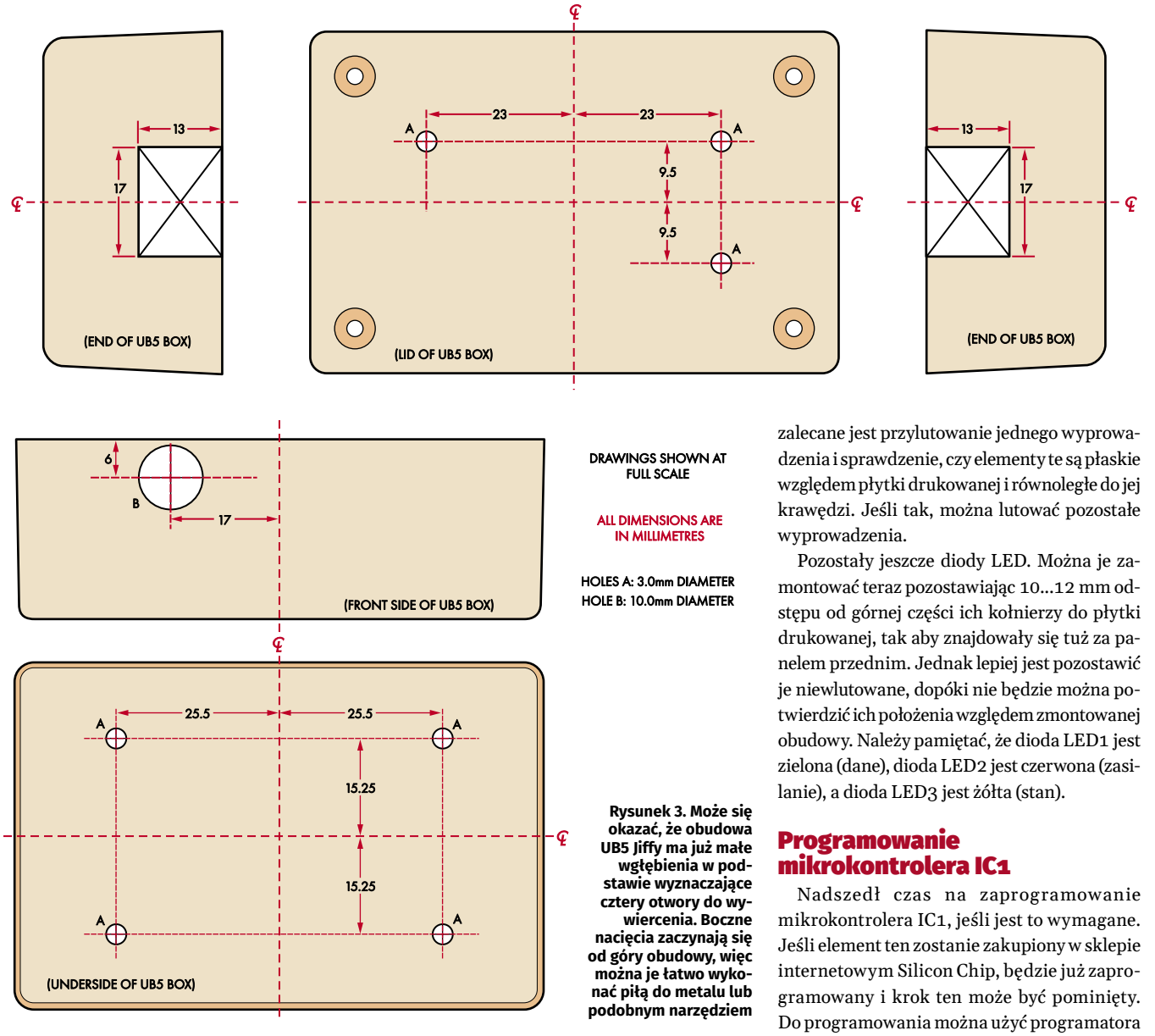
Przed wlutowaniem stabilizatora REG2 należy upewnić się, czy pasuje do konturu widocznego na PCB, mocno docisnąć i przylutować nóżki.

Następnie montujemy trzy kondensatory elektrolityczne, przestrzegając oznaczeń biegunowości. Wszystkie trzy mają dodatni pin najbliżej gniazda CON2 po prawej stronie płytki drukowanej.

Kolejny montowany element to gniazdo zasilania CON3. Z uwagi na punkty lutownicze o dużej powierzchni, podczas lutowania może być konieczne dostarczenie dużej ilości ciepła. Należy zadbać o utrzymanie części równolegle do krawędzi płytki.

Jeśli planowany jest montaż złącza ICSP do programowania mikrokontrolera IC1, powinna być użyta listwa prosta (nie kątowa).

eprasa.pl e016f8d744



Rysunek 3. Może się okazać, że obudowa UB5 Jiffy ma już małe wgłębienia w podstawie wyznaczające cztery otwory do wywiercenia. Boczne nacięcia zaczynają się od góry obudowy, więc można je łatwo wykonać piłą do metalu lub podobnym narzędziem

Listwa może być zamontowana pod płytką lub na górze płytki. Z obu stron jest wystarczająco dużo miejsca, około 12 mm. Można jednak zalecić wlutowanie złącza pod spodem, ponieważ może się okazać, że pobliski kondensator uniemożliwi pełne włożenie wtyku programatora do złącza od góry.

Gniazda RJ45, CON1 i CON2 są wyposażone w zaciski, które blokują je na miejscu, ale nadal zalecane jest przylutowanie jednego wyprowadzenia i sprawdzenie, czy elementy te są płaskie względem płytki drukowanej i równoległe do jej krawędzi. Jeśli tak, można lutować pozostałe wyprowadzenia.

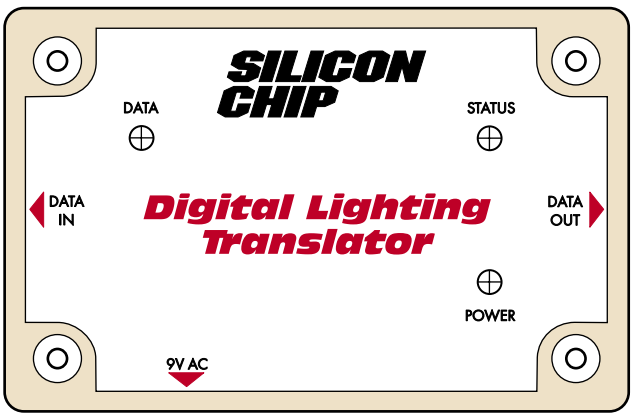
Pozostały jeszcze diody LED. Można je zamontować teraz pozostawiając 10...12 mm odstępu od górnej części ich kołnierzy do płytki drukowanej, tak aby znajdowały się tuż za panelem przednim. Jednak lepiej jest pozostawić je niewlutowane, dopóki nie będzie można potwierdzić ich położenia względem zmontowanej obudowy. Należy pamiętać, że dioda LED1 jest zielona (dane), dioda LED2 jest czerwona (zasilanie), a dioda LED3 jest żółta (stan).

Programowanie mikrokontrolera IC1

Nadszedł czas na zaprogramowanie mikrokontrolera IC1, jeśli jest to wymagane. Jeśli element ten zostanie zakupiony w sklepie internetowym Silicon Chip, będzie już zaprogramowany i krok ten może być pominięty. Do programowania można użyć programatora PICkit 3, PICkit 4 lub Snap i aplikacji MPLAB X IPE, którą można pobrać bezpłatnie ze strony internetowej Microchipa. Programator powinien być dołączony do CON4 tak, aby strzałki na programatorze i na płytce drukowanej oznaczające pin 1 były ze sobą zgodne.

W IPE wybieramy z listy elementów PIC16F1705 (lub wersję LF, jeśli jest używana), a następnie klikamy przycisk *Connect*. Przechodzimy do pliku HEX, otwieramy go, a następnie klikamy przycisk *Program* i upewniamy się, że pojawił się komunikat „Program/Verify Complete".

Jeśli diody LED zostały już zamontowane, czerwona dioda LED powinna zaświecić się, wskazując obecność zasilania, a żółta dioda LED powinna zaświecić się lub migać po około sekundzie. Zielona dioda LED nie będzie świecić, dopóki do gniazda CON1 nie zostanie podany sygnał.



Rysunek 4. Przed nałożeniem tej grafiki panelu na pokrywę Translatora, można również użyć jej jako szablonu do zaznaczenia pozycji otworów na diody LED. Ponieważ do połączeń wejściowych i wyjściowych używane są identyczne gniazda RJ45, etykieta panelu jest przydatną wskazówką do upewnienia się, że nie zostaną pomylone

eprasa.pl e016f8d744

Obudowa

Płytka drukowana jest montowana w dolnej części obudowy UB5 Jiffy. Jeśli Translator ma być przetestowany, zalecane jest najpierw wywiercenie górnej części, ponieważ można to wykorzystać do dopasowania i wyrównania diod LED. Na **rysunku 3** pokazano wiercenie i cięcie potrzebne do ukończenia translatora.

Potrzebne są trzy otwory o średnicy 3 mm na diody LED. Można również pobrać i wydrukować (lub skopiować) grafikę pokrywy (**rysunek 4**) i użyć ją do rozmieszczenia otworów na diody LED. Dostępny jest przewodnik dotyczący przygotowania paneli: *siliconchip.com.au/Help/FrontPanels*.

Otwory powinny być wywiercone tak, jak pokazano na rysunku. Następnie można przymocować panel graficzny.

Jeśli diody LED nie były zamontowane, należy włożyć je do odpowiednich otworów i oprzeć pokrywę na górze. Przytrzymując pokrywę przy wierzchołkach gniazd RJ45 i wyrównując płytkę drukowaną tak, aby była wyśrodkowana na pokrywie, można wyregulować pozycje diod LED tak, aby ładnie pasowały. Następnie można je przylutować i przyciąć ich końcówki. Ta metoda ma tę zaletę, że kompensuje wszelkie niedokładności wiercenia.

Następnie można zdjąć pokrywę i przetestować płytkę drukowaną. Wiercenie i cięcie podstawy wygląda na nieco bardziej skomplikowane, ale wcale tak nie jest.

Obudowy Jiffy, mają małe wgłębienia dokładnie w zaznaczonych miejscach w podstawie obudowy, więc łatwo je wyśrodkować. Są to otwory 3 mm pasujące do śrub M3. Trzeba zamontować gwintowane tuleje dystansowe wewnątrz podstawy pudełka za pomocą czterech śrub.

Kwadratowe wycięcia na końcach pudełka są przeznaczone na gniazda RJ45. Zaznaczamy je ołówkiem i wykonujemy pionowe nacięcia piłą do metalu. Poziome nacięcia są wykonywane ostrym nożem. Powinno być możliwe delikatnie ich zgięcie, a następnie odłamanie wypustki za pomocą szczypiec uniwersalnych. Do ostatecznego dopasowania gniazd można użyć pilnika. Gniazda RJ45 powinny znajdować się na poziomie górnej części podstawy obudowy.

Ostatni otwór służy do podłączenia gniazda zasilającego. W oryginale jest to otwór o średnicy 10 mm, ale warto sprawdzić, czy nie jest potrzebny inny. Otwór powinien mieć rozmiar dopasowany do korpusu wtyczki. Najlepiej wywiercić go, zaczynając od mniejszego wiertła „pilotującego". Pozwoli to sprawdzić, czy otwór jest prawidłowo wyśrodkowany z gniazdem przed jego powiększeniem. Następnie wykonujemy coraz większe otwory za pomocą większych wierteł lub używamy wiertła stopniowego lub rozwiertaka stożkowego. Następnie za pomocą pozostałych czterech śrub mocujemy płytkę drukowaną do elementów dystansowych.

Dodatek

Przed zamknięciem całości dobrym pomysłem jest przeprowadzenie kilku końcowych testów. Dołączamy więc zasilanie do gniazda zasilania. Czerwona dioda LED powinna się zaświecić. Teraz można pomierzyć napięcia względem masy na nóżkach stabilizatora REG1. Na nóżce 3 (najbliżej IC1) powinno być blisko 6 V, na nóżce 1 około 12 V dla wejścia 9 V_{ac}.

Linię 3,3 V najlepiej sprawdzić na nóżce 1 układu IC1 (najbliżej krawędzi płytki drukowanej). Jeśli napięcia są znacznie przekroczone, należy sprawdzić okolice mostka prostowniczego, kondensatorów i stabilizatora, szczególnie uwagę należy zwrócić na to czy elementy nie zostały odwrócone.

Żółta dioda LED3 powinna migać raz lub dwa razy co dwie sekundy; każdy wzór migania wskazuje, że mikrokontroler działa. Jeśli miga trzy razy, nie wykrywa prawidłowo fazy AC.

Jeśli żeberka na pokrywie obudowy uniemożliwiają jej płaskie przyleganie do gniazd RJ45, można je usunąć przez ostrożne wycięcie lub spiłowanie. Po dopasowaniu pokrywy do diod LED można przymocować pokrywę za pomocą śrub dołączonych do obudowy Jiffy. Następnie nakładamy gumowe nóżki, co pozwala uniknąć zarysowania blatu bądź innej powierzchni roboczej przez śruby na spodzie obudowy.

Korzystanie z urządzenia

Do gniazda CON1 „Data in" łączymy dowolne urządzenie master opisane w artykułach Silikon Chip z października, listopada i grudnia 2020 roku. Mogą one być tak proste, jak płytka Arduino z dwoma przewodami połówki kabla Ethernet podłączonymi do złączy (patrz zdjęcie poniżej). W tamtym czasie była prezentowana również mała płytka drukowana, którą można dołączyć do adaptera USB-serial CP2102, umożliwiając komputerowi działanie jako master. Można nim sterować za pomocą programu Processing. Do generowania danych testowych mogą być użyte również niektóre programy terminali szeregowych.

Należy uważać, aby nie pomylić dwóch złączy w Translatorze. Prawdopodobnie nie spowoduje to uszkodzenia, ale na pewno urządzenie nie będzie działać. Gdy Translator odbierze dane, zielona dioda LED będzie migotać, wskazując, że urządzenie jest prawdopodobnie prawidłowo dołączone.

Jeśli wszystko jest w porządku, do portu CON2 „Data out" można dołączyć dowolne urządzenie slave opisane w wydaniach z października 2010 r. lub października 2011 r. Silikon Chip.

Jeśli używane są tylko urządzenia slave LED, możliwe jest zasilanie Translatora napięciem stałym. W tym przypadku zalecane jest użycie zasilacza wtyczkowego 9...12 V DC. Należy pamiętać, że żółta dioda LED będzie migotaniem sygnalizować błąd polegający na braku przebiegu przemiennego, ale Translator będzie nadal generował sygnały sterujące.

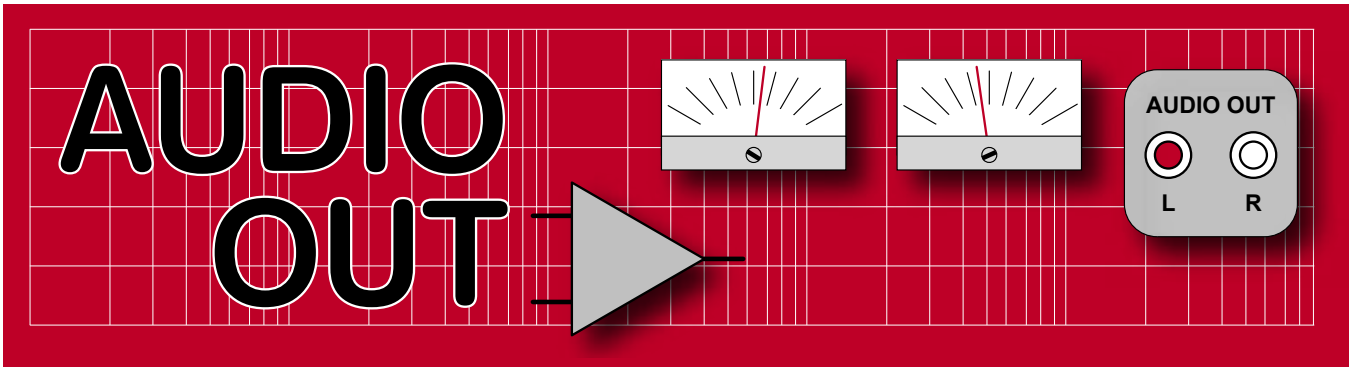
Translator tłumaczy tylko pierwsze 32 kanały z gniazda CON1, więc jeśli są używane kombinacje nowszych i starszych urządzeń slave, aby jak najlepiej wykorzystać dostępną przestrzeń adresową, należy ustawić przełączniki adresowania w nowszych urządzeniach slave w zakresie 33...64. ■

Tim Blythman

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

Kabel Ethernet zakończony zworkami zmienia Arduino w Flexible Lighting Controller Master

eprasa.pl e016f8d744



Kwestia symetrii, część 1

W zeszłym miesiącu zakończyliśmy czteroczęściowy projekt mający na celu stworzenie wysokiej jakości przedwzmacniacza mikrofonowego. Używałem wielu różnych przedwzmacniaczy mikrofonowych i za „kilka dych" ten jest co najmniej tak samo dobry, jak wiele komercyjnych modeli kosztujących 10 lub 20 razy więcej. Bardzo ważne natomiast jest to, w jaki sposób podłącza się mikrofon do przedwzmacniacza – kilka metrów kabla domofonowego zdecydowanie nie jest dobrym rozwiązaniem, dlatego w tym i następnym miesiącu Audio Out zamierzam przeprowadzić Cię przez proces budowy przewodu symetrycznego. Nawet jeśli nie potrzebujesz kabla mikrofonowego, omówione tutaj zasady mają zastosowanie do szerokiej gamy obwodów audio i innych obwodów analogowych o wysokiej czułości. W tym miesiącu przedstawię przegląd technologii, w szczególności wszechobecnego złącza XLR, a także omówię podstawowe rodzaje kabli.

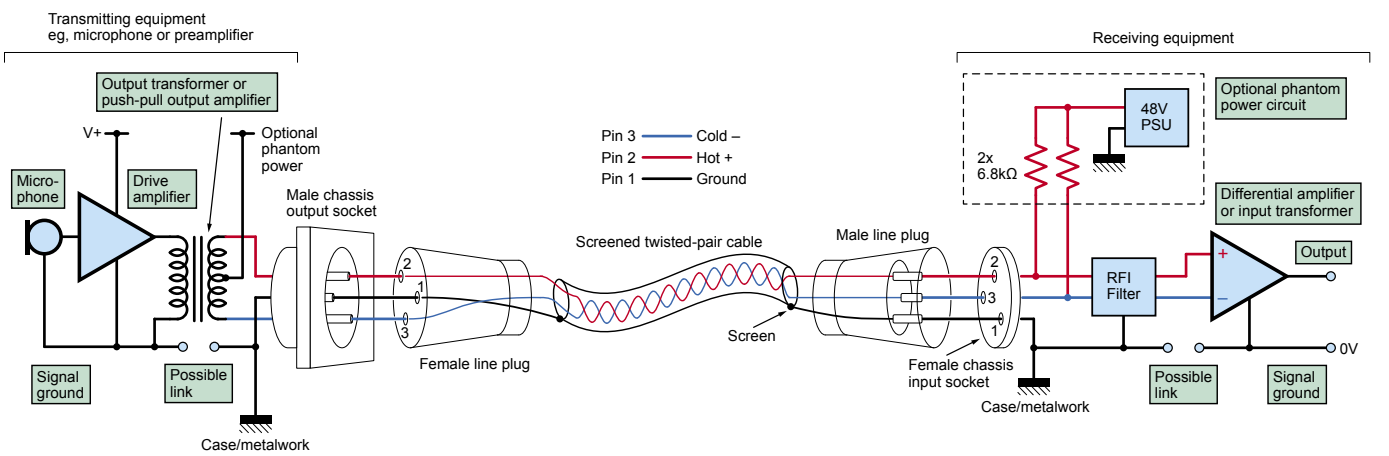
Dlaczego symetria?

Powszechnie wiadomo, że połączenia symetryczne zmniejszają poziom zakłóceń w systemach audio, ale w czym tkwi sekret ich sukcesu? Kluczową kwestią jest to, że wejścia symetryczne reagują tylko na sygnały różnicowe, czyli różnicę napięcia między dwoma przewodami sygnałowymi. Jeśli szum lub niepożądane napięcie jest takie samo na obu przewodach – jak w przypadku indukowanych zakłóceń – różnica napięć wynosi zero, a zakłócenia są odrzucane przez wejściowy wzmacniacz różnicowy. Kluczową zaletą jest więc redukcja zakłóceń magnetycznych, zarówno odbieranych, jak i nadawanych. Podstawową konfigurację linii symetrycznej pokazano na **rysunku 1**.

Większość symetrycznych połączeń audio wykorzystuje 3-pinowe złącza XLR, które pierwotnie oznaczały „bardzo niską rezystancję". Są one zawsze okablowane jako męskie dla wyjść i żeńskie dla wejść, jak pokazano na **rysunku 2**. Stosowane są również złącza jack typu TRS (Tip-ring-sleeve), które są ćwierćcalowymi gniazdami typu A lub B „stereo". Czasami w starym sprzęcie amerykańskim spotyka się listwy z zaciskami śrubowymi. Jeśli jednak budujesz sprzęt od zera, to złącza XLR są wątpliwe preferowaną drogą.

Zasilanie fantomowe

Czasami do linii symetrycznej doprowadzane jest zasilanie, tak jak to pokazano na rysunku 1. Taki sposób doprowadzania zasilania stosuje się w przypadku mikrofonów i innych urządzeń, takich jak DI-Boxy. Zwykle dostarczane jest napięcie +48 V i znajduje się nad sygnałem audio. Ponieważ jest równy na obu przewodach sygnałowych, jest ignorowany



Rysunek 1. Symetryczny system liniowy – obecnie znormalizowany, z wyjątkiem opcji uziemienia, które są umieszczone w obszarze oznaczonym łączem. Należy również zwrócić uwagę na opcjonalne połączenia zasilania phantom

eprasa.pl e016f8d744

Rysunek 2. Złącza XLR do montażu na panelu/obudowie: wyjścia są zawsze męskie (ze stykami), a wejścia żeńskie (z otworami)

Rysunek 3. W rzadkich przypadkach spotyka się żółte przewody odwracające fazę, w których przewody gorące i zimne są odwrócone. W tym przypadku jest to przewód krosowy

Rysunek 4. Uziemienie złącza XLR (prawy górny róg) zawsze podłącza się jako pierwsze, ponieważ jest nieco dłuższe niż pozostałe – co za wspaniały pomysł!

Rysunek 5. Oryginalne i wciąż najlepsze złącze XLR firmy Cannon. Zwróć uwagę na gumową wkładkę na złączu żeńskim

przez system. Powrót zasilania fantomowego odbywa się przez ekran. Nie jest to idealne rozwiązanie, ale jest to utarty już standard.

Pętle uziemienia i bezpieczeństwo

W przeciwieństwie do połączeń niesymetrycznych, takich jak przewody audio, mono jack'i i BNC, uziemienie nie odgrywa żadnej roli w transmisji sygnału w połączeniach symetrycznych. W przewodach symetrycznych uziemienie służy jedynie do ekranowania, tj. zapobiegania wychwytywaniu szumów o częstotliwości radiowej (RF). Dodatkową zaletą jest to, że unika się głośnych szumów pętli uziemienia, które mogą wystąpić w systemach niesymetrycznych, gdy podłączonych jest więcej niż kilka urządzeń. Połączenia symetryczne pozwalają również uniknąć najgorszego scenariusza, w którym niekompetentne osoby próbują pomóc, odłączając przewody uziemiające od wtyczek sieciowych. Może to prowadzić do tego, że metalowa konstrukcja i obudowy mikrofonów znajdą się pod napięciem i niestety wielu muzyków zginęło przez taką głupotę.

Problem ze stykiem numer 1

Z uwagi na ewentualne „łagodne pętle uziemienia" w systemach symetrycznych wciąż możliwe jest wystąpienie lekkich zakłóceń audio. System symetryczny działa idealnie tylko wtedy, gdy uziemienia na złączach symetrycznych są podłączone do metalowej konstrukcji lub uziemienia bezpieczeństwa sieci zgodnie ze standardem AES48 Audio Engineering Society. Jeśli są one podłączone do uziemienia sygnału, takiego jak 0 V na płytkach drukowanych, system może nadal cierpieć z powodu łagodnych pętli uziemienia, ponieważ przepływające prądy uziemienia mogą następnie powodować spadki napięcia na przewodach uziemienia sygnału, wpływając w ten sposób na sygnał użyteczny. Inżynierowie audio opisują to jako „problem styku nr 1", ponieważ wszystkie symetryczne złącza XLR zawsze wykorzystywały styk 1 jako masę. Dużą część mojego zawodowego życia spędziłem na przerabianiu sprzętu w celu dostosowania go do nowego standardu. Często musiałem wycinać płaszczyzny uziemienia na płytkach drukowanych, aby odłączyć uziemienie sygnału od metalowej konstrukcji. Należy pamiętać, że uziemienie filtra RF powinno również iść do uziemienia metalowej konstrukcji – a nie do uziemienia sygnału. Jedynym wyjątkiem dla podłączenia styku pierwszego do masy sygnału jest użycie zasilania phantom. Nawet to nie jest konieczne, jeśli zasilanie fantomowe 0 V trafia na styk nr 1.

Podniesienie poziomu masy

Na rysunku 1 wskazano połączenie między uziemieniem konstrukcji metalowej (bezpieczeństwa sieci) a uziemieniem sygnału. Może ono składać się z kilku opcji. Zwykle po prostu nie ma połączenia, zgodnie z AES48. W niektórych urządzeniach, takich jak skrzynki DI, znajduje się przełącznik uziemienia. Podnoszenie uziemienia jest stosowane w celu przerwania prądów krążących w okablowaniu uziemienia dowolnego systemu. Prądy te są normalną konsekwencją indukcji z pobliskich źródeł pola magnetycznego, takich jak transformatory.

Chociaż przełączniki uziemienia są zwykle pozastawiane otwarte, powodem, dla którego są one dostarczane, jest to, że w każdym kompletnym systemie audio, takim jak studio, uziemienie sygnału i uziemienie sieci powinno być połączone tylko w jednym miejscu. Zwykle jest to najbardziej wrażliwy punkt wejściowy, taki jak pulpit mikserski w studiu lub gniazdo wejściowe gramofonu w systemie Hi-Fi. Posiadanie systemu z wieloma przełącznikami uziemienia jest receptą na pętle przydźwięku. Staram się ich nie używać, ponieważ ludzie losowo je przestawiają. Czasami łącznikiem jest po prostu kondensator bocznikujący 10 nF dla RF lub rezystor 1 kΩ/0,5 W. Najlepszym systemem jest równoległe użycie rezystora i kondensatora na gnieździe wejściowym. Prawdopodobnie lepszym systemem (zasugerowanym przez czytelnika) jest użycie dwóch wysokoprądowych (co najmniej 2 A) diod prostowniczych równolegle do siebie, co zapewnia podniesienie masy o ±0,7 V i wysokoprądową ścieżkę dla usterek. Rezystory mogą ulec spaleniu w takich okolicznościach, podczas gdy diody przetrwają. Techniki podnoszenia masy nie zostały jeszcze znormalizowane.

Jednym ze sposobów na uniknięcie tych niejasności związanych z uziemieniem jest przejście na całkowicie cyfrowe połączenia światłowodowe. Wprowadza to jednak zupełnie nowe problemy związane z konfiguracją cyfrową, takie jak synchronizacja zegara. Nie będziemy tego tutaj omawiać.

Hi-Fi kontra profesjonalny

Niestety, połączenia symetryczne nie są powszechnie stosowane w audio, ponieważ są stosunkowo drogie. Są one jednak niezbędne, jeśli chodzi o przewody mikrofonowe, które przesyłają sygnały o niskim poziomie, rzędu kilku mV i często mogą mieć długość do 10 m w przypadku pracy na scenie. W przypadku krótkich przewodów niskopoziomowych, powiedzmy około metra dla odtwarzaczy płyt winylowych, połączenia symetryczne

eprasa.pl e016f8d744

są zwykle normą. W rzeczywistości, połączenia symetryczne są używane tylko przez profesjonalną społeczność audio. Są one uważane za niepotrzebne i niepożądane w minimalistycznym świecie Hi-Fi. Wynika to z faktu, że dodatkowy szum elektroniczny ze wzmacniaczy operacyjnych i rezystorów na prostych wejściach różnicowych jest znaczny, podczas gdy wymagane transformatory i dodatkowe wzmacniacze wyjściowe również dodają zniekształcenia. Odporność na zakłócenia RF dla krótkich połączeń symetrycznych Hi-Fi nie jest znacząco lepsza niż niesymetrycznych, chyba że zastosowane zostaną transformatory i potrzeba będzie dwa razy więcej elementów filtrujących.

Rysunek 6. Złącze XLR Switchcraft dla tych, którzy lubią solidną amerykańską estetykę lat 70. Jest to wersja kątowa, która nie wystaje tak bardzo jak prosta

Rysunek 7. W przypadku wtyków Neutrik XLR obudowa jest zakładana po lutowaniu. Tylko tuleja zaciskowa kabla musi być najpierw założona na przewód. Zespół zacisku zaciska się na kablu za pomocą szczeliny. Nie ma śrub, więc montaż jest szybki

Rysunek 8. Obecnie zarówno męskie, jak i żeńskie złącza obudowy mają ten sam rozmiar formatu montażowego. Można kupić gotowe panele i wszelkiego rodzaju inne złącza (np. USB) pasujące do otworów o tym samym rozmiarze

Dmuchanie na gorące i zimne

Ponieważ połączenia wzajemne są różnicowe, dwa przewody przenoszące sygnał są oznaczone jako „plus" i „minus" w celu oznaczenia ich fazy. W żargonie techników audio są one oznaczane odpowiednio jako „gorące" (dodatnie) i „zimne" (ujemne). Styk 2 XLR jest gorący, a styk 3 (środkowy) jest zimny. Pierwotnie Amerykanie robili to na odwrót. Co zaskakujące, europejska konwencja została formalnie przyjęta przez amerykańską organizację AES. Jednak sprzęt audio ma bardzo długą żywotność i istnieje wiele urządzeń podłączonych w starym systemie. Często prowadzi to do niepożądanych inwersji faz. W rzeczywistości jest to nadal tak powszechne, że wielu inżynierów nosi ze sobą przewód odwracający fazę, w którym piny 2 i 3 są zamienione na jednym złączu. Faza jest jednym z niewielu obszarów, w których dwa błędy czynią dobro. Przewody te są często oznaczone żółtym kolorem, zwłaszcza w przypadku kabli krosowych do zatok krosowych w studiach (należy pamiętać, że w przypadku złączy jack (**rysunek 3**) końcówka jest zawsze plusem).

Komercyjne złącza XLR

Złącza XLR charakteryzują się wysokim poziomem standaryzacji. Wyjścia są zawsze męskie (z pinami), a wejścia są zawsze żeńskie (z gniazdami). Oznacza to, że przewody mogą być podłączane jeden do drugiego w celu przedłużenia. Jedną z inteligentnych cech jest to, że styk uziemienia zawsze łączy się jako pierwszy, ponieważ gniazdo styku 1 jest nieco dłuższe niż pozostałe dwa, jak pokazano na **rysunku 4**. Zapobiega to okropnym stukom i brzęczeniom, które pojawiają się przy podłączaniu i odłączaniu przewodów jack i gramofonowych. Istnieje sześć różnych typów trzypinowego sprzętu audio XLR: wtyczka kablowa (męska) i gniazdo kablowe (żeńskie); męskie i żeńskie odpowiedniki do montażu w obudowie; oraz męskie i żeńskie wersje do montażu na płytce drukowanej.

Oryginalne złącze XLR zostało zaprojektowane przez firmę Cannon, później przekształconą w ITT w USA. Są to nadal najbardziej niezawodne złącza XLR i można je rozpoznać po zastosowaniu sprężystej gumy w złączu żeńskim – **rysunek 5**. Nie są już produkowane, więc trzymam się wszystkich, które mam. Wiele z nich ma ponad 50 lat i nadal działają doskonale. Ich jedynym problemem jest to, że mają trzy niestandardowe (gwint amerykański) śruby, które mogą się zgubić. Na szczęście mam torby starych części zamiennych z czasów, gdy na początku lat 80. pracowałem w Future Film Developments, dostawcy części dla BBC. Była to moja pierwsza praca w charakterze technika sprzedaży i tam nauczyłem się też być elektromonterem.

Następne na scenie były XLR-y firmy Switchcraft Q-G (**rysunek 6**), które wyglądają najlepiej, z ich jasnymi, platerowanymi obudowami i zielonymi wkładkami (kawałek plastiku, który trzyma styki). Posiadają one śrubę z odwrotnym gwintem do przytrzymywania wkładki, która znajduje się pod pokrywą, więc nie może wypaść. Aby ją dokręcić, należy ją obrócić zgodnie z ruchem wskazówek zegara i przesunąć w górę, aby docisnąć ją do wnętrza obudowy. Q-G oznacza szybkie uziemienie i są one nadal dostępne w Action Hardware.

Złącza XLR były horrendalnie drogie, dopóki na rynku nie pojawiła się szwajcarska firma Neutrik. Miały one gorsze plastikowe zaciski kablowe, ale tylko jedną śrubę mocującą wkładkę. Późniejsze modele w ogóle nie miały śrub. Unikalnym aspektem konstrukcji Neutrik jest to, że obudowa jest wsuwana po przylutowaniu. Pokazano to na **rysunku 7**. Zmieniono również złącza obudowy (**rysunek 8**), tak aby męskie i żeńskie typy miały ten sam otwór montażowy. Otwory montażowe miały gwint M3. Ten format był przez pewien czas

REKLAMA

eprasa.pl e016f8d744

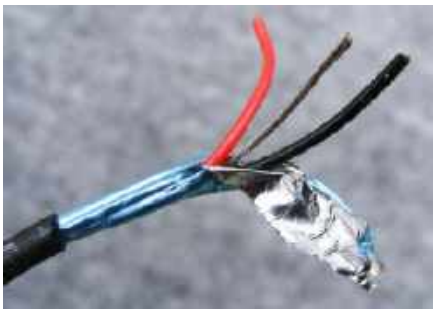
Rysunek 9. Połączone gniazdo TRS i XLR – przydatne dla muzyków, którzy zapomnieli zabrać ze sobą odpowiednie przewody

unikalny dla firmy Neutrik, a następnie inni poszli w jej ślady.

Złącza XLR stały się tanie, gdy Chińczycy weszli na rynek, a złącza XLR stały się elementem towarowym. Niestety, tolerancje uległy pogorszeniu, w wyniku czego niektóre ciasno dopasowane złącza były trudne do rozłączania. Niektóre z użytych tworzyw sztucznych były kruche, a zaciski kablowe pękały. Dla uczciwości należy dodać, że niektóre złącza XLR były doskonałe, ale trzeba było trafić na te odpowiednie i kupić zapasy, zanim księgowi firmy je produkującej przyczynią się do pogorszenia ich jakości.

Połączone gniazda XLR/jack

Neutrik skonstruował połączone gniazdo XLR i TRS Jack pokazane na **rysunku 9**.



Rysunek 10. Kabel foliowany stosowany w stacjonarnym okablowaniu studyjnym jest szybki w przygotowaniu

Rysunek 11. Kabel ekranowany jest łatwy do rozwinięcia i przylutowania

Muzycy uwielbiają je, ponieważ umożliwiają podłączenie standardowego przewodu mono jack z gitar lub sprzętu półprofesjonalnego i móc kontynuować występ. Podczas korzystania z nich, styk 1 musi być podłączony do masy sygnału.

Kable

Główne wymagania dla kabli symetrycznych to ekranowanie i posiadanie dwóch wewnętrznych żył. Żyły te muszą być ze sobą skręcone, aby zminimalizować wychwytywanie i promieniowanie pola magnetycznego. Dostępnych jest kilka różnych rodzajów ekranów:

- **Foil (ekran z folii metalowej)** – 100% pokrycia ekranu, ale pęka przy częstym przenoszeniu i nadaje się tylko do stałych instalacji w sprzęcie, studiach i zatokach krosowych. Folia jest połączona z przewodem odprowadzającym, dzięki czemu jest bardzo łatwa do przylutowania. Kabel foliowy firmy Belden pokazano na **rysunku 10**.
- **Lapped (owijany ekranem wielożyłowym, giętki)** – 77% pokrycia i ekran może z czasem otworzyć się w niektórych miejscach. Jest to pokazane na **rysunku 11**. Łatwo go jednak skręcić i przylutować. Istnieje również wersja dwuwarstwowa zwana ekranowaniem Reussena, z zakładkami nawiniętymi w przeciwnych kierunkach.
- **Conductive Plastic (plastik przewodzący)** – w tym przypadku ekranem jest miękka półprzewodząca powłoka winylowa domieszkowana węglem, która zapewnia niski poziom szumów od ruchu, poprzez rozpraszanie ładunków elektrostatycznych. Niestety rezystancja jest wysoka i zwykły przewód odprowadzający nie jest wystarczająco dobry. Jednak w połączeniu z owijanym ekranem miedzianym może to zapewnić doskonałą wydajność i łatwe przygotowanie. **Rysunek 12** przedstawia kabel z częściowo przewodzącą powłoką stosowany do gitar.
- **Braided (ekran z plecionki)** – jest to najlepszy przewód, który zapewnia ponad 94% pokrycia, a jednocześnie jest bardzo trwały przy wielokrotnym zginaniu. Jest trudny do rozplątania i skręcenia na długość nadającą się do lutowania. **Rysunek 13** pokazuje, spiczaste narzędzie potrzebne do ostrożnego „rozczesania" go. Szydło będzie dobre, ale uważam, że najlepszym narzędziem jest sonda dentystyczna (zgłębnik). Niektórzy technicy odsuwają oplot, robią w nim otwór i przeciągają przez niego przewody. Jednak przy gęstych oplotach, takich jak te używane przez firmę Canare (**rysunek 14**), takie podejście oraz zbyt głębokie cięcie zewnętrznej izolacji może prowadzić do zerwania przewodów i uszkodzenia oplotu – **rysunek 15**.

Rysunek 12. Niektóre ekranowane kable mają półprzewodzącą plastikową powłokę (zawsze czarną), która redukuje szumy. Ten kabel ma tylko jedną żyłę do zastosowań niesymetrycznych

Rysunek 13. Pleciony kabel ekranowany jest najlepszy, ale wymaga pracochłonnego rozczesywania, aby umożliwić jego prawidłowe skręcenie i lutowanie

Kable specjalne

Większość przewodów sygnałowych audio wykorzystuje izolację polietylenową ze względu na jej niską pojemność. Niestety, łatwo ulega on przypaleniu w stosunkowo niskiej temperaturze i topi się podczas lutowania. Tymczasem napromieniowany polietylen (polietylen usieciowany radiacyjnie) jest znacznie bardziej wytrzymały. W rzeczywistości niska pojemność nie jest istotna dla kabli mikrofonowych i liniowych, ponieważ impedancja źródła jest dość niska. Dlatego PVC, który zapewnia wyższą pojemność, jest w porządku. Jednak w przypadku źródeł o wysokiej impedancji, takich jak wkładki magnetyczne w gramofonach i gitarach elektrycznych, izolacja kabli o niskiej pojemności jest niezbędna.

Tinsel

Jest to specjalny rodzaj przewodu ze sznurkiem wewnątrz, który przenosi naprężenia, podczas gdy miedziany przewodnik jest owinięty wokół niego. Zapewnia to długą

eprasa.pl e016f8d744

Rysunek 14. Odizolowany kabel odsłaniający oplot ekranu

Rysunek 15. Uszkodzony oplot z powodu nieostrożnego zdejmowania izolacji

Rysunek 16. Kabel Star Quad ma cztery rdzenie i lepiej redukuje wpływ zewnętrznego pola magnetycznego

Rysunek 17. Prawidłowe zakończenie kabla Star Quad na XLR. Żyły tego samego koloru są połączone równolegle. Uwaga: niebieski jest przewodem „zimnym"

żywotność przy wielokrotnym zginaniu, na przykład w słuchawkach, patchcordach i przewodach mikrofonowych. Jest to trudne do lutowania, ponieważ sznurek pali się, zanieczyszczając złącze.

Star Quad

Kabel ten przenosi skręcanie żył oraz eliminację pola magnetycznego na nowy poziom i zapewnia dziesięciokrotną (20 dB) poprawę w tłumieniu zakłóceń. Jest to wynikiem zastosowania specjalnego skręcenia dwóch równoległych par, które umieszczają centra magnetyczne obu przewodników sygnałowych dokładnie pośrodku kabla. W przypadku zwykłej skrętki, środek nieco się przemieszcza. Analogicznie, szczątkowe napięcie różnicowe indukowane przez zakłócenia magnetyczne jest dziesięciokrotnie niższe w kablach Star Quad, a zatem jest mniej do odrzucenia przez różnicowy wzmacniacz wejściowy. Oprócz doskonałego tłumienia zakłóceń, jest to również najlepszy kabel pod względem fizycznym, posiadający elastyczną „galaretkę", która nigdy się nie plącze. Oryginalnie wyprodukowany przez japońską firmę Canare, jest najlepszym dostępnym kablem mikrofonowym – Canford Audio nadal go sprzedaje. Tańszymi alternatywami są Van Damme XKE i Mogami. Najtańszym kablem typu StarQuad, jaki znalazłem, jest Pro Power STAR00100 z docieranym ekranem (pozycja nr CB13301 ze strony: https://cpc.farnell.com).

Kiedy Future Film był wyłącznym dystrybutorem kabli Canare, mieliśmy specjalną maszynę demonstracyjną wbudowaną w walizkę, składającą się ze ściemniacza światła opartego na triaku i czułego wzmacniacza audio. Kabel lampy biegł równolegle do testowanego kabla XLR. Brzęczenie było zawsze zauważalnie mniejsze z kablem Star Quad. Przy zakupie kabla należy zachować ostrożność: „Star Quad" jest obecnie ogólnym terminem obejmującym tę konkretną geometrię czterożyłowego przewodu, jak pokazano na **rysunku 16**. Wraz z dodatkowymi dwoma żyłami do przygotowania, zakańczanie Star Quad jest pracochłonne (**rysunek 17**). Należy również pamiętać, że ma on o 50% wyższą pojemność niż zwykły kabel mikrofonowy. ■

Jake Rothman

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

QUIZ

Czujniki temperatury

Rozwiązanie znajdziesz na www.elportal.pl/quizy

1. Temperatura to:
☐ średnia energia potencjalna atomów, z których zbudowana jest materia
☐ średnia energia kinetyczna atomów, z których zbudowana jest materia
☐ sumaryczna energia kinetyczna atomów, z których zbudowana jest materia

2. Ogrzewanie obiektu polega na:
☐ dodawaniu energii do obiektu
☐ odejmowaniu energii od obiektu
☐ zmianie rodzaju energii w obiekcie

3. W temperaturze zera bezwzględnego:
☐ zamiera ruch cząsteczek
☐ wodór staje się ciałem stałym
☐ przewodniki stają się izolatorami

4. Skala Réaumura ustala temperaturę zamarzania i wrzenia wody na:
☐ –20° Ré i +80° Ré
☐ +32° Ré i +212° Ré
☐ 0° Ré i +80° Ré

5. Napięcie przewodzenia diody krzemowej Vf zmienia się o:
☐ +10 mV/°C
☐ –2 mV/°C
☐ +2 mV/°C

6. Sensory PTAT dostarczają napięcia lub prądu:
☐ proporcjonalnego do temperatury w skali Celsjusza
☐ proporcjonalnego do temperatury w skali Fahrenheita
☐ proporcjonalnego do temperatury w skali Kelvina

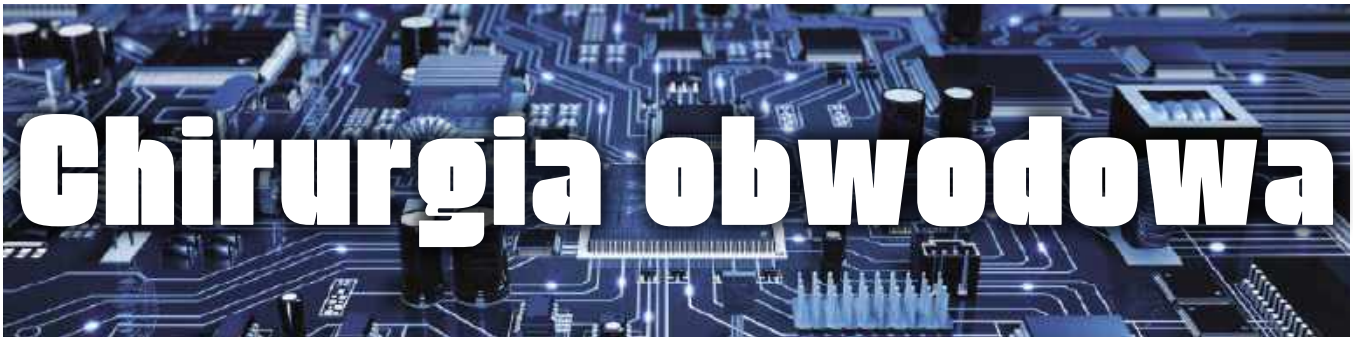
7. Czujniki temperatury pracujące w innych skalach, niż Kelvina wykorzystują:
☐ dodatkowe tranzystory tworzące źródło prądowe kontrolowane temperaturą
☐ wzmacniacz dodający przesunięcie napięcia i nachylenie charakterystyki do wybranej skali
☐ zupełnie inną konstrukcję wewnętrzną i odmienną zasadę działania

8. Proste czujniki temperatury są liniowe:
☐ w pełnym zakresie mierzonych temperatur
☐ w wąskim zakresie temperatur
☐ nie są wcale liniowe

9. Kalibracja czujnika polega na regulacji:
☐ punktu zerowego
☐ nachylenia charakterystyki
☐ punktu zerowego i nachylenia charakterystyki

10. Standardowe czujniki PTAT oferują zmianę napięcia lub prądu o:
☐ 10 mV/K i 10 μA/K
☐ 1 mV/K i 1 μA/K
☐ 10 mV/K i 1 μA/K

eprasa.pl e016f8d744



Wielostopniowe wzmacniacze logarytmiczne do pomiaru mocy RF

W projektach mierników mocy RF (na przykład projekt „RF Power Meter" w „Silicon Chip" 2020/08 lub w „Practical Electronics" 2021/08) sercem projektu jest układ scalony detektora logarytmicznego AD8318 od 1 MHz do 8 GHz, 70 dB firmy Analog Devices. W tych projektach wykorzystuje się zmodyfikowaną wersję gotowego modułu, ale kluczowa funkcjonalność analogowa projektu opiera się na układzie scalonym AD8318. Te gotowe moduły to świetny sposób na wykorzystanie szerokiej gamy zaawansowanych układów scalonych bez konieczności martwienia się o trudności związane z projektowaniem płytki drukowanej i lutowaniem często bardzo małych komponentów do montażu powierzchniowego.

Od Redakcji EdW: Między nomenklaturą anglojęzyczną i polskojęzyczną występują pewne subtelne różnice, m.in. w literaturze anglojęzycznej napięcie oznacza się za pomocą literki „V" podczas gdy w literaturze polskojęzycznej obowiązuje symbol „U". Wyjątkowo, dla zachowania spójności tekstu z oryginalnymi ilustracjami, postanowiliśmy na siłę nie zmieniać tego oznaczenia i pozostawić je w oryginalnej formie.

W projekcie funkcjonalność przyrządu wsparta została przez oprogramowanie działające na Arduino Nano, które odbiera przetworzone za pomocą układu LTC2400 na postać cyfrową dane z wyjścia AD8318. Układ AD8318 zasługuje na dogłębne omówienie jego zasady działania, dlatego jest to temat tego odcinka cyklu Chirurgii Obwodowej. Wyjaśnimy podstawy działania tej klasy układów scalonych (Analog Devices produkuje kilka układów opartych na podobnych zasadach, nie tylko AD8318), ilustrując teorię kilkoma wyidealizowanymi symulacjami LTspice opartymi na źródłach behawioralnych. Zanim przejdziemy do tego, jak działa AD8318, warto omówić ogólnie pomiar mocy RF, ponieważ istnieją pewne potencjalne punkty nieporozumień.

Pomiar mocy sygnału

Sygnał elektryczny wytwarzający na obciążeniu napięcie V i prąd I dostarcza do obciażenia moc chwilową P=VI. Jeśli obciążenie jest rezystancją o wartości R, możemy również wyrazić moc jako $P=V^2/R$ lub $P=I^2R$, zastępując I lub V za pomocą prawa Ohma (V=IR, I=V/R). Tak więc, jeśli znamy R, możemy uzyskać wartości mocy po prostu mierząc napięcie (lub prąd). W układach RF ścieżka sygnału jest zwykle dopasowana do określonej impedancji (na przykład 50 Ω), więc możliwe jest wyznaczenie mocy sygnału z pomiarów napięcia. Jest to założenie zastosowane we wspomnianym na wstępie projekcie RF Power Meter, który ma nominalną impedancję wejściową 50 Ω.

Moc rozpraszana (ściśle biorąc energia) w rezystorze od sygnału sinusoidalnego, zmienia się od chwili do chwili, jednak często musimy znać średnią moc w pewnym okresie czasu (co najmniej jeden cykl). Dotyczy to wskaźników siły sygnału (np. w telefonie komórkowym) lub urządzeń, na przykład takich jak projekt RF Power Meter, ale także wewnętrznych obwodów urządzeń radiowych. Na przykład siła odbieranego sygnału radiowego znacznie się zmienia i często konieczne jest dostosowanie wzmocnienia sygnału, aby to uwzględnić (AGC – automatyczna regulacja wzmocnienia) – wymagany jest dokładny pomiar siły sygnału.

Jak już wspomniano, przy stałym/założonym obciążeniu możemy uzyskać moc z napięcia, ale znalezienie średniej mocy dla sygnału AC nie jest po prostu kwestią przyjęcia średniego napięcia lub prądu – wynosi ona zero dla fali sinusoidalnej w dowolnej pełnej liczbie cykli. Ciepło wytwarzane w rezystorze stanowi podstawę sposobu definiowania mocy dla sygnałów innych niż DC – moc AC jest równa mocy DC, która wytworzyłaby tę samą ilość ciepła w rezystorze. Dla stałego R można to uzyskać poprzez uśrednienie V^2 w czasie ($P=V^2/R$). Jeśli weźmiemy pierwiastek kwadratowy ze średniej V^2, otrzymamy wartość zwaną „średnią kwadratową" (RMS) lub wartością skuteczną napięcia – jest to napięcie prądu stałego, które po przyłożeniu do obciążenia spowodowałoby takie samo rozproszenie mocy, jak to wytwarzane przez nasz sygnał AC.

W przypadku przebiegów okresowych o stałym kształcie (np. sinusoidalnym, trójkątnym i prostokątnym) istnieje stała zależność między napięciem szczytowym a wartością skuteczną, która jest znana jako współczynnik szczytu. Matematycznie można to uzyskać poprzez całkowanie kwadratu przebiegu w jednym cyklu, ale oczywiście wyniki są dobrze znane dla typowych przebiegów. Dla fali sinusoidalnej $V_{peak}=\sqrt{2}\times V_{RMS}=1{,}4142\ V_{RMS}$ (współczynnik szczytu (C) wynosi 1,4142). Współczynnik szczytu dla fali trójkątnej wynosi: $C=\sqrt{3}=1{,}7321$, a dla fali prostokątnej C=1. Wartości te odnoszą się do przebiegów, które są niezniekształcone i symetryczne względem 0 V.

eprasa.pl e016f8d744

Jeśli znamy lub zakładamy przebieg i mamy stałą, znaną rezystancję obciążenia, wynika z tego, że możemy uzyskać moc z pomiaru napięcia szczytowego (lub średniego napięcia szczytowego w wielu cyklach). Średnia moc to V^2_{RMS}/R – którą można znaleźć na podstawie średniego napięcia szczytowego poprzez odpowiednie skalowanie uzyskane z R i współczynnika szczytu. Jeśli jednak przebieg ma dowolny kształt i potrzebujemy pomiaru „prawdziwej wartości skutecznej", proces jest bardziej złożony. Układ scalony AD8318 nie mierzy prawdziwej wartości skutecznej.

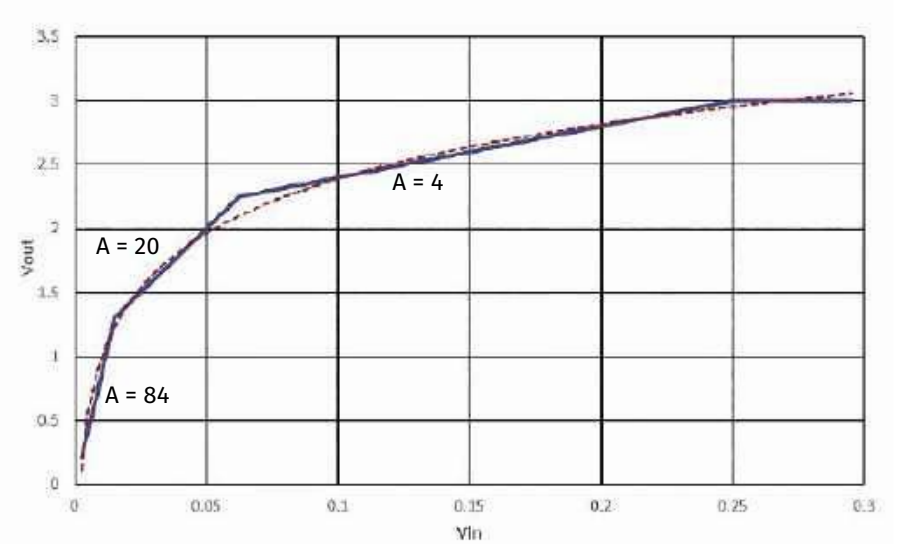
Decybele

Moc w systemach RF jest zwykle wyrażana w jednostkach dBm – jest to moc w decybelach (dB) odniesiona do 1 mW. Decybel opiera się na logarytmie stosunku mocy dwóch sygnałów (powiedzmy P_1 i P_2). Jeśli interesuje nas wzmocnienie lub tłumienie (relacja wejście-wyjście), to dwa sygnały są oczywiście wejściem i wyjściem. Aby jednak użyć jednostek decybelowych do wyrażenia mocy poszczególnych sygnałów, jedna z wartości mocy musi być stałym odniesieniem, co jest wyrażone w zapisie jednostek (np. dBm dla odniesienia 1 mW i dBW dla odniesienia 1 W).

Decybele są użyteczne, ponieważ ich logarytmiczny charakter oznacza, że bardzo duże zakresy poziomów mocy są skompresowane do małego zakresu wartości decybeli. Przyrząd, taki jak miernik mocy RF, który reaguje bezpośrednio na poziom sygnału w decybelach, jest w stanie objąć bardzo szeroki zakres mocy sygnału. Użycie decybeli na skali wykresu pozwala dostrzec szczegóły zarówno przy dużych, jak i małych poziomach sygnału (szczegóły dotyczące małych poziomów zostałyby utracone na wykresie liniowym). Podczas rozważania ścieżek sygnału, wyrażanie wzmocnienia i tłumienia w decybelach ułatwia obliczenia – mnożenie wzmocnienia lub tłumienia kolejnych stopni wzmacniających lub tłumiących przekłada się na dodawanie lub odejmowanie w logarytmicznym świecie decybeli.

Stosunek mocy w decybelach jest wyrażony jako $10\log_{10}(P_2/P_1)$ dB, gdzie P_1 jest poziomem odniesienia (na przykład 1 mW), a P_2 jest wartością, którą mierzymy. Termin „decybel" oznacza jedną dziesiątą (decybel, stąd d) bela (symbol B). Jeden bel to $\log_{10}(P_2/P_1)$, ale ponieważ używamy $10\log_{10}(P_2/P_1)$, liczymy w dziesiątych częściach bela. Bel został nazwany na cześć Alexandra Grahama Bella.

Możemy również użyć decybeli do wyrażenia poziomów napięcia. Biorąc pod uwagę, że $P=V^2/R$, jeśli rozważymy stosunek mocy z tym samym R, to $P_2/P_1=V^2_2/V^2_1$, Jeśli podniesiemy coś do kwadratu wewnątrz logarytmu, jest to równoważne pomnożeniu logarytmu przez dwa (bez kwadratu). Czyli $\log(x^2)=2\log(x)$. Tak więc, aby wyrazić napięcie w decybelach, używamy $20\log_{10}(V_2/V_1)$. Zauważ, że mnożymy przez 20, a nie przez 10, jak w przypadku współczynnika mocy. Ponownie, w przypadku poziomów sygnałów, a nie wzmocnień, musimy wskazać poziom odniesienia (na przykład dBV odnosi się do 1 V).



Rysunek 1. Odcinkami liniowe przybliżenie (niebieska linia ciągła) do logarytmicznej (czerwona linia przerywana) zależności wyjście – wejście

Demodulujące wzmacniacze logarytmiczne do pomiaru mocy

Możemy napisać wyrażenie dla średniej mocy sygnału w dBm, w odniesieniu do napięcia RMS sygnału (V_{RMS}). Używając $P_2=V^2_{RMS}/R$ i $P_1=1$ mW:

$P_{dBm}=10\log_{10}(V^2_{RMS}/R/1mW)$

Zwróć uwagę, że R nie jest anulowane w tym równaniu, więc powinniśmy podać użytą wartość (na przykład 50 Ω). Dla ustalonego kształtu przebiegu o znanym współczynniku szczytu mamy:

$V_{peak}=C\times V_{RMS}$, więc:

$V^2_{RMS}=(V_{peak}/C)^2$

$P_{dBm}=10\log_{10}((Vpeak/C)^2/R/1mW)$

Dla fali sinusoidalnej do 50 Ω, z $C=\sqrt{2}$ i R=50 Ω otrzymujemy:

$P_{dBm}=10\log_{10}(V^2_{peak}/2\times50\times0{,}001)$

$=10\log_{10}(V^2_{peak}/0{,}1)$

Dzielenie wewnątrz logarytmu jest równoważne odejmowaniu logarytmów, więc:

$P_{dBm}=10\log_{10}(V^2_{peak})-10\log_{10}(0{,}1)$

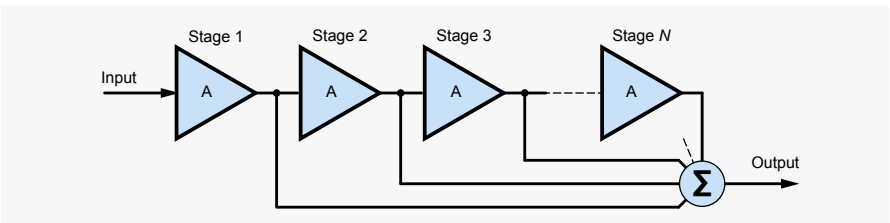
$=10\log_{10}(V^2_{peak})+10$

Użycie napięcia zamiast jego kwadratu:

$P_{dBm}=20\log_{10}(V_{peak})+10$

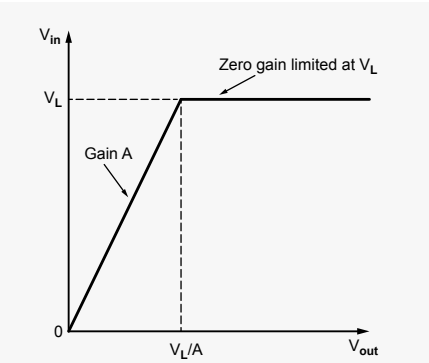
Tak więc, jeśli zbudujemy układ o impedancji wejściowej 50 Ω, który wytwarza sygnał wyjściowy proporcjonalny do logarytmu wartości szczytowej sygnału wejściowego, otrzymamy napięcie wyjściowe, które jest proporcjonalne do mocy w dBm. Istnieje przesunięcie (10 w powyższym równaniu), które można łatwo uwzględnić w kalibracji. Współczynnik szczytu po prostu zmienia to przesunięcie, więc kalibrację można przeprowadzić dla różnych stałych kształtów przebiegu. Podobnie, impedancja wejściowa również zmienia przesunięcie w powyższym równaniu, ale w przypadku rzeczywistej implementacji musi być ona prawidłowo dopasowana, co zwykle oznacza impedancję odniesienia.

Kluczową rzeczą jest tutaj logarytmiczna odpowiedź na szczytowe napięcie wejściowe – dokładnie to, co zapewnia AD8318 i wiele innych podobnych układów. Reakcja na wartość szczytową oznacza, że wyjście śledzi logarytm obwiedni amplitudy fali wejściowej. Jest to podobne do procesu detekcji lub demodulacji w odbiornikach radiowych AM, więc



Rysunek 2. Kaskada N wzmacniaczy ograniczających z sumowanymi wyjściami, która w przybliżeniu daje odpowiedź logarytmiczną

eprasa.pl e016f8d744



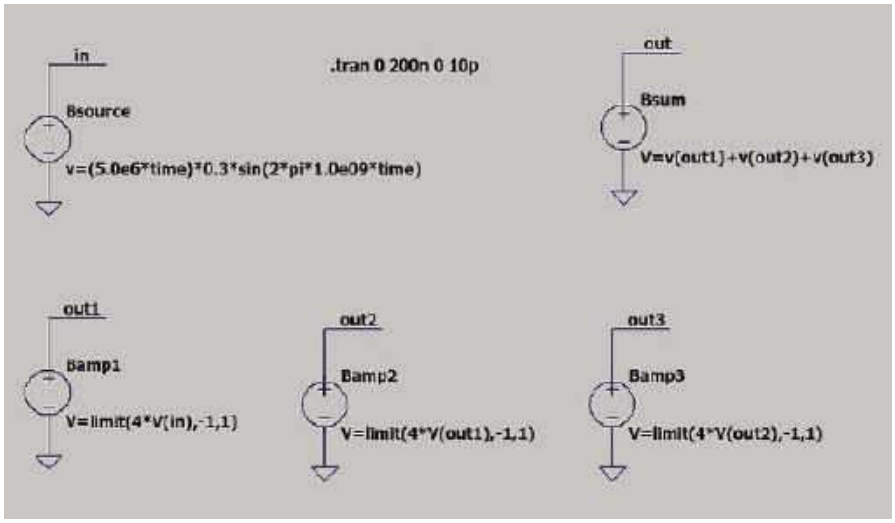
Rysunek 3. Zależność wyjście – wejście wzmacniacza ograniczającego ze wzmocnieniem A i ograniczeniem wyjściowym V_L

tego typu obwody są określane jako demodulujące wzmacniacze logarytmiczne.

Wzmacniacze logarytmiczne

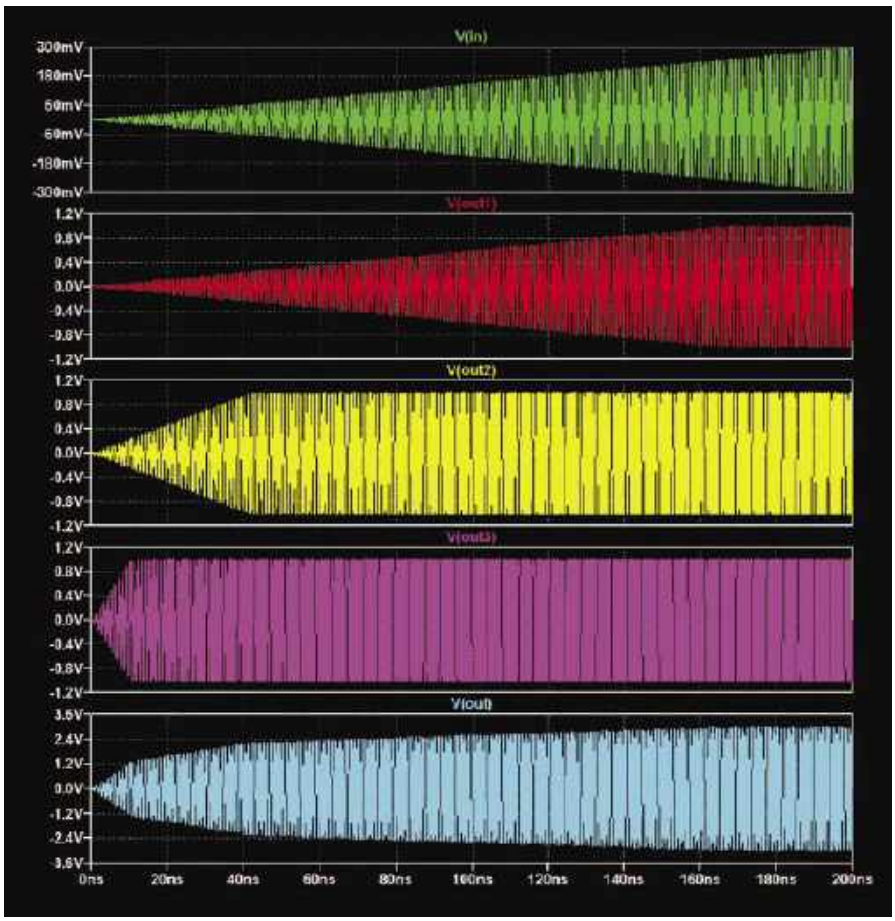
Istnieje wiele sposobów zrealizowania układu o odpowiedzi logarytmicznej. Powszechnym podejściem dla prądu stałego lub niskich częstotliwości jest wykorzystanie wykładniczej zależności prąd-napięcie diody lub tranzystora w pętli sprzężenia zwrotnego wzmacniacza operacyjnego. Jednak w przypadku wysokich częstotliwości, takich jak te docelowe dla AD8318, często stosuje się przybliżenie odcinkami liniowe. Układ ma wzmocnienie, które zmienia się w przedziałach zakresu wejściowego. Zatem na wykresie zależności wyjście-wejście pojawia się seria odcinków prostoliniowych. Zostało to zilustrowane na **rysunku 1**, gdzie aproksymacja odcinkowo-liniowa jest zbiorem ciągłych niebieskich linii, które ściśle przybliżają prawdziwą funkcję logarytmiczną pokazaną przerywaną linią czerwoną.

Odpowiedź odcinkowa na rysunku 1 ma najwyższe wzmocnienie (×84) dla małych sygnałów wejściowych (wzmocnienie to nachylenie wykresu, więc bardziej strome nachylenie oznacza większe wzmocnienie). W pewnym momencie (około V_{in}=16 mV na rysunku 1) wzmocnienie zmniejsza się z ×84 do ×20. Ten przedział jest dłuższy niż pierwszy, rozciągając się na około 47 mV do V_{in}=63 mV. Trzeci przedział ma jeszcze niższe wzmocnienie ×4 i obejmuje dłuższy zakres, do około V_{in}=250 mV. Powyżej tego napięcia wejściowego wyjście ogranicza się do stałych 3 V. Odpowiedź odcinkowa na rysunku 1 dość dobrze aproksymuje funkcję logarytmiczną w zakresie od 3 do 300 mV. W przypadku wyższych napięć wejściowych nasycenie (stały końcowy poziom wyjściowy) będzie coraz bardziej odbiegać od funkcji logarytmicznej wraz ze wzrostem poziomu wejściowego, a tym samym logarytmu sygnału wejściowego. W przypadku bardzo małych napięć wejściowych funkcja logarytmiczna generowałaby duże wartości ujemne. Rzeczywisty układ będzie generował odpowiedź logarytmiczną tylko w ograniczonym zakresie.



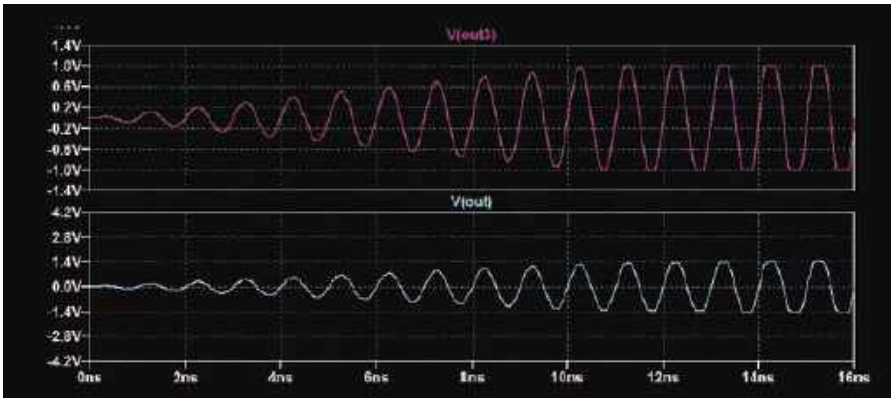
Rysunek 4. Symulacja behawioralna LTspice zsumowanej kaskady wzmacniaczy ograniczających

Odpowiedź logarytmiczną można zaimplementować za pomocą kaskady wzmacniaczy o ograniczonym napięciu wyjściowym z ich zsumowanymi napięciami wyjściowymi, jak pokazano na **rysunku 2** – ta struktura układu jest używana w AD8318. Wzmacniacze mają wzmocnienie A, dopóki wyjście nie osiągnie napięcia granicznego (V_L), powyżej którego wzmocnienie wynosi zero. Napięcia wejściowe większe lub równe V_L/A wytwarzają na wyjściu napięcia ograniczone do V_L. Zależność wejście-wyjście wzmacniacza ograniczającego pokazano na **rysunku 3** – dotyczy to wejść dodatnich, dla wejść ujemnych wyjście ogranicza się do $-V_L$.

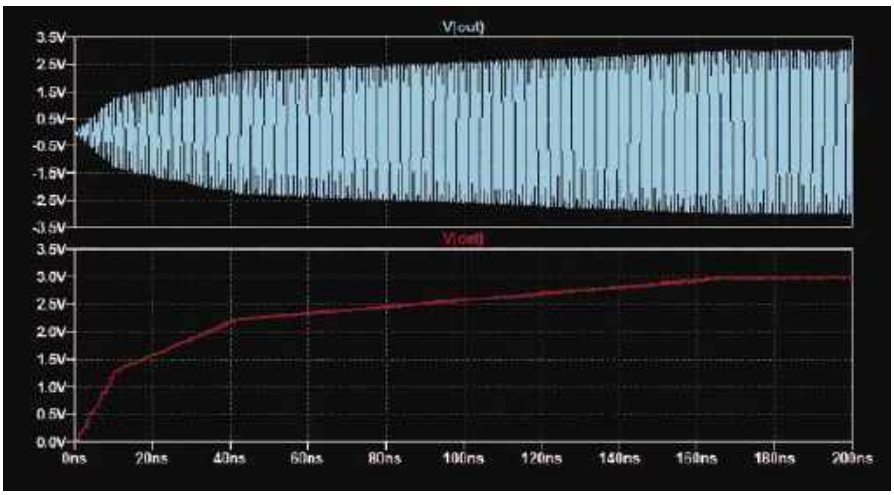


Rysunek 5. Wyniki symulacji dla układu z rysunku 4

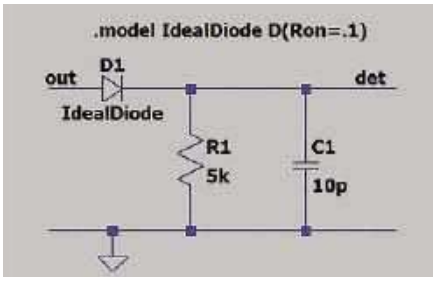
eprasa.pl e016f8d744



Rysunek 6. Powiększenie dwóch sygnałów na rysunku 5



Rysunek 8. Wyniki symulacji dla układu z rysunku 7 – V(det) podąża za obwiednią V(out)



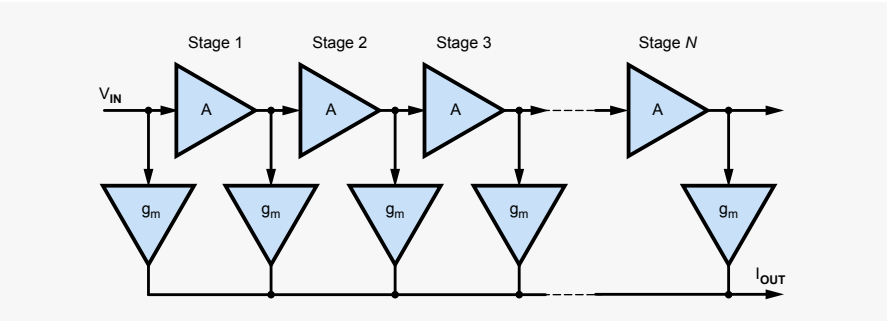
Rysunek 7. Układ diodowego detektora obwiedni (część schematu LTspice)

Jeśli do układu na rysunku 2 zostanie przyłożony wystarczająco mały sygnał wejściowy, żaden ze wzmacniaczy nie zostanie ograniczony, a wzmocnienie na wyjściu końcowym wyniesie A^N, na przykład przy trzech stopniach wzmocnienie wynosi $A\times A\times A=A^3$. Wyjście przedostatniego stopnia ma wzmocnienie $A^{(N-1)}$, wyjście poprzedzające $A^{(N-2)}$ itd. Wyjścia te są sumowane, więc na przykład całkowite wyjście z trzema stopniami wynosi $(A^3+A^2+A)\ V_{in}$. Jeśli A=4, to wzmocnienie wynosi $(4^3+4^2+4)\ V_{in}=(64+16+4)\ V_{in}=84\ V_{in}$, tak samo jak w pierwszym odcinku na rysunku 1.

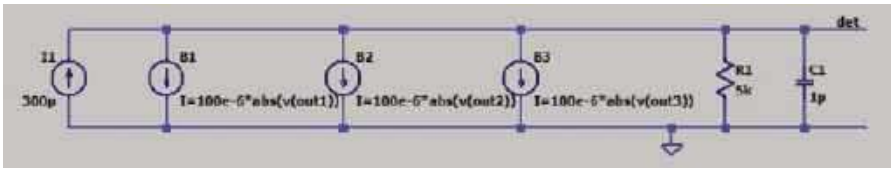
Jeśli sygnał wejściowy zostanie zwiększony do punktu, w którym wyjście przedostatniego wzmacniacza jest równe V_L, wówczas przy tym i wyższych wejściach wzmacniacz końcowy zostanie ograniczony. Dzieje się tak przy $A^N V_{in}=V_L$ lub $V_{in}=V_L/A^N$, na przykład przy trzech stopniach i V_L=1 przy 1/64=16 mV – koniec pierwszego odcinku na rysunku 1. W tych warunkach wzmacniacz końcowy będzie wnosił stały wkład V_L do sumowanego wyjścia. Dla trzech stopni, wyjście będzie miało wartość $(A^2+A)V_{in}+V_L$. Jeśli A=4 i V_L=1, ten odcinek będzie miał funkcję $20V_{in}+1$, zaczynając od V_{in}=16 mV, więc V_{out} w tym punkcie wynosi 20×0,016+1=1,3 V, jak widać na rysunku 1.

Następny odcinek pojawia się, gdy przedostatni wzmacniacz osiąga wartość graniczną $A^{(N-1)}V_{in}=V_L$. W przypadku trzech stopni drugi wzmacniacz ogranicza się do V_L/A^2, co dla A=4 i V_L=1 wynosi V_{in}=1/16=63 mV – koniec drugiego odcinku na rysunku 1. W tym segmencie dwa ostatnie wzmacniacze dostarczają do wyjścia stałą wartość V_L. Dla trzech stopni będzie to $AV_{in}+2V_L$. Dla A=4 i V_L=1 ten (trzeci) odcinek będzie miał funkcję $4V_{in}+2$, zaczynając od V_{in}=63 mV, więc Vout w tym punkcie wynosi 4×0,063+2=2,3 V, jak widać na rysunku 1.

Przy wystarczająco dużym wejściu ($V_{in}\geq V_L/A$) pierwszy wzmacniacz i wszystkie pozostałe w kaskadzie ograniczą się, a zsumowane wyjście ograniczy się do NV_L. W naszym przykładzie, przy N=3, A=4 i V_L=1, następuje to przy V_{in}=1/4=250 mV. Powyżej tego napięcia wejściowego napięcie wyjściowe jest stałe i wynosi $3V_L$=3 V. Widać to na rysunku 1. Poprzednia dyskusja wykazała, że układ na rysunku 2 może wytwarzać fragmentaryczne przybliżenie funkcji logarytmicznej pokazanej na rysunku 1. W tym przykładzie wykorzystano tylko trzy stopnie, co jest wystarczające do zilustrowania zasady działania takiego układu, ale znacznie lepszą dokładność przybliżenia funkcji logarytmicznej można uzyskać przy większej liczbie stopni – AD8318 ma ich dziewięć.



Rysunek 9. Wykorzystanie wzmacniaczy transkonduktancyjnych do sumowania wyjść kaskady wzmacniaczy



Rysunek 10. Wzmacniacz transkonduktancyjny z charakterystyką wartości bezwzględnej, sumowanie prądu i obwód filtrujący (część schematu LTspice)

eprasa.pl e016f8d744

Symulacja behawioralna LTspice

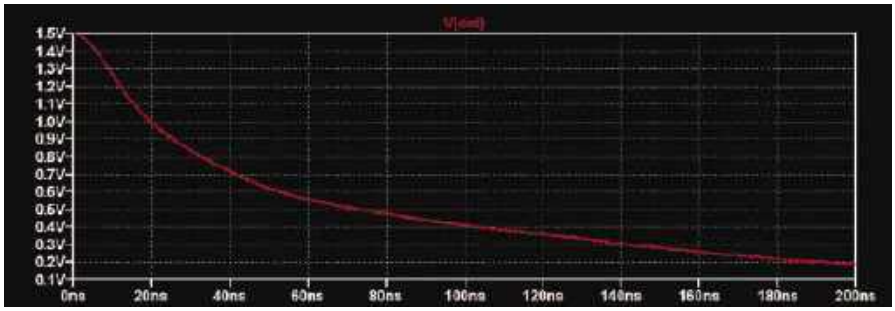
Możemy symulować wyidealizowaną wersję kaskady wzmacniaczy w LTspice przy użyciu źródeł behawioralnych. Są to źródła napięcia lub prądu, dla których możemy napisać równania – wyjście źródła może być wyrażone jako funkcja matematyczna innych napięć i prądów w obwodzie, czasu i stałej π. Na przykład, możemy modelować wzmacniacz o wzmocnieniu 4 za pomocą źródła behawioralnego o równaniu `V=4*V(in)`. Na wyjściu źródła będzie sygnał czterokrotnie większy od napięcia na węźle in. Aby utworzyć wzmacniacz ograniczający, możemy użyć funkcji `limit`. Wyjściem funkcji LTspice `limit(x-,min,max)` jest `x`, jeśli `x` mieści się między `min` a `max`, w przeciwnym razie ogranicza się do `min` lub `max`, w zależności od tego, która wartość została przekroczona.

Możemy użyć `V=limit(4*V(in),-1,1)` do wytworzenia wzmacniacza o wzmocnieniu 4, ograniczając jego wyjście do ±1 V, tak jak w poprzedniej dyskusji. Schemat LTspice na **rysunku 4** zawiera trzy takie wzmacniacze (`Bamp1`, `Bamp2` i `Bamp3`) połączone kaskadowo (np. wyjście `Bamp1` jest na węźle `out1`, który jest wejściem dla `Bamp2`). Kolejne źródło behawioralne (`Bsum`) służy do sumowania trzech wyjść wzmacniacza. Aby zobaczyć odpowiedź układu, tworzymy sygnał wejściowy sinusoidy 1 GHz, którego amplituda wzrasta liniowo od 0 V do 300 mV (taki sam zakres wejściowy jak na rysunku 1) w ciągu 200 ns.

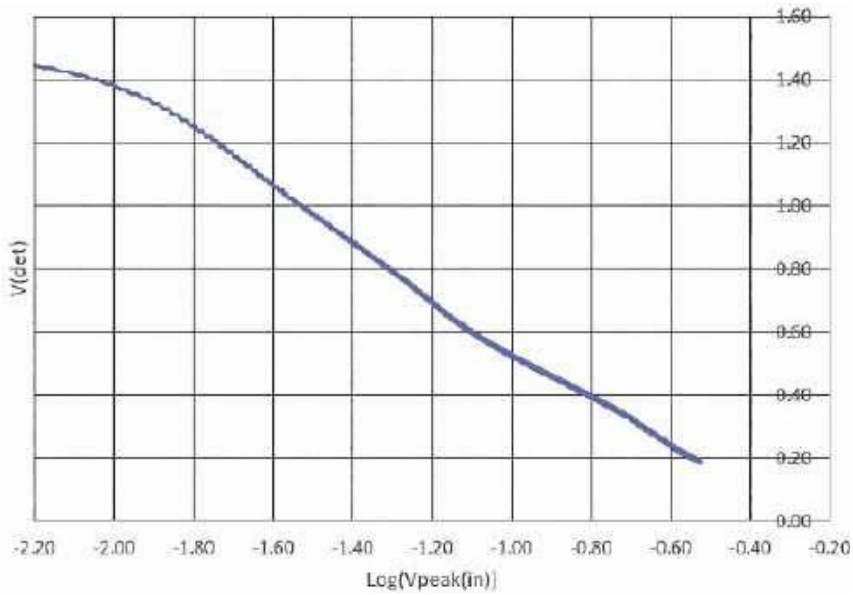
Wyniki symulacji pokazano na **rysunku 5**. Symulacja obejmuje tak wiele cykli fali sinusoidalnej 1 GHz, że nie można pokazać szczegółów kształtu fali – wykresy pokazują bloki koloru, a kształt bloków podąża za obwiednią amplitudy sygnału. Wraz ze wzrostem sygnału wejściowego (`V(in)`), trzy wzmacniacze ograniczają się kolejno (wyjście wzmacniacza końcowego `V(out3)` ogranicza się jako pierwsze). Widzimy, że ich amplitudy wyjściowe rosną liniowo, aż do osiągnięcia limitu 1 V w każdym przypadku. Zsumowana obwiednia wyjściowa (`v(out)`) ma kształt krzywej odcinkowej na rysunku 1. Rysunek 5 to powiększenie pierwszej części przebiegów `V(out3)` i `V(out)` pokazujące obcinanie sygnału sinusoidalnego, gdy `Bamp3` osiąga limit.

Detektor obwiedni

Obwód opisany do tej pory ma logarytmiczną odpowiedź wzmocnienia, ale nie robi wszystkiego, czego potrzebujemy do zaimplementowania w mierniku mocy RF – w szczególności tylko wzmacnia sygnał wejściowy, nie wyprowadza napięcia równego wartości szczytowej.



Rysunek 11. Wynik symulacji układu z rysunku 10



Rysunek 12. Wykres V(det) z rysunku 11 w funkcji logarytmu szczytowego napięcia wejściowego

Prostym sposobem na uzyskanie wartości szczytowej (ale nie tej używanej przez AD8318) jest użycie prostownika półfalowego i filtra RC – detektora diodowego lub demodulatora obwiedni, często kojarzonego z podstawowymi obwodami radiowymi AM. Aby to zrobić, układ na **rysunku 7** jest dodawany do schematu na rysunku 4 (rysunek 7 pokazuje tylko detektor, reszta schematu jest taka sama jak na rysunku 4). Dioda jest wyidealizowana – ma zerowy spadek napięcia w kierunku przewodzenia. Wyniki symulacji z detektorem pokazano na **rysunku 8**, na którym `V(out)` jest takie samo jak na rysunku 5. Napięcie wyjściowe `V(det)` podąża za obwiednią kształtu fali `V(out)`, która ze względu na liniowy wzrost amplitudy wejściowej jest zbliżona do krzywej odcinkami liniowej na rysunku 1. Na wykrytym wyjściu występują pewne tętnienia, ponieważ filtr RC nie zapewnia idealnego wygładzenia obwiedni.

Wzmacniacze transkonduktancyjne

Bezpośrednie sumowanie napięć jest stosunkowo trudne, a półfalowy detektor diodowy nie zapewnia bardzo wysokiej wydajności – prawdziwe diody mogą mieć zbyt duży spadek napięcia, aby mogły być używane bezpośrednio dla sygnałów o niskim poziomie.

Istnieją lepsze metody dodawania i detekcji. Dodawanie sygnałów można łatwo osiągnąć za pomocą prądów – wystarczy połączyć wszystkie wyjścia prądowe razem. Można to zrobić za pomocą wersji układu z rysunku 2 pokazanej na **rysunku 9**. Wyjście każdego wzmacniacza w kaskadzie jest doprowadzane do wzmacniacza transkonduktancyjnego (wzmocnienie g_m). Wzmacniacze transkonduktancyjne mają wejście napięciowe i wyjście prądowe. Wyjścia wzmacniacza transkonduktancyjnego są połączone razem w celu zsumowania prądów. Aby osiągnąć detekcję, wzmacniacze transkonduktancyjne mogą mieć charakterystykę wartości bezwzględnej (zarówno dodatnie, jak i ujemne wejścia dają dodatnie wyjścia) lub charakterystykę kwadratową (kwadrat zarówno dodatnich, jak i ujemnych wartości jest dodatni). Wyjście prądowe można przekształcić na napięcie, przepuszczając je przez rezystor, a następnie filtr dolnoprzepustowy,

eprasa.pl e016f8d744

aby zapewnić sygnał związany z obwiednią amplitudy.

Układ na **rysunku 10** jest wersją układu z rysunku 9 w LTspice wykorzystującą behawioralne źródła prądu do implementacji wzmacniaczy transkonduktancyjnych z funkcją absolutną (wartości bezwzględne). Każde źródło prądu ma funkcję `I=100e-6*abs(v(out3))` – zwróć uwagę na użycie `abs()`. Wzmocnienie wynosi g_m=100 µA/V. Reszta tego schematu jest taka sama jak na rysunku 4, ale bez źródła `Bsum`, ponieważ ta funkcja jest zastąpiona przez układ na rysunku 9. Źródła prądu są połączone równolegle w celu zsumowania prądów, a stały prąd jest dodawany w celu zapewnienia dodatniego przesunięcia, gdy na wyjściach wzmacniaczy transkonduktancyjnch są sygnały zerowe. Prąd jest podawany do obwodu RC, aby przekształcić go w napięcie i zapewnić filtrowanie dolnoprzepustowe. Wyniki symulacji dla obwodu z rysunku 10 pokazano na **rysunku 11** – jest to tylko sygnał `V(det)`, `V(in)` i `V(out1)`, `V(out2)` i `V(out3)` są takie same jak na rysunku 5.

Ujemne nachylenie odpowiedzi `V(det)` jest podobne do odpowiedzi AD8318. Aby zweryfikować, że jest to funkcja logarytmiczna, **rysunek 12** pokazuje `V(det)` wykreślone względem logarytmu wartości szczytowej `V(in)`. Uzyskano to poprzez wyeksportowanie danych LTspice do programu Excel. Rysunek 12 pokazuje mniej więcej liniową zależność o ujemnym nachyleniu między `V(det)` a logarytmem szczytowego napięcia wejściowego, co jest zgodne z odpowiedzią AD8318. Jak już wspomniano, obwód LTspice, choć wyidealizowany, jest prymitywną implementacją, ponieważ wykorzystuje tylko trzy stopnie, a nie dziewięć w AD8318. Różne inne szczegóły nie zgadzają się dokładnie, ale ten przykład jest wystarczający do zilustrowania podstawowych zasad działania. Czytelnicy zainteresowani poznaniem szczegółów działania tych układów powinni zapoznać się z danymi katalogowymi AD8318, a także danymi katalogowymi AD8307, który jest wzmacniaczem logarytmicznym opartym na podobnych zasadach – noty katalogowe AD8307 zawierają też więcej szczegółów na temat teorii działania tego układu. ■

Ian Bell

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

REKLAMA

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

Sięgnij po archiwalne wydania

ELEKTRONIKI dla WSZYSTKICH

Przesyłka **GRATIS**

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

eprasa.pl e016f8d744

1. Wygląd multimetru FNIRSI S1 (© 2023 Jos Verstraten)

FNIRSI S1

– inteligentny multimetr z dużym wyświetlaczem

Firma FNIRSI, znana z popularnych oscyloskopów, wprowadziła na rynek multimetr S1 (patrz oferta na www.sklep.avt.pl). Urządzenie wygląda jak gruby smartfon i działa niemal całkowicie automatycznie, zatem w pełni zasługuje na nazwę SMART S1.

Wprowadzenie do S1 FNIRSI

Czym jest miernik S1? S1 to multimetr cyfrowy, który mierzy wymienione poniżej wielkości niemal w pełni automatycznie:

- napięcia stałe,
- napięcia przemienne,
- rezystancje,
- pojemności,
- częstotliwość,
- temperaturę.

Nie można za jego pomocą mierzyć natężenia prądu, ale jest to funkcja, której używa się najmniej w praktyce. Nie uważamy tego za poważną wadę. Duży wyświetlacz ma dwa wskaźniki numeryczne do 9999, które pokazują zarówno wartość skuteczną, jak i częstotliwość podczas pomiaru napięcia AC. Podczas pomiaru temperatury na tych dwóch wskaźnikach wyświetlana jest temperatura zarówno w°C, jak i w°F. Główny wskaźnik ma cyfry o wysokości 18 mm. Dostępna jest również inna skala analogowa z zakresem od 0 do 100% ustawionego zakresu.

Multimetr ten posiada również nieodzowną w dzisiejszych czasach białą diodę LED z tyłu oraz opcję pomiaru obecności pól o częstotliwości 50 Hz w pobliżu linii przewodzących prąd.

SMART S1 ma dwie szczególne cechy. Jest zasilany z wbudowanego akumulatora litowo-jonowego, który można ładować za pomocą zwykłej ładowarki USB 5 V. Akumulator ma napięcie 3,7 V i pojemność 1000 mAh. Maksymalny prąd ładowania wynosi 450 mA, a czas ładowania to dwie godziny. Po naładowaniu baterii można mierzyć przez około pięć godzin. Ponadto miernik ten posiada możliwość indywidualnej kalibracji urządzenia.

S1 jest sprzedawany pod marką FNIRSI przez chińską firmę Shenzhen FNIRSI Technology Co. z (oczywiście) Shenzhen.

eprasa.pl e016f8d744

2. Zawartość przesyłki multimetru FNIRSI S1 (© 2023 Jos Verstraten)

Wygląd multimetru S1

Wiele nowoczesnych chińskich multimetrów przypomina smartfony, a S1 nie jest wyjątkiem. Mierzy 143 mm na 75 mm na 19 mm i waży 134 g. Miernik nie jest zamknięty w gumowym etui ochronnym (jak wiele mierników), ale w obudowie wykonanej z twardego plastiku. Obudowa ta jednak dobrze leży w dłoni.

Dwa wejścia pomiarowe znajdują się na spodzie urządzenia, co praktycznie uniemożliwia umieszczenie multimetru pod kątem w uchwycie na stole. Na górze znajduje się przycisk „ON/OFF" i złącze USB-C do podłączenia ładowarki.

Przycisk „SEL" umożliwia wyjście z trybu automatycznego pomiaru i ręczne ustawienie mierzonej wielkości. Przycisk „HOLD" zamraża odczyt. Biała dioda LED z tyłu miernika zapala się po naciśnięciu tego przycisku na dłużej niż jedną sekundę. Przycisk „LIVE/NCV" wybiera opcję wykrywania gorącego przewodu napięcia sieciowego lub wykrywania przewodów elektrycznych w ścianie.

Nie ma więc możliwości ręcznego ustawienia zakresu pomiarowego, miernik sam określa zakres, który zapewnia najlepszą rozdzielczość.

Po 15 minutach bezczynności licznik wyłączy się automatycznie.

Przewody testowe

Przewody pomiarowe są standardowymi przewodami dostarczanymi z prawie wszystkimi chińskimi multimetrami. Mają długość 105 cm, są bardzo elastyczne, a końcówka w kształcie igły ma plastikową osłonę ochronną. Napis „1000V ~ 20A" należy traktować z przymrużeniem oka. Wtyki bananowe są w pełni ekranowane, a przewód jest podłączony do wtyczki bananowej pod kątem 90°. Rezystancja własna przewodów pomiarowych wynosi około 75 mΩ (zmierzona przez nas).

Podręcznik

Jest to doskonale wydana 28-stronicowa broszura, która jasno omawia wszystkie funkcje i specyfikacje w języku chińskim i doskonałym angielskim. Gdyby tylko wszystkie chińskie produkty miały tak dobrą instrukcję! Zeskanowaliśmy ją i umieściliśmy na naszym koncie w archive.org: https://archive.org/download/Chinese-producten-manuals/FNIRSI_S1_Multimeter.pdf.

Dane techniczne multimetru FNIRSI S1

Według producenta multimetr ten ma następujące specyfikacje:

- Wybór jednostki pomiarowej: automatyczny lub ręczny
- Napięcie DC: 9,999 V dokładność ±(0,8%+3), rozdzielczość 0,001 V
- Napięcie DC: 99,99 V, dokładność ±(0,8%+3), rozdzielczość 0,01 V
- Napięcie DC: 999,9 V, dokładność ±(0,8%+3), rozdzielczość 0,1 V
- Napięcie przemienne: 9,999 V, dokładność ±(0,8%+3), rozdzielczość 0,001 V
- Napięcie przemienne: 99,99 V, dokładność ±(0,8%+3), rozdzielczość 0,01 V

3. Dostarczone przewody testowe (© AliExpress)

- Napięcie przemienne: 999,9 V, dokładność ±(0,8%+3), rozdzielczość 0,1 V
- Zakres częstotliwości napięcia AC: 50 Hz ~ 1 kHz
- Metoda pomiaru napięcia przemiennego: rzeczywista wartość skuteczna
- Rezystancja: 999,9 Ω, dokładność ±(0,8%+3), rozdzielczość 0,1 Ω
- Rezystancja: 99,99 kΩ, dokładność ±(0,8%+3), rozdzielczość 0,01 kΩ
- Rezystancja: 999,9 kΩ, dokładność ±(0,8%+3), rozdzielczość 0,1 kΩ
- Rezystancja: 99,99 MΩ, dokładność ±(1,2%+3), rozdzielczość 0,01 MΩ
- Pojemność: 9,999 nF, dokładność ±(4,5%+5), rozdzielczość 0,001 nF
- Pojemność: 99,99 nF, dokładność ±(4,5%+5), rozdzielczość 0,001 nF
- Pojemność: 999,9 nF, dokładność ±(4,5%+5), rozdzielczość 0,1 nF
- Pojemność: 9,999 μF, dokładność ±(4,5%+5), rozdzielczość 0,001 μF
- Pojemność: 99,99 μF, dokładność ±(4,5%+5), rozdzielczość 0,01 μF
- Pojemność: 999,9 μF, dokładność ±(4,5%+5), rozdzielczość 0,1 μF
- Pojemność: 9,999 mF, dokładność ±(4,5%+5), rozdzielczość 0,001 mF
- Częstotliwość: 9,999 Hz, dokładność ±(0,1%+3), rozdzielczość 0,001 Hz
- Częstotliwość: 99,99 Hz, dokładność ±(0,1%+3), rozdzielczość 0,01 Hz
- Częstotliwość: 999,9 Hz, dokładność ±(0,1%+3), rozdzielczość 0,1 Hz

eprasa.pl e016f8d744

- Częstotliwość: 9,999 kHz, dokładność ±(0,1%+3), rozdzielczość 0,001 kHz
- Częstotliwość: 99,99 kHz, dokładność ±(0,1%+3), rozdzielczość 0,01 kHz
- Częstotliwość: 999,9 kHz, dokładność ±(0,1%+3), rozdzielczość 0,1 kHz
- Częstotliwość: 9,999 MHz, dokładność ±(0,1%+3), rozdzielczość 0,001 MHz
- Czułość przy pomiarze częstotliwości: 1,5 Vefektywne
- Temperatura: −20°C ~+400°C, dokładność ±(5%+4), rozdzielczość 1°C
- Pomiary diod: tak, do 3,2 V z 1 mA
- Wbudowany brzęczyk: tak
- Funkcja pamiętania danych: tak
- Wskaźnik niskiego napięcia: tak
- Funkcja NCV (bezkontaktowe wykrywanie napięcia w izolowanych przewodach): tak
- Wbudowana latarka: tak
- Funkcja automatycznego wyłączania: tak, po ±15 minutach
- Prędkość pomiaru: 3 pomiary na sekundę
- Wymiary: 143×75×19 m
- Waga: 134 g

Automatyczne przełączanie

W reklamach S1 jest nazywany „inteligentnym", ponieważ mówi się, że jest w pełni automatyczny. W instrukcji obsługi twierdzenie to jest nieco złagodzone. Miernik może automatycznie przełączać się między napięciem stałym, napięciem przemiennym, rezystancją i ciągłością (diodą). Jednak pozostałe funkcje należy wybrać ręcznie; miernik sam od siebie oczywiście nie zauważa, na przykład, że podłączasz kondensator do wejść lub że chcesz zmierzyć częstotliwość.

Opcja kalibracji

Ta opcja nie jest opisana w instrukcji, ale została opisana na kilku stronach internetowych. Warunkiem wstępnym jest dostęp do szeregu wzorców, takich jak bardzo dokładne napięcie referencyjne 5,000 V, para rezystorów z tolerancją ±0,1% i kondensatory z tolerancją ±1,0%.

Aby włączyć tę opcję, podłącz przewody pomiarowe bez obciążenia, przytrzymaj przycisk „SEL" i włącz multimetr. Po drugim naciśnięciu przycisku „SEL" na wyświetlaczu pojawi się słowo „CAL".

Następnie rozpoczyna się sekwencja kalibracji. Ponieważ bez wątpienia nie masz w domu żadnej z niezbędnych części, nie będziemy tutaj wchodzić w dalsze szczegóły. Jak zostanie pokazane, miernik jest wystarczająco dokładny do prawie wszystkich prac hobbystycznych, a kalibracja nie jest konieczna.

Układ elektroniczny multimetru FNIRSI S1

Demontaż obudowy. Czarna tylna część obudowy jest przymocowana do przedniej za pomocą czterech małych śrubek. Po ich odkręceniu należy ostrożnie podważyć nożem szczelinę między dwiema częściami, aby je rozdzielić. Dzieje się tak, ponieważ są one trzymane razem za pomocą zatrzasków. Następnie można zdjąć tylną obudowę i zobaczyć wewnętrzną elektronikę.

Największym komponentem jest oczywiście bateria, która jest przymocowana do płytki drukowanej za pomocą bardzo dobrze przylegającej taśmy dwustronnej. Dwa gniazda styków 4 mm są przylutowane bezpośrednio do płytki drukowanej. W prawym górnym rogu widać brzęczyk. Biały blok to przekaźnik, którego przełączanie często słychać podczas pomiarów. Na lewo od brzęczyka znajduje się układ TM1621B firmy Titan Micro Electronics. Jest to sterownik LCD 32×4, który zapewnia komunikację z wyświetlaczem.

Mikrokontroler

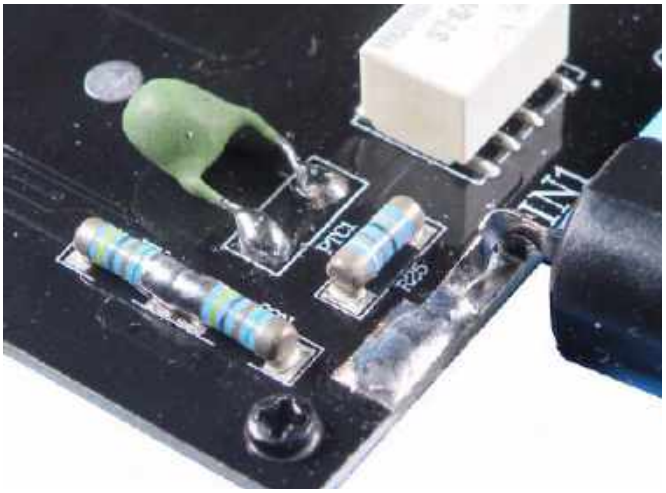
„Mózgiem" tego multimetru jest układ DTM0660L firmy Dream Tech. Układ ten jest sercem wielu tanich chińskich multimetrów. Specyfikacje tego układu są następujące:

- Maksymalny zakres: 4000/6000 (9999 dla częstotliwości i pojemności)
- Szybkość konwersji: 3 pomiary na sekundę
- Zakres: ręczny/automatyczny

4. Wnętrze multimetru FNIRSI S1 (© 2023 Jos Verstraten)

eprasa.pl e016f8d744

5. Elementy wokół układu DTM0660L (© 2023 Jos Verstraten)



6. Obwód wejściowy (© 2023 Jos Verstraten)

- Wskazanie biegunowości: automatyczne
- Napięcie zasilania: 2,4 V ~ 3,6 V
- Pobór prądu: 1 mA (2 µA w trybie uśpienia)
- Pomiar AC: wbudowany procesor true RMS, nie wymaga zewnętrznych komponentów
- Szerokość pasma: 1 kHz
- Odchylenie: mniej niż 0,5%
- Konfiguracja i kalibracja: przechowywane w zewnętrznej pamięci EEPROM
- Wbudowana wartość referencyjna: 1,2 V z dryftem 100 ppm/°C
- Przyciski funkcyjne: SELECT, RANGE, REL, HZ/DUTY, HOLD (PODŚWIETLENIE), MAX/MIN, PODŚWIETLENIE
- Odczyt: 4×15 LCD z symbolami/jednostkami i podświetleniem
- Wbudowane wykrywanie temperatury bez komponentów zewnętrznych
- Kompensacja zimnej spoiny dla pomiarów termoparowych
- Przechowywanie danych min./max.
- Automatyczne wyłączanie: 15 min. lub 30 min.

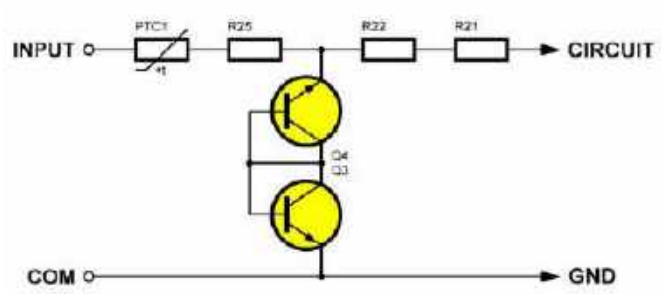
Jak się okazuje, FNIRSI nie wykorzystuje wszystkich funkcji tego układu w tym multimetrze. W szczególności zaimplementowanie funkcji przechowywania minimalnych i maksymalnych zmierzonych wartości nie wymagałoby wiele więcej, co najwyżej dodatkowego przycisku. Jest to funkcja multimetru przydatna w praktyce, na przykład do rejestrowania odchyleń mierzonego napięcia. Również funkcja „REL", w której miernik wykorzystuje chwilową zmierzoną wartość jako wartość odniesienia dla kolejnych pomiarów, mogła być łatwo wbudowana w ten mały miernik.

W przypadku pomiarów napięcia, układ ten najwyraźniej wysyła odczyt do maksymalnie 6000 różnych wartości pomiarowych. Zagadkowe jest, w jaki sposób ten miernik może mierzyć do 9999 możliwych wartości pomiarowych!

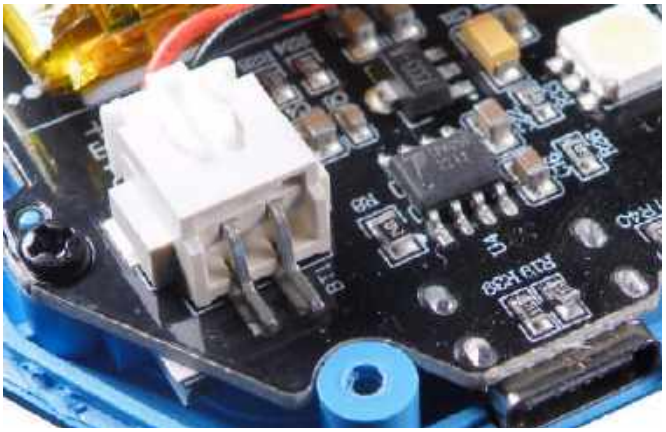
Po lewej stronie rezonatora kwarcowego, tuż przy jego krawędzi, co widać na poniższym zdjęciu, znajduje się FT24C16A. Jest to pamięć EEPROM o pojemności 16 kB, która przechowuje oprogramowanie układowe i dane kalibracyjne.

Szczegóły obwodu wejściowego

Poniższy rysunek przedstawia szczegółowo obwód wejściowy miernika. Trzy rezystory na wejściu są jedynymi zaimplementowanymi jako MELF, „Metal Electrode Leadless Face". Jest to oczywiście spowodowane napięciem, które może odkładać się na tych elementach podczas pomiaru dużych napięć. Część „PTC1" to rezystor o dodatnim współczynniku



7. Zabezpieczenie przepięciowe miernika (© 2023 Jos Verstraten)



8. Blok zasilający (© 2023 Jos Verstraten)

temperaturowym, którego wartość gwałtownie wzrasta powyżej określonej temperatury. Element ten jest prawdopodobnie wykorzystywany w zabezpieczeniach. Powyżej przekaźnika, co można zobaczyć na fotografii 4, znajdują się dwa tranzystory, które również mają związek z ochroną wewnętrznej elektroniki przed przepięciami.

Jest to układ, który stał się standardem w multimetrach z automatycznym przełączaniem zakresów. Dwa tranzystory są przełączane jako diody Zenera.

Szczegółowy opis bloku zasilającego układ

Jak widać na fotografii niżej, wykorzystuje on układ TP4055 „Standalone Linear Li-Ion Battery Charger" chińskiej firmy Yushin. Układ ten ładuje baterie maksymalnym prądem 500 mA i jest zasilany napięciem 5,0 V.

eprasa.pl e016f8d744

Tabela 1. Dokładność pomiaru napięcia stałego (© 2023 Jos Verstraten)

Mierzone napięcie	Zmierzone za pomocą FNIRSI S1	Zmierzone za pomocą FLUKE 8842A
10 mV	0,010 V	10,0741 mV
100 mV	0,099 V	100,069 mV
1,00 V	1,004 V	1,00769 V
10,0 V	9,979 V	10,0078 V
50,0 V	49,98 V	50,004 V

Tabela 2. Dokładność pomiaru napięcia przemiennego (© 2023 Jos Verstraten)

Mierzone napięcie (1 kHz)	Zmierzone za pomocą FNIRSI S1	Zmierzone za pomocą testera ET3255
10,0 mV	0,012 V	10,201 mV
100 mV	0,099 V	100,591 mV
1,00 V	0,986 V	1,00406 V
5,00 V	5,007 V	5,0137 V
napięcie sieciowe	232,4 V	233,97 V

Tabela 3. Szerokość pasma podczas pomiaru napięcia AC (© 2023 Jos Verstraten)

Częstotliwość (1,00 V)	Zmierzone za pomocą FNIRSI S1
5 Hz	0,765 V
10 Hz	1,002 V
50 Hz	1,001 V
500 Hz	0,998 V
1 kHz	0,987 V
2 kHz	0,917 V
3 kHz	0,714 V

Warto zauważyć, że dostarczony do nas egzemplarz zawiera źle przylutowany rezystor R19!

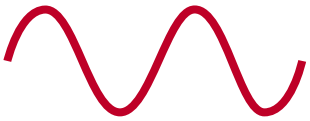
W prawym górnym rogu widać białą diodę LED, która zapewnia podświetlenie.

Testy multimetru FNIRSI S1

Rezystancja wejściowa. Co dziwne, specyfikacje nie wspominają nic o rezystancji wejściowej. Jest to jednak bardzo ważny parametr multimetru podczas pomiaru napięcia. W końcu ta rezystancja wejściowa obciąża węzeł pomiarowy, a jeśli rezystancja ta jest zbyt niska, miernik zmierzy niższe napięcie niż faktycznie obecne w punkcie pomiarowym bez pomiaru. Dobry multimetr ma rezystancję wejściową podczas pomiaru napięcia stałego wynoszącą co najmniej 10 MΩ.

Zmierzyliśmy rezystancję wejściową naszego egzemplarza, biorąc nasz multimetr referencyjny East Tester ET3255, przełączony na pomiar prądu stałego, szeregowo z dodatnim przewodem testowym. Następnie ustawiliśmy napięcie stałe, aż nasz S1 wskazał napięcie 10,00 V. Następnie ET3255 wskazuje prąd o natężeniu 0,996 µA. Tak więc zgodnie z prawem Ohma rezystancja wejściowa jest dość bliska pożądanej wartości 10 MΩ.

Tabela 4. Dokładność wartości skutecznej (© 2023 Jos Verstraten)

Kształt sygnału (1 kHz ~ 1,00 V)	Zmierzone za pomocą FNIRSI S1	Zmierzone za pomocą testera ET3255
	1,002 V	1,00449 V
	1,041 V	1,05127 V
	0,994 V	0,99915 V

Dokładność pomiaru napięć stałych

Zgodnie ze specyfikacją, S1 ma maksymalne odchylenie ±(0,8%+3) podczas pomiaru napięcia DC. Sprawdziliśmy to, mierząc różne napięcia DC za pomocą S1 i naszego miernika referencyjnego 8842A firmy Fluke. Wyniki przedstawiono w **tabeli 1**.

Dokładność pomiaru napięć przemiennych

Zgodnie ze specyfikacją, S1 ma taką samą dokładność przy napięciach AC i DC. Sprawdzamy to przy częstotliwości 1 kHz i sygnałach sinusoidalnych generowanych przez nasz generator funkcyjny DG1022 firmy Rigol. Jako miernika referencyjnego używamy ET3255 firmy East Tester. Ponieważ taki generator funkcyjny oczywiście nie dostarcza wysokich napięć, testujemy również S1 podczas pomiaru napięcia sieciowego, oczywiście za pomocą transformatora izolacyjnego. Wyniki są podsumowane w **tabeli 2**.

Zauważalne w tych pomiarach jest to, że wyświetlanie częstotliwości na wyświetlaczu wtórnym zaczyna się przy napięciu wejściowym około 1,8 Veffective.

Szerokość pasma podczas pomiaru napięcia AC

Zgodnie ze specyfikacją, miernik mierzy napięcia przemienne o częstotliwości od 50 Hz do 1 kHz. Weryfikujemy to, dostarczając napięcie sinusoidalne o wartości 1,00 Veffective do S1 i zmieniając częstotliwość. Wyniki w **tabeli 3**.

Dokładność wartości skutecznej

Zgodnie ze specyfikacją, S1 jest miernikiem „true RMS". Oznacza to, że mierzy on wartość skuteczną napięcia przemiennego, niezależnie od jego kształtu. Aby odświeżyć wiedzę teoretyczną: wartość skuteczna napięcia AC, w skrócie Ueff lub URMS, jest równa wartości napięcia DC generującego taką samą średnią moc cieplną w rezystorze, jak mierzone napięcie AC. Testujemy to za pomocą naszego generatora funkcyjnego DG1022 firmy Rigol, który można regulować w celu wygenerowania efektywnej wartości napięcia wyjściowego. Dokonujemy pomiaru przy 1 kHz i 1,00 Veffective i sprawdzamy to za pomocą naszego ET3255 od East Tester.

Dokładność pomiaru rezystancji

Również dla tej wielkości określona dokładność wynosi ±(0,8%+3) do 1 MΩ.

eprasa.pl e016f8d744

Tabela 5. Dokładność pomiaru rezystancji (© 2023 Jos Verstraten)		
Mierzona rezystancja	Zmierzone za pomocą FNIRSI S1	Zmierzone za pomocą FLUKE 8842A
10 Ω	10,3 Ω	10,007 Ω
100 Ω	101,0 Ω	100,015 Ω
1 kΩ	1,003 kΩ	1,00015 kΩ
10 kΩ	10,01 kΩ	9,9965 kΩ
100 kΩ	100,3 kΩ	100,099 kΩ
1 MΩ	1,005 MΩ	1,00210 MΩ
10 MΩ	10,69 MΩ	10,7438 MΩ

Do tego testu mamy do dyspozycji zestaw rezystorów o tolerancji ±0,1%. Aby ocenić dokładność dla ekstremalnie wysokich wartości rezystancji, używamy zwykłego rezystora 10 MΩ z tolerancją ±5%. Jako miernika referencyjnego używamy oczywiście Fluke 8842A. Wyniki podsumowano w **tabeli 5**.

Dokładność pomiaru kondensatorów

Jak zwykle, określona dokładność pomiaru kondensatorów jest znacznie niższa: ±(4,5%+5). Dla nieelektrolitów używamy zestawu kondensatorów z tolerancją ±1%, dla elektrolitów używamy standardowych elektrolitów z dobrze znanymi bardzo dużymi odchyleniami. Natychmiast zauważalne jest to, że S1 mierzy bardzo szybko. W przypadku nieelektrolitów miernik stabilizuje się po około dwóch sekundach. W przypadku elektrolitów jest to nieco wolniejsze, nawet do dziesięciu sekund w przypadku elektrolitów powyżej 1000 µF. Jako miernika referencyjnego używamy tym razem czteroprzewodowego miernika ET4401 firmy East Tester. Wyniki zebrano w **tabeli 6**.

Dokładność i czułość podczas pomiaru częstotliwości

W **tabeli 7** połączyliśmy dwa pomiary. Dokładność pomiaru częstotliwości i minimalne napięcie skuteczne wymagane do uzyskania stabilnego odczytu częstotliwości. Pomiaru dokonujemy napięciem sinusoidalnym.

Nasza opinia na temat multimetru FNIRSI S1

Nazwalibyśmy S1 multimetrem „na czasie". Na czasie, ponieważ jego design wpisuje się w trend urządzeń przenośnych przypominających smartfony. Czy jednak S1 jest tego wart (pod względem ceny)? Za podobną cenę można kupić wiele multimetrów, które mierzą prąd i mają funkcję „REL" i/lub funkcję „MIN/MAX". Co więcej, istnieją mierniki, które mają bardziej czuły tryb niż 9,999 V. Przydatną rzeczą w S1 jest zasilanie akumulatorowe, ponieważ większość multimetrów działa na bateriach, które czasami wyczerpują się w najbardziej niepożądanych momentach. Jednak gniazdo ścienne i ładowarkę USB można na ogół znaleźć w pobliżu pomiarów.

Pod względem dokładności pomiaru S1 spełnia większość swoich specyfikacji. Można zaufać temu urządzeniu, że mierzy napięcia, rezystancje i częstotliwości niemal bezbłędnie.

Tak więc S1 firmy FNIRSI wyróżnia się głównie swoim nowoczesnym wyglądem. W końcu możemy sobie wyobrazić, że wielu techników „zakocha się" w tym przyjemnym i łatwym w obsłudze mierniku, przypominającym smartfona i chętnie kupi go jako drugi (lub trzeci) multimetr w tak atrakcyjnej cenie. ■

Jos Verstraten

Tabela 6. Dokładność pomiaru kondensatorów (© 2023 Jos Verstraten)		
Mierzony kondensator	Zmierzone za pomocą FNIRSI S1	Zmierzone za pomocą testera ET4401
100 pF	0,151 nF	98,905 pF
1 nF	1,125 nF	1,0071 nF
10 nF	10,14 nF	9,964 nF
100 nF	100,6 nF	100,58 nF
1 µF	976,8 nF	1,0092 µF
10 µF	11,30 µF	9,608 µF
100 µF	107,6 µF	96,36 µF
1000 µF	979,2 µF	908,7 µF
10000 µF	9,577 mF	9,272 mF

Tabela 7. Dokładność i czułość podczas pomiaru częstotliwości (© 2023 Jos Verstraten)		
Mierzona częstotliwość	Zmierzone za pomocą FNIRSI S1	Czułość ($V_{efektywne}$)
5 Hz	4,997 Hz	53 mV
50 Hz	49,99 Hz	53 mV
500 Hz	499,9 Hz	55 mV
5 kHz	4,999 kHz	55 mV
50 kHz	49,99 kHz	56 mV
500 kHz	499,9 kHz	72 mV
5 MHz	4,999 MHz	354 mV
10 MHz	9,999 MHz	2,92 V

REKLAMA

numery archiwalne • prenumerata • książki

www.UlubionyKiosk.pl

eprasa.pl e016f8d744

Ekscytacje Maxa

Migające diody LED i śliniący się inżynierowie (11)

Dobry Boże! Kipię z podekscytowania. Mam tyle rzeczy, o których chcę opowiedzieć, że nie mam pojęcia od czego zacząć. Wiem, wiem... Muszę usiąść, wziąć głęboki oddech, zacząć od początku, przejść przez środek i w końcu dotrzeć do końca. Problemem jest podjęcie decyzji, o czym mówić najpierw. Widzę w twoich oczach, że desperacko pragniesz, abym zaczął od korekcji gamma. Skoro nalegasz...

Złe samopoczucie

Dawno temu, gdy zaczynaliśmy tę mega-miniserię (PE, marzec 2020), wprowadziliśmy koncepcję modulacji szerokości impulsu (PWM). Ponieważ możemy bardzo szybko włączać i wyłączać diodę LED, sposobem kontrolowania jej jasności jest zmiana proporcji czasu włączenia do czasu wyłączenia. Określamy to jako „cykl pracy". Cykl pracy 20% oznacza, że dioda LED jest włączona przez 20% czasu, a wyłączona przez pozostałe 80%, podczas gdy cykl pracy 80% oznacza, że dioda LED jest włączona przez 80% czasu, a wyłączona przez pozostałe 20%.

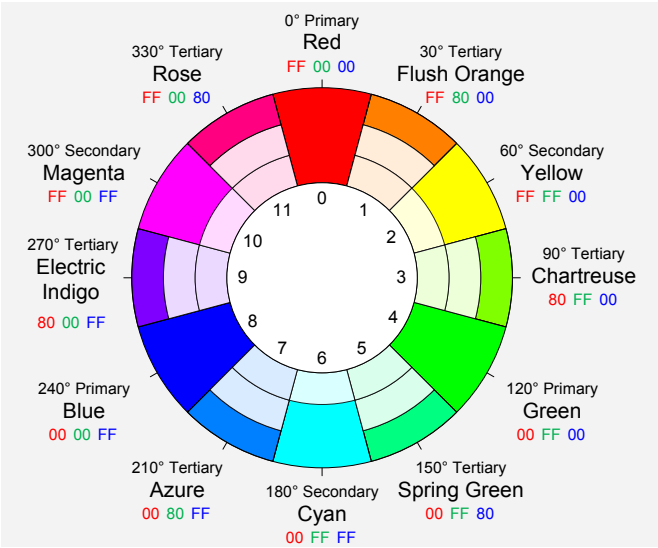
W przypadku mikrokontrolera (MCU), z którym pracujemy – Seeedunio XIAO – możemy użyć wartości od 0 (0x00 w systemie szesnastkowym), co oznacza całkowite wyłączenie (0% jasności) do 255 (0xFF w systemie szesnastkowym), co oznacza całkowite włączenie (100% jasności). Korzystając z tej techniki PWM, wartość 128 (0x80 w systemie szesnastkowym) oznacza, że dioda LED będzie włączona przez połowę czasu, a wyłączona przez drugą połowę, co daje 50% jasności.

Nieco później (PE, wrzesień 2020 r.) przedstawiliśmy koło kolorów (**rysunek 1**), które zdecydowaliśmy się wykorzystać do naszych eksperymentów z tablicą pingpongową 12×12 (**rysunek 2**). Jeśli sam zbudowałeś jedną z tych tablic lub ogólnie bawisz się trójkolorowymi diodami LED, być może zauważyłeś, że niektóre kolory wydają się być nieco „wyłączone". Na przykład róż może wydawać się bardzo zbliżony do magenty, podczas gdy pomarańczowy kolor może wydawać się bardziej żółty, niż można by się spodziewać.

Z jasnej strony (gra słów nie jest zamierzona), czerwone, zielone i niebieskie elementy w naszych trójkolorowych diodach LED działają zgodnie z oczekiwaniami i zapewniają liniową reakcję, tak że 50% cykl pracy rzeczywiście skutkuje 50% jasnością (rysunek 2a). Problem polega na tym, że nasze oczy ewoluowały, aby dostosować się do ogromnego zakresu dynamiki, od światła księżyca po światło słoneczne i – jako część tego – mają wbudowaną nieliniowość (rysunek 2b).

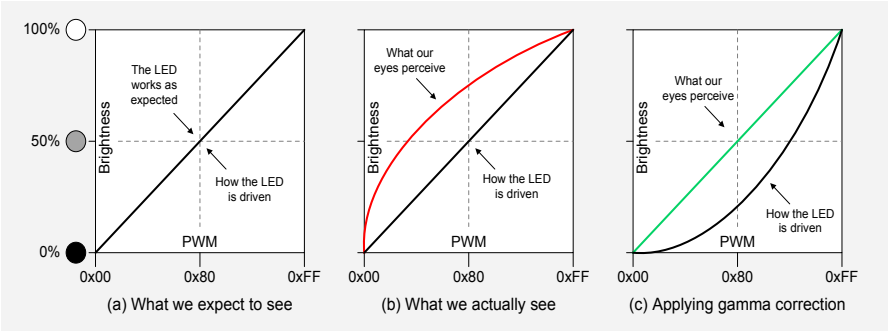
Chociaż nie jest to od razu oczywiste z mojego diagramu, krzywa tej nieliniowości jest zdefiniowana przez nieco trudną funkcję potęgową. Aby temu zaradzić, musimy sterować czerwonymi, zielonymi i niebieskimi diodami LED za pomocą odwrotności tej funkcji, co powoduje, że nasze oczy postrzegają to, na co liczyliśmy (rysunek 2c). Proces stosowania tej funkcji odwrotnej nazywamy „korekcją gamma".

Na stronie internetowej Adafruit znajduje się świetny artykuł omawiający to wszystko dogłębnie (https://bit.ly/31zaSLK). W ramach tego zapewniają coś, co nazywają „szybką poprawką" w postaci tabeli odnośników, której możemy użyć do przemapowania wartości liniowych, których chcielibyśmy użyć, na ich odpowiedniki z korekcją gamma, które zapewnią nam kolory, które chcemy zobaczyć.



Rysunek 1. Koło kolorów, którego używaliśmy w naszych eksperymentach

Stworzyłem szybki szkic testowy (program), aby zobaczyć, jak wpłynie to na kolory na mojej tablicy 12×12 (pełny szkic zawarty jest w pliku CB-Jan21-01.txt – ten i inne pliki powiązane z tym artykułem są dostępne na stronie PE ze stycznia 2021 r.). Ponieważ ludzie z Adafruit byli świadomi, że niektórzy z ich użytkowników będą używać niskobudżetowych Arduino z ograniczoną pamięcią SRAM, przechowują swoją tabelę w PROGMEM (pamięć programu Flash). Dla porównania, mój Seeedunio XIAO ma tak dużo pamięci, że mogę



Rysunek 2. Korekcja gamma

eprasa.pl e016f8d744

```
const uint8_t GammaXref[] =
{
      0,   0,   0,   0,   0,   0,   0,   0,   0,   0,   0,   0,   0,   0,   0,   0,
      0,   0,   0,   0,   0,   0,   0,   0,   0,   0,   0,   0,   1,   1,   1,   1,
      1,   1,   1,   1,   1,   1,   1,   1,   1,   2,   2,   2,   2,   2,   2,   2,
      2,   3,   3,   3,   3,   3,   3,   3,   4,   4,   4,   4,   4,   5,   5,   5,
      5,   6,   6,   6,   6,   7,   7,   7,   7,   8,   8,   8,   9,   9,   9,  10,
     10,  10,  11,  11,  11,  12,  12,  13,  13,  13,  14,  14,  15,  15,  16,  16,
     17,  17,  18,  18,  19,  19,  20,  20,  21,  21,  22,  22,  23,  24,  24,  25,
     25,  26,  27,  27,  28,  29,  29,  30,  31,  32,  32,  33,  34,  35,  35,  36,
     37,  38,  39,  39,  40,  41,  42,  43,  44,  45,  46,  47,  48,  49,  50,  50,
     51,  52,  54,  55,  56,  57,  58,  59,  60,  61,  62,  63,  64,  66,  67,  68,
     69,  70,  72,  73,  74,  75,  77,  78,  79,  81,  82,  83,  85,  86,  87,  89,
     90,  92,  93,  95,  96,  98,  99, 101, 102, 104, 105, 107, 109, 110, 112, 114,
    115, 117, 119, 120, 122, 124, 126, 127, 129, 131, 133, 135, 137, 138, 140, 142,
    144, 146, 148, 150, 152, 154, 156, 158, 160, 162, 164, 167, 169, 171, 173, 175,
    177, 180, 182, 184, 186, 189, 191, 193, 196, 198, 200, 203, 205, 208, 210, 213,
    215, 218, 220, 223, 225, 228, 231, 233, 236, 239, 241, 244, 247, 249, 252, 255
};
```

Rysunek 3. Tabela odnośników korekcji gamma

sobie pozwolić na obnoszenie się z nią, więc wysłałem lokaja po moje spodnie i zapisałem moją tabelę w pamięci SRAM (**rysunek 3**).

Wcześniej (PE, październik 2020 r.) poznaliśmy funkcje `GetRed()`, `GetGreen()` i `GetBlue()`, które wyodrębniają i zwracają 8-bitowe składowe koloru czerwonego, zielonego i niebieskiego z 32-bitowej wartości koloru. Ponadto wprowadziliśmy funkcję `BuildColor()`, która akceptuje 8-bitowe składowe koloru czerwonego, zielonego i niebieskiego i zwraca 32-bitową wartość koloru.

Rzecz w tym, że musimy zastosować naszą korekcję gamma do każdego z kanałów kolorów indywidualnie. Dlatego w naszym nowym szkicu dodaliśmy funkcję `GetGammaCorrectedColor()`, która akceptuje 32-bitową wartość koloru, dzieli ją na składowe czerwoną, zieloną i niebieską, wykorzystuje naszą tabelę przeglądową `GammaXref[]`, aby zastosować korekcję gamma do każdej składowej, a następnie zwraca 32-bitowy wynik z korekcją gamma.

```
uint32_t GetGammaCorrectedColor
                        (uint32_t uncorrectedColor)
{
        uint8_t tmpRed;
        uint8_t tmpGreen;
        uint8_t tmpBlue;

        uint32_t gammaCorrectedColor;

        tmpRed = GammaXref[ GetRed(uncorrectedColor) ];
        tmpGreen = GammaXref[ GetGreen(uncorrectedColor) ];
        tmpBlue = GammaXref[ GetBlue(uncorrectedColor) ];

        gammaCorrectedColor = BuildColor(tmpRed,
                        tmpGreen, tmpBlue);

        return gammaCorrectedColor;
}
```

Pozostała część szkicu służy do załadowania lewej strony tablicy nieskorygowanymi kolorami bezpośrednio z naszego koła kolorów, a prawej strony ich odpowiednikami z korekcją gamma, zaczynając od czerwieni na dole, a kończąc na róży na górze (**rysunek 4**).

Chociaż trudno to zauważyć na tym obrazku, w rzeczywistości wartości skorygowane gamma prezentują coś, co wydaje się być bogatszą paletą kolorów. Na przykład, pomarańczowy z korekcją gamma (drugi rząd od dołu) wygląda na bardziej pomarańczowy, a różowy z korekcją gamma (górny rząd) wydaje się bardziej żywy.

Rysunek 4. Nieskorygowane kolory (po lewej) vs. kolory z korekcją gamma (po prawej)

Rysunek 5. 9DOF BoB (źródło obrazu: Adafruit.com

Wojna, do czego się przydaje?

Według Edwina Starra w jego przeboju „War" z 1970 roku – i Frankie Goes to Hollywood ponad dekadę później – odpowiedź brzmi „absolutnie do niczego". Oczywiście może być tak, że żaden z tych celebrytów nie był zaznajomiony z koncepcją „Code War".

Prawdę mówiąc, ja też nie byłem, dopóki mój kumpel, Ken Wood, który śledzi te nasze tutaj spotkania, nie wysłał mi e-maila z informacją o tym pomyśle. W 1984 roku Alexander Dewdney opublikował w magazynie Scientific American artykuł o grze komputerowej o nazwie Core War, którą stworzył wraz z DG Jonesem. Skan tego oryginalnego artykułu, wraz z wieloma materiałami pomocniczymi, można znaleźć na stronie CoreWars.org i Wikipedii.

Gra polega na tym, że dwa programy walczą ze sobą w maszynie wirtualnej znanej jako Memory Array Redcode Simulator (MARS). Celem jest bycie ostatnim działającym programem. W tym celu każdy program może próbować sabotować drugi i/lub bronić się poprzez samonaprawę. Możesz naprawdę dobrze poczuć, o co w tym wszystkim chodzi, czytając Przewodnik dla początkujących po pseudoasemblerze Redcode, który jest używany do tworzenia programów wojowników (https://bit.ly/34m5YUo).

Jak napisał Ken w swoim e-mailu: „Myślę, że można to uczynić atrakcyjnym wizualnie, prezentując tablicę pamięci na ekranie (lub tablicy piłeczek pingpongowych) i oznaczając każdą komórkę kolorem „Neutralny", „Ostatnio napisany dla lub przez program A" lub „Ostatnio napisany dla lub przez program B" – używając odpowiednio zielonego, niebieskiego i czerwonego – i uruchamiając programy z prędkością zaledwie kilku kroków na sekundę, aby można było śledzić postępy".

Początkowo byłem nieco sceptyczny, że 144-elementowy MARS wystarczy, ale po zapoznaniu się z przewodnikiem dla początkujących Redcode zmieniłem zdanie. Teraz myślę o stworzeniu symulatora MARS do uruchomienia na Seeeduino XIAO, którego używam do sterowania mojej macierzy 12×12. Myślę również o stworzeniu narzędzia asemblera Redcode, które może generować programy wojowników do uruchomienia na symulatorze.

Ale czekaj, to nie wszystko! Pamiętacie, jak mówiłem o symulatorze NeoPixel Simulator, którego można używać do testowania własnych programów uruchamianych na mojej macierzy 12×12 (PE, listopad 2020)? Cóż, jeśli uda mi się znaleźć czas na uruchomienie symulatora MARS, moglibyśmy połączyć go z naszym symulatorem NeoPixel, umożliwiając w ten sposób tworzenie i testowanie własnych programów wojowników Code War, a następnie wysyłanie ich do mnie w celu uruchomienia na prawdziwej macierzy.

Zachowaj równowagę

Kiedy byłem dzieckiem, rodzice kupili mi drewniany labirynt. Właśnie znalazłem coś podobnego na Amazon (https://amzn.to/2HwZg4M), chociaż ten, który posiadałem, miał bardziej zaawansowane labirynty i używał mniejszych kulek.

Powodem, dla którego o tym wspominam, jest to, że czytelnik wysłał mi e-mail z sugestią dołączenia czujnika do mojej matrycy 12×12, tak aby, jeśli matryca jest utrzymywana w płaszczyźnie poziomej, można było kontrolować „toczenie się" podświetlonego piksela poprzez wykrywanie nachylenia matrycy.

eprasa.pl e016f8d744

Jakimś dziwnym zrządzeniem losu, tak się złożyło, że w mojej skrzyni z częściami zamiennymi miałem jedną z płytek Fusion 9DOF (dziewięć stopni swobody) opartych na BNO055 firmy Adafruit (**rysunek 5**) (https://bit.ly/3dP8EwU).

To małe cudo oparte jest na czujniku systemu mikroelektromechanicznego (MEMS) BNO055 firmy Bosch. Z kolei BNO055 zawiera 3-osiowy akcelerometr, 3-osiowy żyroskop i 3-osiowy magnetometr (dorzucają również czujnik temperatury). Naprawdę fajną rzeczą w tym urządzeniu jest to, że zawiera ono również 32-bitowy procesor Arm Cortex M0+, który wykonuje wszelkiego rodzaju skomplikowane algorytmy czujników i dostarcza dane w formie, którą można wykorzystać bez wycieku mózgu z uszu.

Jak zwykle, ludzie z Adafruit dostarczają wielu informacji na temat tego czujnika, w tym wyprowadzeń, okablowania i sposobu pobierania wymaganych bibliotek (https://bit.ly/35sVvpz). W zestawie znajduje się również przykładowy kod Arduino, którego użyłem do stworzenia pierwszego programu testowego. Celem tego wstępnego szkicu było upewnienie się, że mogę zmusić mój mikrokontroler XAIO do rozmowy z BNO055. Wszystko, co robimy, to pętla zajmująca się odczytem wartości orientacji `x`, `y` i `z` z BNO055 i wyświetlaniem wyświetlanie ich jako wartości zmiennoprzecinkowych na monitorze szeregowym Arduino. Należy pamiętać, że XIAO komunikuje się z BNO055 za pośrednictwem magistrali I^2C, która wykorzystuje piny 5 i 6 w XIAO, ale nie deklarujemy tych pinów w naszym szkicu, ponieważ biblioteki Adafruit obsługują to wszystko za nas (plik CB-Jan21-02.txt).

Następnym krokiem była pewna gimnastyka umysłowa, aby zwizualizować, w jaki sposób zamierzam zamontować płytkę prototypową w obudowie tablicy 12×12 i które wartości (czujnika) odpowiadają jakim przechyłom (lewo-prawo i przód-tył). Ostatecznie ustaliłem, że wartości `y` z czujnika będą odzwierciedlać przechylenie tablicy w lewo lub w prawo, podczas gdy wartości z z czujnika będą odzwierciedlać przechylenie tablicy do przodu lub do tyłu. Tak więc mój drugi program testowy polegał na pobraniu zmiennoprzecinkowych wartości y i z z czujnika i przekonwertowaniu ich na całkowite wartości nachylenia do wykorzystania w moim szkicu.

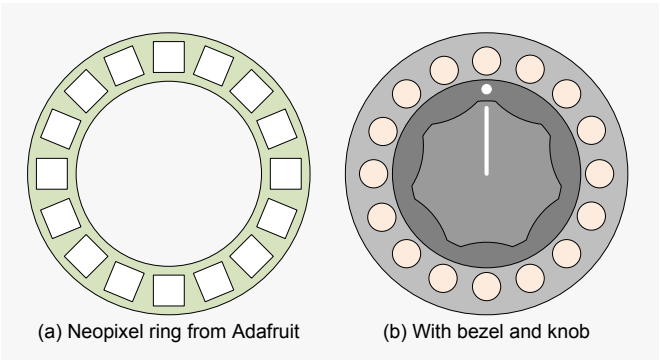
Dzięki niewielkiej manipulacji otrzymałem wartość całkowitą `tiltLeftRight`, która mieści się w zakresie od −90 (przechylona w lewo tak bardzo, że jest pionowa), przez 0 (poziomo), do +90 (przechylona w prawo tak bardzo, że jest pionowa). Podobnie skończyłem z wartością całkowitą `tiltFrontBack`, która mieści się w zakresie od −90 (pochylona do przodu – czyli do użytkownika – tak bardzo, że jest pionowa), przez 0 (poziomo), do +90 (pochylona do tyłu tak bardzo, że jest pionowa). W tym przypadku wszystko, co robimy, to pętla do odczytu wartości orientacji `y` i `z` z BNO055 i wyświetlanie ich jako moich zmanipulowanych wartości całkowitych na monitorze szeregowym Arduino (plik CB-Jan21-03.txt).

Rysunek 6. Główny panel sterowania silnika prognostycznego

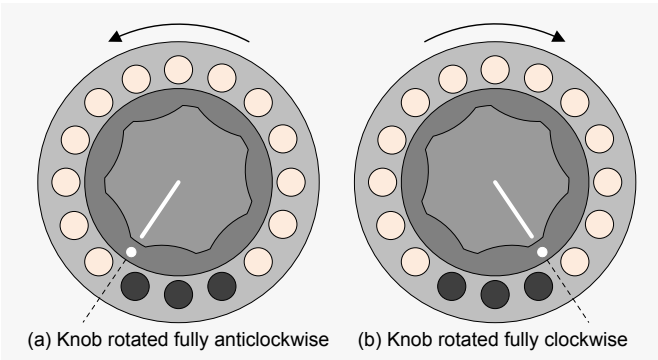
Teraz sprawy zaczynają się robić bardziej interesujące. W naszym następnym szkicu zaczynamy od ustawienia jednego z pikseli – naszej „piłki" – w środku tablicy na kolor biały. Następnie wykonujemy pętlę, wykorzystując odczyty z czujnika, aby ten piksel „toczył się" w odpowiedzi na przechylanie tablicy. „Piłka" przestaje się „toczyć", gdy uderzy w jeden z boków lub zostanie uwięziona w jednym z rogów, dopóki nie przechylimy tablicy w przeciwnym kierunku (plik CB-Jan21-04.txt). Dla waszej przyjemności i zachwytu, właśnie nagrałem krótki film pokazujący ten program w akcji (https://bit.ly/3mXHZS3).

Oczywiście to dopiero początek. Obecnie „piłka" po prostu „toczy się" ze stałą prędkością, gdy nachylenie przekroczy pewien próg. Następnym krokiem będzie dodanie fizyki, tak aby prędkość „toczenia się" zmieniała się w zależności od kąta nachylenia.

Potem, jak zwykle, ogranicza nas już tylko nasza własna wyobraźnia. Możemy na przykład sprawić, że zielone piksele do „zjedzenia" będą losowo pojawiać się na planszy, a następnie spróbować pokierować naszym toczącym się pikselem tak, aby w nie uderzył i „zjadł" je, zanim ponownie losowo znikną. Im więcej „zjesz", tym więcej punktów otrzymasz. Moglibyśmy również dodać czerwone piksele „dziury", do których nasz toczący się piksel „wpadłby", gdyby się z nimi zetknął (te piksele „dziury" mogą być nieruchome lub możemy sprawić, że będą się losowo pojawiać i znikać, tak jak piksele do „zjedzenia").



Rysunek 7. 16-pikselowe pierścienie



Rysunek 8 Obrót pokrętła

eprasa.pl e016f8d744

Moglibyśmy wymyślić wiele fajnych gier opartych na tej technologii, gdybyśmy połączyli siły. A skoro o tym mowa, jeśli coś wymyślisz, napisz do mnie i podziel się dobrą nowiną.

Rozmiar ma znaczenie!

Parafrazując stare powiedzenie: „Nie liczy się rozmiar twojej tablicy, liczy się to, co z nią zrobisz". W rzeczywistości oczywiście wszyscy w głębi serca wiemy, że rozmiar rzeczywiście ma znaczenie. Jeśli masz dwie osoby stojące obok siebie, z których jedna trzyma małą tabliczkę, a druga zatacza się pod ciężarem gigantycznej reklamy świetlnej, jak myślisz, na którą z nich będą patrzeć klienci?

„Wielkie umysły myślą podobnie", jak mówią. Oczywiście mówią też, że „głupcy rzadko się różnią", ale jestem pewien, że to nie dotyczy nas. Na przykład facet, który występuje pod pseudonimem „Bitluni", stworzył wyświetlacz o wymiarach 20×15=300 piłeczek pingpongowych przy użyciu trójkolorowych diod LED (https://bit.ly/3jmltjj). Jakiś czas później, przyciągający uwagę Bitluni stworzył układ 40×30=1200 piłeczek (https://bit.ly/31Bv8g0).

W poprzednim artykule, kiedy budowałem moją matrycę 12×12, zauważyłem, że jeśli kiedykolwiek zrobię to ponownie, zbuduję 8×8 pod-macierzy, a następnie połączę je ze sobą, tworząc większą matrycę. Cóż, ambitny Bitluni jest podobnego zdania, ponieważ niedawno stworzył matrycę 48×40=1920 kulek przy użyciu tej właśnie techniki (https://bit.ly/3jrwKyV).

Przychodzi mi do głowy wiele rzeczy, które moglibyśmy zrobić z taką matrycą. Na przykład, czy można sobie wyobrazić użycie systemu widzenia maszynowego opartego na sztucznej inteligencji (AI) do wykrywania i rozpoznawania gestów, gdy machamy rękami, kontrolując naścienną wersję gry Tetris? Mogę tylko powiedzieć, że mam nadzieję, że pewnego dnia spotkam się z nikczemnym Bitlunim (i przywłaszczę sobie jego tablicę wielkości ściany, gdy nie będzie patrzył).

Powrót do prognozowania

Nie wiem, czy pamiętacie (ja sam ledwo pamiętam), ale cała ta saga zaczęła się od tego, że zapragnąłem podświetlić kontrolki na moim Pedagogiczno-Fantasmagorycznym Silniku Prognostycznym. Oprócz podświetlenia pieca w górnym panelu sterowania i gigantycznych lamp próżniowych znajdujących się na górze silnika, główny panel sterowania zawiera osiem przełączników dwustabilnych i sześć przycisków, z których każdemu towarzyszą dwie trójkolorowe diody LED. Znajduje się tam również pięć potencjometrów, z których każdy otoczony jest pierścieniem 16 trójkolorowych diod LED (**rysunek 6**).

Omówiliśmy niektóre z efektów, które możemy zastosować za pomocą przełączników i przycisków w poprzednich kolumnach, więc teraz zwróćmy uwagę na diody LED powiązane z potencjometrami.

Na marginesie dodam, że potencjometry są zmotoryzowane, więc jeśli jakaś nieupoważniona osoba próbowałaby zmienić ustawienia silnika, natychmiast po wyłączeniu rąk potencjometry automatycznie powrócą do swoich oficjalnie wyznaczonych pozycji pod kontrolą programu.

Pamiętajmy, że używamy 16-elementowych pierścieni NeoPixel firmy Adafruit (https://bit.ly/37RtFpQ). Przed każdym pierścieniem (**rysunek 7a**) mamy mosiężną ramkę i antyczne bakelitowe pokrętło (**rysunek 7b**). W ramce, przed każdym pikselem, zamontowano małą „kropkę" z masy perłowej, która dodaje steampunkowego wyglądu.

Ponieważ mamy 16 pikseli, możemy uznać, że każdy z nich obejmuje (lub reprezentuje) łuk 360°/16=22,5°. Różne potencjometry mają różne fizyczne zakresy, w których mogą się obracać. Te, których używam, obsługują obrót o 290°, co oznacza, że istnieją trzy piksele, na które wskaźnik na pokrętle nie może wskazywać (**rysunek 8**).

Oczywiście, chociaż te piksele są pokazane na rysunku jako ciemnoszare, fakt, że nie możemy ich wskazać, nie oznacza, że nie możemy ich podświetlić. Jedną z opcji byłoby po prostu pomalowanie białej linii i kropki na pokrętle na czarno, a następnie zmapowanie (przetłumaczenie) obrotu pokrętła o 290° na zakres 360° na pierścieniu.

Podoba mi się jednak biała linia i kropka na pokrętle. Moglibyśmy po prostu wyłączyć trzy piksele na dole, ale gdzie byłaby w tym zabawa? Moim rozwiązaniem będzie użycie osobnego koloru dla tych trzech pikseli. Początkowo będzie to po prostu stały kolor, ale może się zdarzyć, że później użyjemy różnych kolorów, zanikających i migających na tych trzech pikselach, aby dostarczyć nam dodatkowych informacji o stanie maszyny.

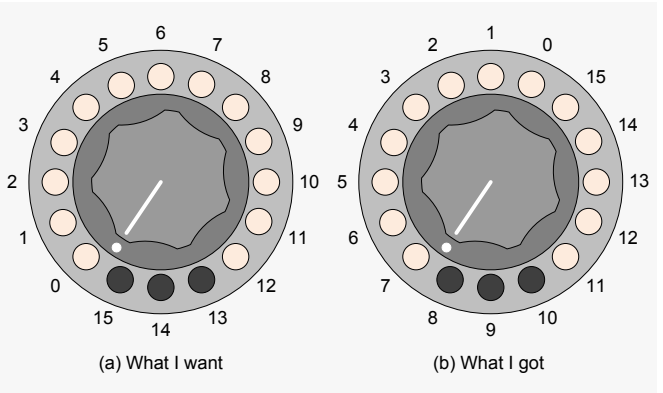
Sposób, w jaki chcę wizualizować rzeczy, to piksele 0 i 12 odpowiadające odpowiednio maksymalnym obrotom pokrętła w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara i zgodnie z ruchem wskazówek zegara (**rysunek 9a**). Jednak sposób, w jaki stworzyłem mój prototyp, spowodował, że piksele zostały przedstawione w inny sposób (**rysunek 9b**).

Szczerze mówiąc, nie pamiętam, jak pierścienie są zorientowane w głównym silniku prognostycznym, ale to naprawdę nie ma znaczenia, ponieważ zamierzamy wykonać prostą operację odsyłacza, a później możemy łatwo zmodyfikować wartości odsyłacza. W przypadku naszego prototypu zadeklarujemy nasze wartości odnośników w następujący sposób:

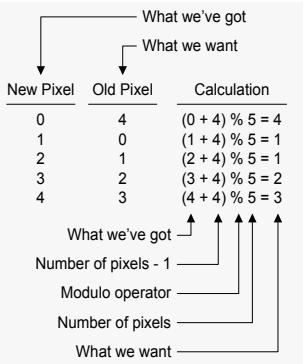
```
int RingXref[NUM_NEOS_RING] =
                    {7,6,5,4,3,2,1,0,15,14,13,12,11,10,9,8};
```

Sposób, w jaki to działa, jest naprawdę prosty: jeśli chcemy oświetlić to, co lubimy myśleć jako piksel i w naszym wyimaginowanym świecie, uzyskamy dostęp do `RingXref[i]`, który zwróci numer odpowiadającego mu piksela w świecie rzeczywistym; na przykład `RingXref[0]` zwróci 7 (tra-la!).

Tak więc, aby zilustrować, gdzie jesteśmy do tej pory, stworzymy prosty szkic, który oświetli nasze piksele od 0 do 15, najpierw na czerwono, potem na niebiesko, potem na zielono, a następnie zaczniemy od nowa. Ponieważ te diody LED są tak jasne, dodamy funkcję `ModifyBrightness()`, która przyciemni je do określonego procentu ich pełnej wartości, co pozwoli nam zachować nasze oryginalne definicje



Rysunek 9. Nie zawsze można dostać to, czego się chce



Rysunek 10. Eksperyment myślowy z 5-pikselowym pierścieniem

eprasa.pl e016f8d744

kolorów. Sercem tego programu jest funkcja o nazwie `LightMultiple()`, którą wywołamy z naszej funkcji `loop()` (plik CB-Jan21-05.txt).

```
void LightMultiple (uint32_t thisColor)
{
        int tmpNeo;
        uint32_t tmpColor;

        tmpColor = ModifyBrightness(thisColor, BRIGHTNESS);

        for (int iNeos = 0; iNeos < NUM_NEOS_RING; iNeos++)
        {
                tmpNeo = RingXref[iNeos];
                NeosRing.setPixelColor(tmpNeo, tmpColor);
                NeosRing.show();
                delay(InterPixelPadDelay);
        }
}
```

Jak widać, najpierw modyfikujemy jasność koloru (w tym eksperymencie zmniejszyłem go tylko do 20% i nadal jest jasny). Następnie cyklicznie oświetlamy każdy z naszych pikseli, używając naszego `RingXref[]` do porównania numerów pikseli, przesyłamy nowe wartości i zatrzymujemy się na krótkie opóźnienie, które nazwaliśmy `InterPixelPadDelay`. Jeśli spojrzysz na kod, zobaczysz, że zdefiniowałem `CYCLE_TIME` na jedną sekundę. Zakładam również, że wykonanie wszystkich obliczeń i przesłanie nowych wartości zajmuje tylko 1 ms (jedną milisekundę, reprezentowaną przez `CALC_UPLOAD_DELAY`). Jeśli spojrzysz na funkcję `setup()`, zobaczysz, jak użyliśmy tych wartości, wraz z liczbą pikseli w pierścieniu, do obliczenia `InterPixelPadDelay`.

Wciąż wściekle prognozując

Chociaż podświetlanie pikseli w sposób, który właśnie zrobiliśmy, nie będzie stanowić części podstawowej funkcji silnika prognostycznego, pomoże nam to owijać nasz mózg wokół niektórych szczegółów, a my będziemy mogli wykorzystać wszystkie te rzeczy jako część ekstrawaganckiego wyświetlacza.

W tym duchu załóżmy, że chcemy zmodyfikować nasz poprzedni program tak, aby w danym momencie świecił się tylko jeden piksel. W tym przypadku, gdy włączamy nowy piksel, chcemy również wyłączyć poprzedni piksel. Pamiętając, że zmieniamy wskaźnik do naszych pikseli, `iNeo`, od 0 do 15, chcielibyśmy zmodyfikować naszą pętlę `for()` w następujący sposób (nowy kod jest pogrubiony):

```
for (int iNeos = 0; iNeos < NUM_NEOS_RING; iNeos++)
{
        // Włącz nowy piksel
        tmpNeo = RingXref[iNeos];
        NeosRing.setPixelColor(tmpNeo, tmpColor);

        // Wyłącz stary piksel
        tmpNeo = iNeos - 1;
        tmpNeo = RingXref[tmpNeo];
        NeosRing.setPixelColor(tmpNeo, COLOR_BLACK);

        NeosRing.show();
        delay(InterPixelPadDelay);
}
```

Działałoby to świetnie dla każdej wartości iNeo z wyjątkiem 0, ponieważ 0−1=−1, co spowoduje, że nasz program zrobi coś potwornie bolesnego, gdy spróbujemy użyć tej wartości jako indeksu do `RingXref[]`. To zawsze „warunki końcowe", które gryzą cię, gdy najmniej się tego spodziewasz. Jedną z alternatyw byłoby dodanie testu dla tego warunku końcowego, jak pokazano poniżej:

```
for (int iNeos = 0; iNeos < NUM_NEOS_RING; iNeos++)
{
        // Włącz nowy piksel
        tmpNeo = RingXref[iNeos];
        NeosRing.setPixelColor(tmpNeo, tmpColor);

        // Wyłącz stary piksel
        if (iNeos == 0) tmpNeo = 15; else tmpNeo = iNeos - 1;
        tmpNeo = RingXref[tmpNeo];
        NeosRing.setPixelColor(tmpNeo, COLOR_BLACK);

        NeosRing.show();
        delay(InterPixelPadDelay);
}
```

Chociaż byłoby to całkowicie akceptowalne rozwiązanie, nadal wydaje się nieco „chrupiące", jeśli wiesz, co mam na myśli. To, co zwykle robię w tego typu przypadkach, to przeprowadzanie eksperymentów myślowych za pomocą ołówka i papieru. Pierwszą rzeczą jest zmniejszenie zakresu problemu do mniejszej liczby pikseli. Nasz oryginalny pierścień zawiera 16 pikseli, co jest liczbą parzystą i potęgą dwójki ($2^4=2^4$). Mając wybór, chcemy znaleźć ogólne rozwiązanie, które może działać dla dowolnej liczby pikseli, więc będziemy grać z liczbą nie będącą potęgą dwójki. Co więcej, w tego typu przypadkach preferuję liczbę nieparzystą i liczbę pierwszą, ponieważ jeśli nasze rozwiązanie zadziała w tym przypadku, to zadziała w każdym innym.

Tak więc, wyłącznie na potrzeby tego eksperymentu myślowego, załóżmy, że mamy 5-pikselowy pierścień. Zaczynam od narysowania tabeli (**rysunek 10**). Pierwsza kolumna zawiera to, co mamy (tj. to, co wiemy w postaci informacji, które mamy pod ręką), czyli numer nowego piksela, który zamierzamy włączyć. Następna kolumna zawiera to, czego chcemy, czyli numer starego piksela, który chcemy wyłączyć.

Następnie bawię się różnymi równaniami, dopóki nie wymyślę obliczeń, które zaspokoją moje potrzeby. W tym przypadku proste obliczenie z użyciem operatora modulo `%` spełnia nasze wymagania (operator ten zwraca resztę z dzielenia liczb całkowitych). W tym momencie przeniosłem odpowiednik do mojego rzeczywistego kodu (plik CB-Jan21-06.txt).

Nasze dotychczasowe programy polegały na oświetlaniu pikseli zgodnie z ruchem wskazówek zegara. Dla żartu załóżmy, że chcemy zmodyfikować nasz ostatni szkic tak, aby oświetlał piksele w szerszy (przeciwny do ruchu wskazówek zegara) wzór. Czy możesz stworzyć własną tabelę, aby określić niezbędne obliczenia? – Możesz sprawdzić moje rozwiązanie w pliku CB-Jan21-07.txt

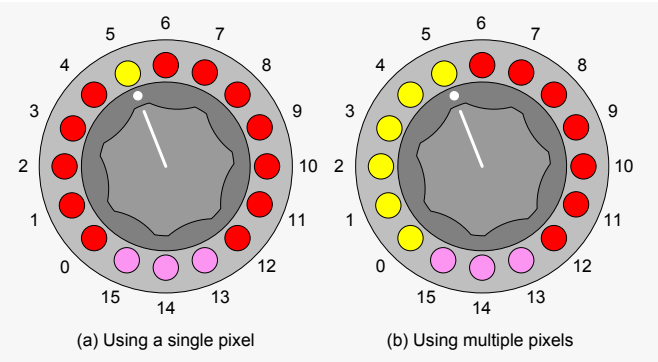
Obracanie pokrętła

Na koniec zastanówmy się, w jaki sposób zamierzamy przełożyć obrót pokrętła, który odczytujemy za pomocą naszego potencjometru, na oświetlenie pikseli w naszym pierścieniu. Pamiętaj, że zdecydowaliśmy się nie mieć dostępu do trzech dolnych pikseli, które podświetlimy na kolor magenta.

Załóżmy, że naszym kolorem włączenia będzie żółty, a kolorem wyłączenia czerwony. Natychmiast przychodzą na myśl dwie główne możliwości. Po pierwsze, możemy zapalić pojedynczy piksel, aby wskazać pozycję potencjometru (**rysunek 11a**). Druga polega na tym, że możemy zapalić wiele pikseli, aby wskazać pozycję potencjometru (**rysunek 11b**).

Możesz rzucić okiem na moje programy dla obu tych implementacji w plikach CB-Jan21-08.txt i CB-Jan21-09.txt. Zauważysz, że dodałem

eprasa.pl e016f8d744



Rysunek 11. Dwa sposoby odzwierciedlenia położenia pokrętła

również korekcję gamma, którą wprowadziliśmy wcześniej do tych dwóch ostatnich szkiców. Stworzyłem również krótki film, który pokazuje wszystkie omówione tutaj efekty w akcji (https://bit.ly/360O2hw).

21-segmentowe wyświetlacze wiktoriańskie

Pamiętacie, jak w Monty Pythonie mówili: „A teraz coś zupełnie innego"? Cóż, trzymaj się kapelusza, bo zaczynamy.

W 1898 roku (123 lata temu, w chwili gdy piszę te słowa), niejaki George Lafayette Mason złożył patent na 21-segmentowy wyświetlacz. Urządzenia te wykorzystywały 21 małych żarówek (po jednej na segment) do tworzenia liter, cyfr i symboli. Skomplikowany przełącznik elektromechaniczny mógł być używany do aktywowania różnych grup segmentów w zależności od potrzeb, aby reprezentować różne znaki.

Dowiedziałem się o tym, ponieważ mam przyjaciół (przestań się śmiać; to prawda) o nazwiskach Steve Manley i Paul Parry, gdzie Paul jest właścicielem Bad Dog Designs (https://bit.ly/2FTSBBk). Paul i Steve natknęli się na grupę o nazwie Smartsockets (https://bit.ly/2HOeFhw), która została założona przez Chrisa Barrona i jest moderowana przez Chrisa i Johna Smouta.

W rzeczywistości to John wpadł na pomysł wskrzeszenia tych wyświetlaczy, ale John i Chris koncentrują się na swoich implementacjach Smartsocket, w których każdy wyświetlacz ma własny mikrokontroler PIC. Dla porównania, Paul, Steve i ja wolimy sterować wszystkimi naszymi wyświetlaczami za pomocą jednego mikrokontrolera kompatybilnego z Arduino. W rezultacie obie podgrupy zmierzają w nieco innych kierunkach implementacji, choć nadal komunikują się ze sobą o tym, co robią.

Steve wykonał ogromną pracę, tworząc płytki drukowane i obudowy drukowane w 3D dla tych wyświetlaczy (**rysunek 12**). Steve, Paul i ja mamy po dziesięć takich wyświetlaczy, choć jak dotąd nie miałem czasu, by cokolwiek zrobić z moim. W rzeczywistości Steve stworzył fantastyczny film, który ilustruje wszystko, co zrobił w najdrobniejszych szczegółach (https://bit.ly/3oJwZcm).

Jak widzimy na tym zdjęciu, Steve użył swojej drukarki 3D do stworzenia pseudo-mosiężnej płyty czołowej dla swojego wyświetlacza. W moim przypadku Paul przedstawił mnie jednemu ze swoich przyjaciół, Kevinowi McIntoshowi. Firma Kevina, The Laser Hut

Rysunek 12. Układ dziesięciu 21-segmentowych wyświetlaczy Steve'a Manleya

(https://bit.ly/2Gf8qmg) oferuje usługi cięcia i grawerowania laserowego, a on wykona dla mnie pseudo-mosiężne płyty czołowe. Oczywiście będę to wszystko szczegółowo dokumentował w kolejnych felietonach.

Już wkrótce

Jak już nieraz mówiłem, „pokaż mi migającą diodę LED, a pokażę ci śliniącego się mężczyznę" (stąd tytuł tej miniserii). Kiedy po raz pierwszy zaczęliśmy omawiać temat migających diod LED i śliniących się inżynierów (PE, marzec 2020 r.), naprawdę nie miałem pojęcia o niezliczonych tematach, w które będziemy się zagłębiać. W rzeczywistości oczywiście ledwie dotknęliśmy powierzchni tego wieloaspektowego tematu, ale mam nadzieję, że to, co omówiliśmy, pobudziło Twoją wyobraźnię i skusiło Cię do zabawy własnymi kreacjami.

W niezbyt odległej przyszłości zrobimy sobie przerwę od diod LED i zwrócimy uwagę na inne tematy, ale odwróć tę zmarszczkę do góry nogami i zamień ją w uśmiech, ponieważ ten czas jeszcze nie nadszedł. Na przykład w przyszłym miesiącu wykorzystamy naszą tablicę 12×12 do zaimplementowania wersji Conway's Game of Life – zobacz: https://bit.ly/pe-jan21-cgol.

Do tego czasu, jak zawsze, czekam na pytania, komentarze i sugestie. ■

Clive „Max" Maxfield

Cool Bean Max Maxfield (hawajska koszula, po prawej) jest cesarzem wszystkiego, co bada na Clive-Maxfield.com – stronie, na której można znaleźć najnowsze i najlepsze technologiczne geekdomy.

Komentarze lub pytania? Napisz do Maxa na adres: max@CliveMaxfield.com

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

REKLAMA

EP.com.pl

Odwiedź stronę z mnóstwem doskonałych projektów

eprasa.pl e016f8d744

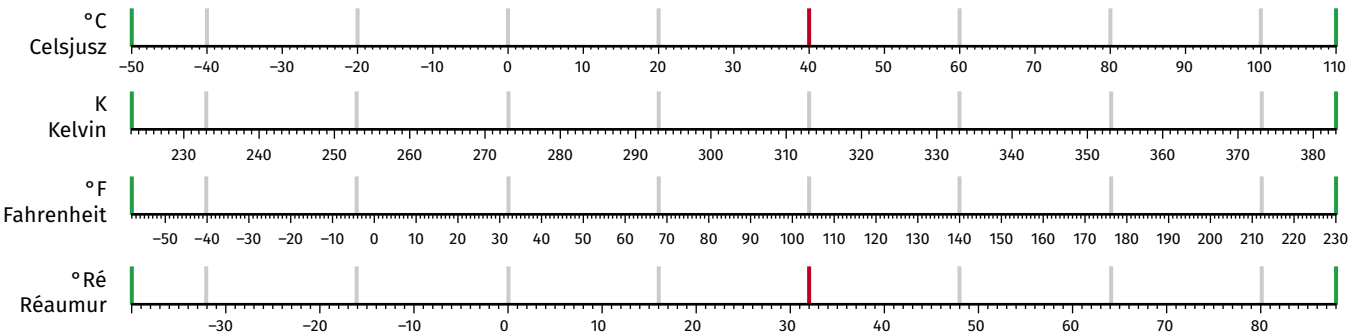
Patronat EdW nad szkołami i uczelnianymi Kołami Naukowymi rozkwita i daje redakcji EdW impulsy zachęcające do wspierania edukacji szkolnej i uczelnianej. Działa sprzężenie zwrotne. Dostajemy mnóstwo wiadomości od uczniów, nauczycieli i studentów. Dla nich jest ta rubryka.

Półprzewodnikowe, analogowe czujniki temperatury dostarczają analogowe napięcie lub prąd, które są wprost proporcjonalne do temperatury czujnika. Dzięki tym czujnikom można w bardzo prosty sposób projektować wszelkiego rodzaju alarmy temperaturowe i termostaty.

Terminy wprowadzające

Czym jest temperatura? W 1857 roku niemiecki fizyk Clausius ustalił, że temperatura to nic innego jak średnia energia kinetyczna podstawowych cząstek, które tworzą całą materię. Im szybciej te cząstki poruszają się lub drgają, tym wyższa jest ich temperatura. Dzięki tej definicji temperatury staje się również jasne, że ciepło może przepływać tylko z obiektu o wyższej temperaturze do obiektu o niższej temperaturze. Gorąca woda zmieszana z zimną wodą daje letnią wodę. Szybkie cząsteczki gorącej wody zderzają się z powolnymi cząsteczkami zimnej wody. Po wystarczającej liczbie zderzeń dochodzi do równowagi, w której wszystkie cząsteczki wody mają średnią prędkość gdzieś pomiędzy prędkością gorących cząsteczek a prędkością zimnych cząsteczek.

Gdy obiekt ochładza się, a tym samym osiąga niższą temperaturę, cząsteczki tej substancji zaczynają poruszać się coraz wolniej. Może to trwać aż do całkowitego zatrzymania cząsteczek. Temperatura, w której występuje to zjawisko, nazywana jest „zerem absolutnym" lub „zerem bezwzględnym". Temperatura zera bezwzględnego wynosi –273,15°C. Zakłada się, że jest to najniższa temperatura, jaka może istnieć w naszym wszechświecie. Zakłada się jednak, że nie istnieje absolutnie najwyższa temperatura. Udało się obliczyć, że temperatura



1. Przeliczanie pomiędzy czterema omawianymi skalami temperatury (© Wikipedia)

eprasa.pl e016f8d744

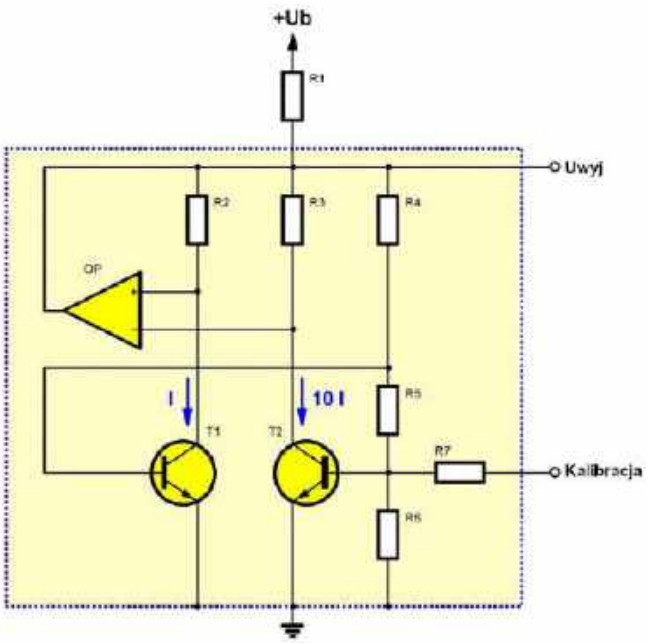
naszego bardzo młodego wszechświata, ułamek sekundy po wielkim wybuchu, musiała wynosić nie mniej niż 10^{28} stopni Celsjusza. Obecnie średnia temperatura w naszym wszechświecie, zwana „promieniowaniem tła", wynosi około -270°C, czyli trzy stopnie powyżej zera absolutnego.

Skale temperatury. Skala temperatury to metoda wyrażania temperatury obiektu za pomocą liczby, dzięki czemu można ją porównać z temperaturą innych obiektów. Opracowano różne skale, które są przydatne do różnych zastosowań. W codziennej praktyce ludzie w niemal wszystkich krajach używają skali Celsjusza i wyrażają temperaturę w stopniach Celsjusza. Skala ta charakteryzuje się dwoma punktami odniesienia:

- temperatura zamarzania czystej wody: 0°C,
- temperatura wrzenia czystej wody: +100°C.

Skala ta nie jest jednak jedyną istniejącą, a podczas omawiania czujników temperatury często używane są inne skale. Krótki przegląd stosowanych skal temperatury.

Skala Kelvina. Skala ta została zaproponowana w 1848 roku przez Williama Thomsona, pierwszego barona Kelvina. Jest to jedyna zaakceptowana naukowa skala temperatury, której główną cechą jest to, że punkt zerowy znajduje się w zerze bezwzględnym, więc 0 K odpowiada –273,15°C, a zmiana różnicy temperatur o 1 K jest taka sama jak zmiana różnicy temperatur o 1°C. W odniesieniu do przesunięcia zera dla obu tych skal, 1 K=–272,15°C, a 1°C=274,15 K.



3. Różnica napięć ΔU_{be} jest wprost proporcjonalna do temperatury bezwzględnej (© 2019 Jos Verstraten)

Wzory konwersji są następujące:

$$K=°C+273,15$$
$$°C=K-273,15$$

Skala Fahrenheita. Skala ta jest oficjalnie używana tylko w USA, Liberii i na Kajmanach. Wedle tej skali woda zamarza w temperaturze +32°F, a wrze w temperaturze +212°F, wartość zera absolutnego to –459,67°F. Zaproponowana w 1724 roku przez Gabriela Fahrenheita, polsko-niemieckiego fizyka mieszkającego w Zjednoczonych Niderlandach.

Wzory konwersji są następujące:

$$°F=9/5°C+32$$
$$°C=5/9(°F-32)$$

Skala Réaumura. Skala opracowana przez Francuza René-Antoine Ferchault de Réaumur w 1731 roku. Temperatura zamarzania wody wynosi 0°Ré, a temperatura wrzenia wody przy normalnym ciśnieniu atmosferycznym wynosi 80°Ré.

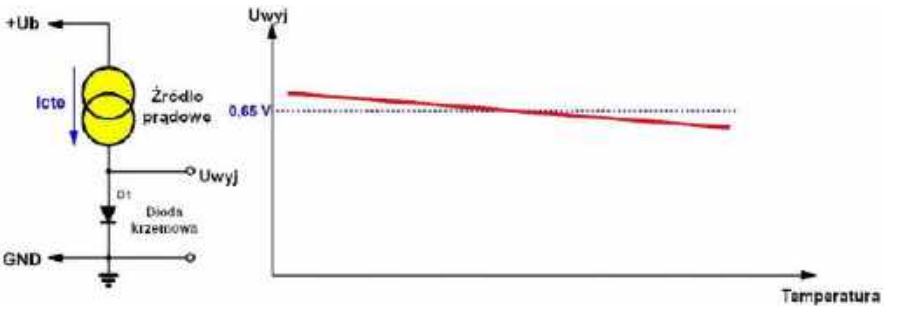
Konwersja:

$$°Ré=0,8°C$$
$$°C=1,25°Ré$$

Graficzna zależność między różnymi skalami. Na poniższym rysunku w wygodny sposób przedstawiliśmy zależność między trzema omawianymi skalami a znaną Ci skalą Celsjusza.

Podstawy elektronicznych czujników temperatury

Dioda krzemowa jako czujnik temperatury. Najprostszym sposobem elektronicznego pomiaru temperatury jest przepuszczanie stałego prądu przez diodę krzemową w kierunku przewodzenia zgodnie ze schematem przedstawionym na poniższym rysunku. Napięcie przewodzenia diody jest liniowo zależne od temperatury w dość szerokim zakresie. Średnie napięcie przewodzenia diody krzemowej wynosi około 0,65 V, w zależności od natężenia prądu, a napięcie to spada o około 2 mV/°C wraz ze wzrostem temperatury. Wadą czujnika diodowego jest duży rozrzut napięcia przewodzenia w zależności od diody. Co więcej, czułość jest bardzo niska: zmiana temperatury o 1°C wpływa na napięcie tylko o 0,3%. Wreszcie, liniowość nie jest idealna: w zakresie 200°C należy spodziewać się średnich błędów liniowości przekraczających 3%.



2. Dioda krzemowa połączona w kierunku przewodzenia jako czujnik temperatury (© 2019 Jos Verstraten)

Wiele współczesnych mikrokontrolerów używa tej metody do pomiaru wewnętrznej temperatury układu. Dla przykładu

eprasa.pl e016f8d744

w mikrokontrolerach Microchip PIC spotyka się dwie lub cztery diody połączone szeregowo ze źródłem prądowym, co daje zmianę napięcia o 4 mV lub 8 mV na stopień Celsjusza. Dla dokładnego pomiaru temperatury producenci zalecają kalibrację takich czujników względem dobrego termometru. Przypis tłumacza.

Para tranzystorów jako czujnik. Jeśli równolegle połączymy emitery dwóch całkowicie identycznych tranzystorów i spolaryzujemy kolektor jednego z nich znacznie większym prądem, niż kolektor drugiego (patrz rysunek poniżej), różnica napięć między dwoma napięciami baza/emiter jest określona przez równanie:

$$U_{be1}-U_{be2}=\Delta U_{be}=k\cdot T/q\cdot \ln[I1/I2]$$

w którym:

- k: stała Boltzmana.
- q: ładunek elektronu.
- T: temperatura w K.

Można uprościć ten wzór do:

$$\Delta U_{be}=\varphi\cdot T$$

Zatem różnica napięć ΔU_{be} jest wprost proporcjonalna do temperatury bezwzględnej, co fizycznie oznacza, że różnica napięć byłaby równa 0 V przy zerze bezwzględnym i wzrastałaby o pewne stałe napięcie φ od tego punktu zerowego dla każdego wzrostu temperatury o jeden stopień Kelwina lub Celsjusza.

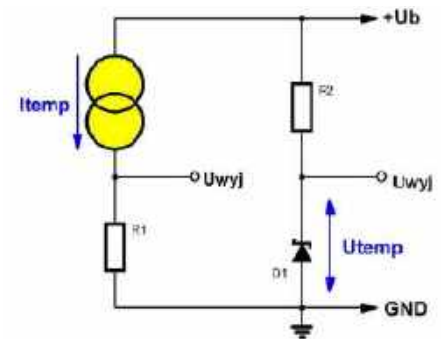
To bardzo małe napięcie, zależnie od wewnętrznego obwodu czujnika można przekształcić na dużo wyższe napięcie wyjściowe:

$$U_{PTAT}=A\cdot\Delta U_{be}=A\cdot\varphi\cdot T$$

lub na dużo wyższy prąd wyjściowy:

$$I_{PTAT}=g\cdot\Delta U_{be}=g\cdot\varphi\cdot T$$

W tych wzorach A reprezentuje wzmocnienie napięciowe obwodu wewnętrznego, a g reprezentuje transkonduktancję lub konduktancję.

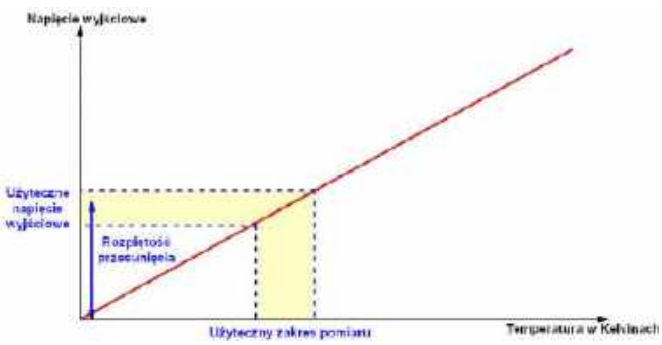


4. Różnica między czujnikami temperatury prądowym i napięciowym (© 2019 Jos Verstraten)

Napięcie lub prąd. Istnieją zatem czujniki temperatury generujące napięcie wyjściowe oraz czujniki generujące prąd wyjściowy. W obu przypadkach wielkość wyjściowa będzie rosła liniowo od zera wraz ze wzrostem temperatury bezwzględnej. W związku z tym istnieją dwa symbole czujników temperatury. Zgodnie z poniższym rysunkiem, czujnik można przedstawić jako zależne od temperatury źródło prądu (po lewej) lub zależną od temperatury diodę Zenera (po prawej). W pierwszym przypadku należy przekształcić prąd wyjściowy I_{PTAT} na napięcie, przepuszczając prąd czujnika przez rezystor R1. W drugim przypadku można mierzyć napięcie wyjściowe U_{PTAT} bezpośrednio z czujnika.

Czułość. Czułość większości czujników jest stosunkowo niewielka. Zmiana na stopień Kelvina lub Celsjusza wynosi zwykle nie więcej niż 10 mV lub 1 µA.

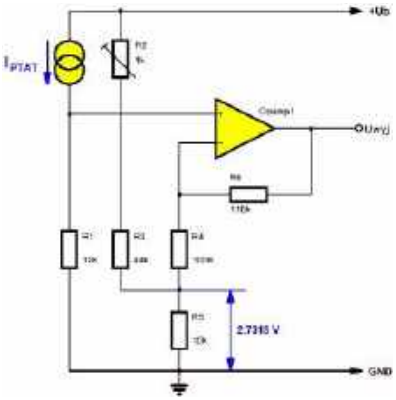
PTAT. Wielkość wyjściowa czujnika nazywana jest „PTAT", co oznacza „Proportional To Absolute Temperature" czyli „wprost proporcjonalnie do bezwzględnej temperatury". Ta właściwość, w połączeniu z niską czułością, ma pewne wady. Jak pokazuje poniższy rysunek, napięcie wyjściowe czujnika temperatury można podzielić na dwie części.



5. W normalnych temperaturach czujnik PTAT posiada duży błąd przesunięcia (offsetu) (© 2019 Jos Verstraten)

Po pierwsze, występuje dość duży offset (przesunięcie napięcia), ponieważ praktyczny zakres temperatur większości czujników wynosi od –50°C do +150°C, co odpowiada 223 K i 423 K. Czujnik o UPTAT 10 mV wygeneruje napięcie 2,93 V w temperaturze pokojowej +20°C, i to napięcie wyjściowe będzie zmieniać względem tej wartości tylko o 10 mV/°C. Jeśli napięcie wyjściowe czujnika zmienia się o jedną dziesiątą wolta, nigdy nie będzie wiadomo na pewno, czy jest to wynikiem wahań temperatury, czy słabej stabilności obwodu.

Eliminacja offsetu. W większości przypadków będziemy chcieli użyć czujnika temperatury w mierniku skalibrowanym w stopniach Celsjusza. Oznacza to, że obwód powinien dostarczać napięcie wyjściowe 0,0 V w temperaturze 0°C. Jednak czujnik PTAT o czułości 10 mV/K dostarczy napięcie wyjściowe 2731,5 mV w tej temperaturze. Należy skompensować to przesunięcie za pomocą obwodu przedstawionego na poniższym rysunku.



6. Eliminacja offsetu daje skalę °C lub °F (© 2019 Jos Verstraten)

Ten obwód realizuje dwie funkcje. Po pierwsze, porównuje napięcie U_{PTAT} generowane przez I_{PTAT} na rezystorze 10 kΩ z dokładnym napięciem 2,7315 V. Wzmacniacz operacyjny pracuje jako wzmacniacz różnicowy i oblicza różnicę napięcia między U_{PTAT} a napięciem odniesienia. Po drugie, wzmacniacz operacyjny wzmacnia tę niewielką różnicę napięcia, zwiększając czułość czujnika do, powiedzmy 100 mV/°C.

eprasa.pl e016f8d744

Współczynnik wzmocnienia jest określany przez stosunek rezystorów w sprzężeniu zwrotnym do wejścia odwracającego.

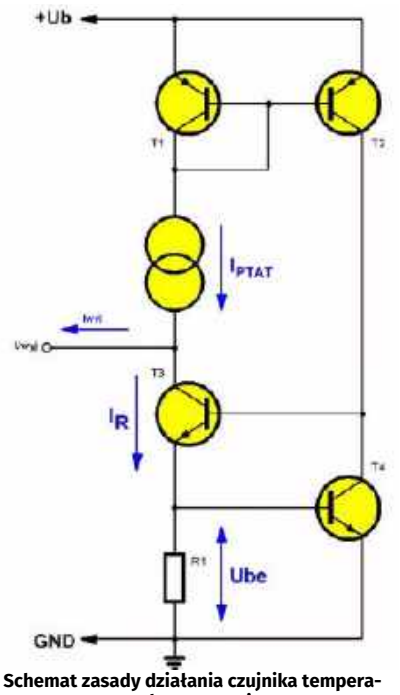
Napięcie wyjściowe obwodu jest zatem określone przez:

$$U_{out}=A\cdot[U_{PTAT}-2{,}7315\ V]$$

W praktycznym układzie należy uwzględnić też napięcie niezrównoważenia między wejściami wzmacniacza operacyjnego. Dla popularnego układu LM324 wynosi ono ±2 mV typowo, ±9 mV maksymalnie. Błąd ten, jak też zmiana napięcia niezrównoważenia pod wpływem temperatury, zostaną wzmocnione i dodane do napięcia wyjściowego obwodu. Przypis tłumacza.

Czujniki °C/°F. Irytująca charakterystyka offsetowa czujników PTAT doprowadziła do opracowania drugiej generacji czujników temperatury. Te układy scalone posiadają wewnętrzną kompensację offsetu, dzięki czemu zapewniają napięcie lub prąd wyjściowy zgodne ze skalą °C lub °F. W temperaturze 0°C wartość wyjściowa będzie zerowa, ujemne temperatury generują ujemne napięcie lub prąd wyjściowy, a dodatnie temperatury – dodatnie napięcie lub prąd wyjściowy. Uproszczony schemat zasady działania tych czujników z samoczynną kompensacją jest przedstawiony na poniższym rysunku. Obwód składa się z normalnego czujnika I_{PTAT} i czujnika U_{be}. Czujnik U_{be} powoduje przepływ prądu I_R przez rezystor R, który maleje wraz ze wzrostem temperatury. Obwód dostarcza prąd wyjściowy:

$$I_{OUT}=I_{PTAT}-I_R$$



7. Schemat zasady działania czujnika temperatury z samoczynną kompensacją (© 2019 Jos Verstraten)

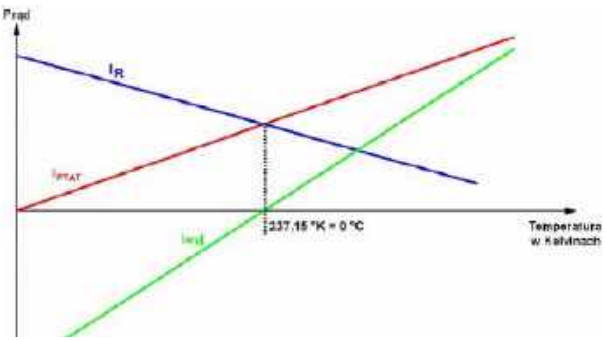
Z wykresów na poniższym rysunku widać, że możliwe jest ustawienie I_{OUT} równego zeru przy 273,15 K poprzez nadanie zboczom I_R i I_{TPAT} określonej wartości.

W temperaturze 0°C $I_R=I_{PTAT}$ i $I_{UIT}=0$.

Przy ujemnych temperaturach Celsjusza, $I_{PTAT} < I_R$ i I_{OUT} jest ujemne.

W dodatnich temperaturach Celsjusza, $I_{PTAT}>I_R$ i I_{OUT} jest dodatnie.

Można podłączyć wyjście takiego czujnika bezpośrednio do wejścia analogowego przetwornika ADC i uzyskać bardzo prosty cyfrowy miernik temperatury (pod warunkiem, iż przetwornik ADC może mierzyć ujemne wartości napięcia – przyp. tłum.).



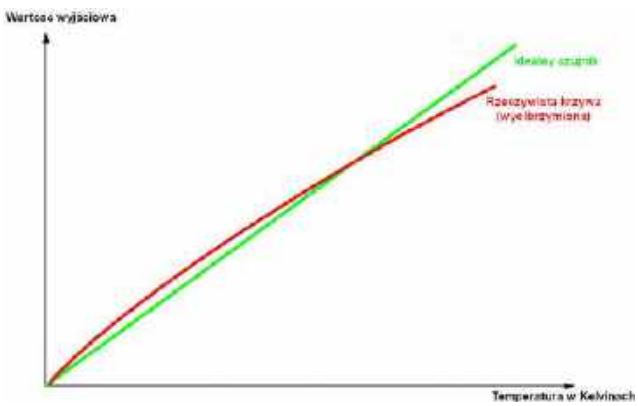
8. Z wykresu można wywnioskować, iż prąd I_{wyj} podąża za skalą Celsjusza (© 2019 Jos Verstraten)

Kompensacja błędów. Czysto teoretycznie, czujnik PTAT spełnia równanie:

$$U_{wyjPTAT}=\varphi\cdot T$$

Zatem graficzna zależność między wielkością wyjściową a temperaturą bezwzględną T powinna być linią prostą. Jak to zwykle bywa, niewiele z tej teoretycznej zależności sprawdza się w praktyce. Przejaskrawiając nieco można przedstawić rzeczywistą charakterystykę zależności, jak na poniższym rysunku, za pomocą zakrzywionej linii. Można wyróżnić dwa odchylenia od idealnej linii.

Po pierwsze, błąd spowodowany rozrzutem czułości. Czujnik o określonym współczynniku konwersji 10 mV/K będzie w praktyce miał czułość w zakresie od 9,995 do 10,005 mV/K. Po drugie, nachylenie wykazuje pewną nieliniowość.



9. Rzeczywista charakterystyka czujnika PTAT w porównaniu z idealną linią prostą (© 2019 Jos Verstraten)

Rekompensata. Te dwa odchylenia można skompensować za pomocą schematu przedstawionego na poniższym rysunku. W tym konkretnym przypadku chodzi o kompensację czujnika AD590 (czytaj dalej) firmy Analog Devices. Wykresy poniżej schematu pokazują cztery etapy regulacji.

Faza a: Nieskompensowana charakterystyka czujnika.

Faza b: Kompensacja błędu offsetu za pomocą R2.

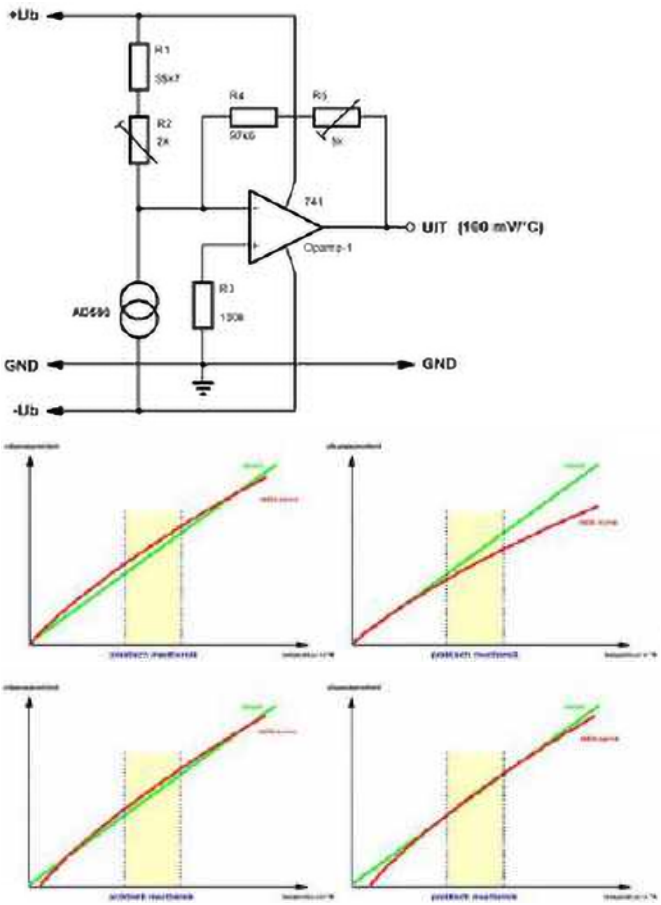
Faza c: Kompensacja błędu kalibracji lub nachylenia za pomocą R5.

Faza d: Ponowna kompensacja przesunięcia za pomocą R2.

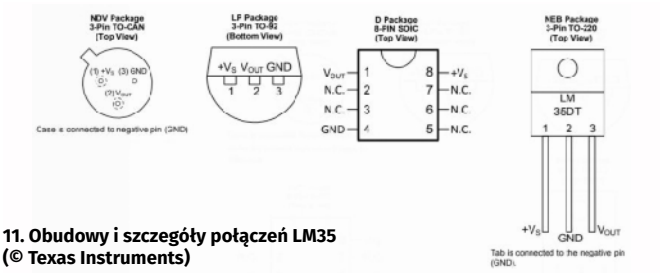
Komentarz. Chociaż niemożliwe jest skompensowanie nieliniowości, z opisanej procedury regulacji jasno wynika, że można zminimalizować wpływ nieliniowości w aktywnym zakresie temperatur poprzez przemyślany wybór dwóch punktów kalibracji. Na przykład, jeśli musisz zaprojektować termometr cyfrowy dla zakresu od –20°C do +50°C, możesz ograniczyć błąd spowodowany nieliniowością do około +0,2°C, jeśli sprawisz, że praktyczna pokrywa się z teoretyczną krzywą transferu przy 0°C i +25°C.

Poza błędami i nieliniowością samego czujnika należy też uwzględnić błędy i charakterystykę przetwornika ADC oraz stabilność zarówno zasilania całego układu, jak i napięcia odniesienia dla ADC. W praktyce przedstawione rozwiązania i czujniki nie będą dokładniejsze od tradycyjnych termometrów alkoholowych czy bimetalowych. Ponadto dokładna kalibracja wymaga instrumentu o wyższej

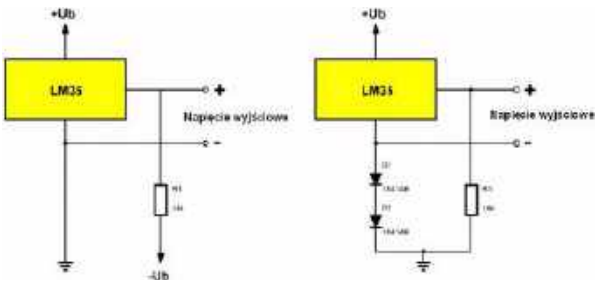
eprasa.pl e016f8d744



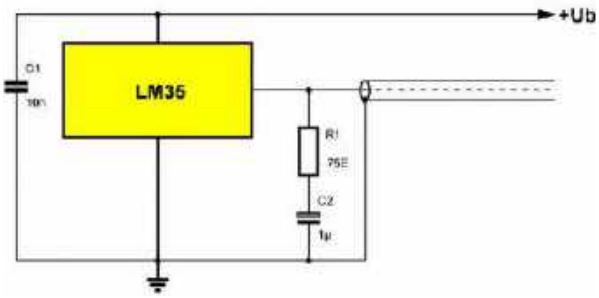
10. Schemat i regulacja obwodu kompensacji (© 2019 Jos Verstraten)



11. Obudowy i szczegóły połączeń LM35 (© Texas Instruments)



12. Podstawowe schematy aplikacyjne LM35 (© 2019 Jos Verstraten)

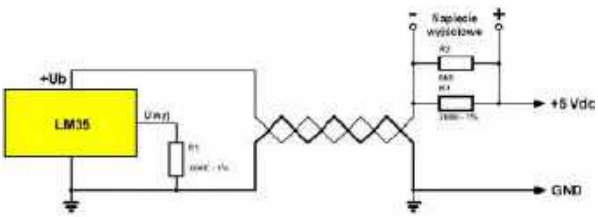


13. Podłączanie LM35 do długiej linii (© 2019 Jos Verstraten)

klasie dokładności, tj. dla kalibracji do 0,2°C potrzebny jest termometr klasy 0,02°C. Przyp. tłum.

Opisy czujników

W poniższych akapitach krótko i praktycznie opisano cztery najbardziej znane i łatwo dostępne analogowe czujniki temperatury. Praktyczne, ponieważ dzięki dostarczonym informacjom można bez problemu używać tych czujników w praktyce. Dla każdego typu podano cenę orientacyjną, aby można było uwzględnić ten czynnik przy wyborze.



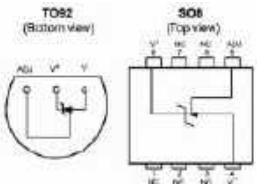
14. LM35 jest zasilany za pomocą długiej skrętki (© 2019 Jos Verstraten)

LM35: 10 mV/°C, od –55°C do +150°C

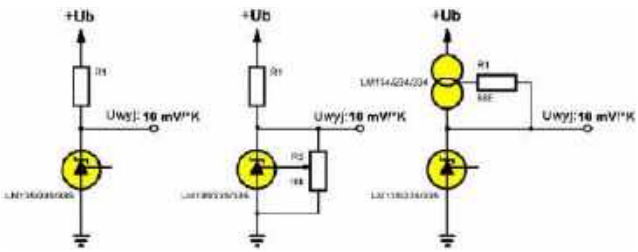
Opis. LM35 to czujnik skalibrowany dla skali Celsjusza z wewnętrzną kalibracją do ±¾°C w całym zakresie temperatur i z własnym poborem prądu wynoszącym tylko 60 µA, więc na dokładność nie wpływa nagrzewanie się układu. Czujnik LM35 jest dostępny w różnych obudowach, zakresach i klasach dokładności.

Dane techniczne:

- producenci: National Semiconductor, Texas Instruments
- cena orientacyjna: od 8 PLN
- obudowy: TO-CAN, TO-92, SOIC8, TO-220
- napięcie zasilania: +4,0 V do +30,0 V
- zakres pomiarowy LM35 i LM35A: od –55°C do +150°C
- zakres pomiarowy LM35C i LM35CA: od –40°C do +110°C
- zakres pomiarowy LM35D: od 0°C do +100°C
- czułość: +10 mV/°C
- rozrzut: od 9,8 mV/°C do 10,2 mV/°C
- rozrzut LM35A: od 9,9 mV/°C do 10,1 mV/°C
- dokładność LM35A i LM35CA: ±0,5°C typowo



15. Obudowy i opisy połączeń LM135/235/335 (© SGS-Thomson)



16. Standardowe schematy aplikacyjne LM135/235/335 (© 2019 Jos Verstraten)

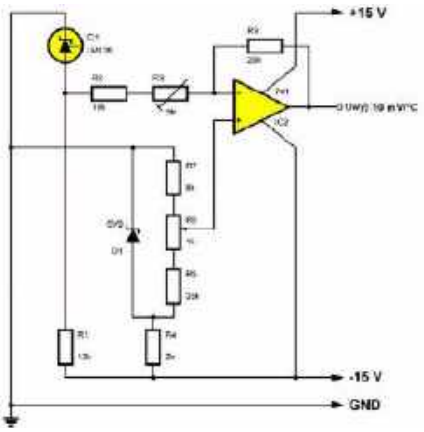
eprasa.pl e016f8d744

- dokładność LM35 i LM35C: ±1,0°C typowo
- dokładność LM35D: ±1,5°C typowo
- nieliniowość: maksymalnie 0,5°C
- stabilność: 0,08°C/1,000 godzin
- impedancja wyjściowa: 0,1 Ω
- ogrzewanie własne: maks. 0,1°C na wolnym powietrzu

Podstawowe schematy aplikacyjne. Na poniższym rysunku przedstawiono podstawowe schematy pełnozakresowego miernika temperatury, po lewej stronie z zasilaniem symetrycznym, a po prawej z zasilaniem pojedynczym napięciem.

Czujnik z długim kablem. Jeśli używasz LM35 w pewnej odległości od reszty elektroniki, a czujnik jest podłączony długim kablem, zastosuj poniższy schemat.

Dwuprzewodowy czujnik temperatury z LM35. Poniższy obwód umożliwia zastosowanie LM35 jako dwuprzewodowego czujnika dalekiego zasięgu. Napięcie zasilania czujnika jest dostarczane za pośrednictwem skrętki. Obwód ma zakres od +2°C do +40°C z czułością 10 mV/°C.



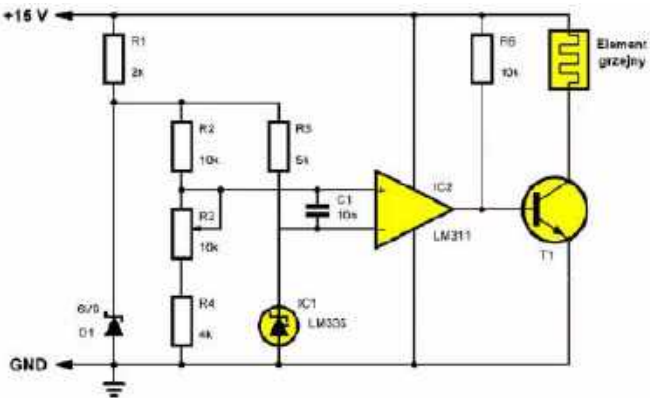
17. Wskaźnik temperatury z odczytem °C (© 2019 Jos Verstraten)

LM135/235/335: 10 mV/K, od –55°C do –150°C

Opis. LM135/235/335 to czujniki napięcia PTAT z dodatkowym wejściem kalibracyjnym i błędem mniejszym niż 1°C w zakresie 100°C. Czujniki te należy podłączyć do napięcia zasilania jak zwykłą diodę Zenera poprzez szeregowy rezystor.

Dane techniczne:

- producenci: National Semiconductor, ST Microelectronics, SGS-Thomson
- cena orientacyjna: od ok. 6 PLN za LM335A
- obudowy: TO-92, SOIC8
- zakres pomiarowy LM135: od –55°C do +150°C
- zakres pomiarowy LM235: od –40°C do +125°C
- zakres pomiarowy LM335: od –40°C do +100°C
- czułość: +10 mV/K
- rozpiętość przy 25°C: od 2,95 V do 3,01 V
- dokładność, bez regulacji: maksymalnie ±5°C
- dokładność LM135, LM235, wyregulowana przy +25°C: maksymalnie ±1,0°C
- dokładność LM335, ustawiona na +25°C: maksymalnie ±2,0°C
- nieliniowość LM135, LM235: maksymalnie 1°C
- nieliniowość LM3355: maksymalnie 1,5°C
- prąd: od 450 µA do 5,0 mA
- impedancja wyjściowa: maks. 0,6 Ω.
- stała czasowa w powietrzu: 80 s
- stabilność: 0,2°C/1000 godzin



18. Prosty termostat z LM335 (© 2019 Jos Verstraten)

Przykładowe obwody. Na poniższym rysunku narysowano podstawowe obwody dla LM135/235/335, po lewej najprostsza aplikacja, środkowy schemat pokazuje sposób kalibracji układu, a po prawej układ ze źródłem prądowym, co pomaga, gdy napięcie zasilania jest zbyt wysokie lub niestabilne. Te trzy obwody zapewniają napięcie wyjściowe proporcjonalne do temperatury wyrażonej w stopniach Kelwina.

Konwersja na skalę Celsjusza. Poniższy schemat sugeruje, jak przekształcić LM135/235/335 w miernik temperatury. Za pomocą dwóch potencjometrów można dostosować skalę i punkt zerowy w sposób już opisany. Za pomocą R6 reguluje się punkt zerowy skali (napięcie wyjściowe 0 V przy 0°C), a za pomocą R3 współczynnik skali (napięcie wyjściowe 1 V przy 100°C). Obie regulacje wpływają na siebie nawzajem, więc należy powtórzyć regulację kilka razy, aż dwa punkty kalibracji będą tak poprawne, jak to możliwe.

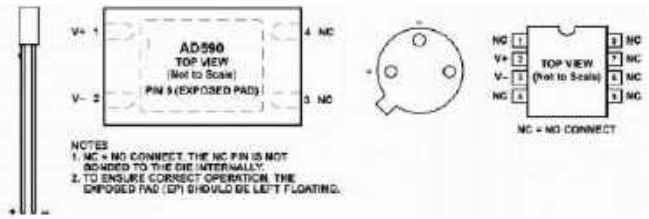
Sterowanie termostatem. Poniższy rysunek przedstawia sterownik termostatu, który umożliwia sterowanie elementem grzejnym. Jest to proste sterowanie ON/OFF bez histerezy, co oznacza, że sterowanie będzie „oscylować" w pobliżu temperatury zadanej. Dobrze znany układ LM311 jest używany jako komparator. Wyjście tego układu należy podłączyć do napięcia zasilania za pomocą rezystora. Typ tranzystora mocy zależy oczywiście od mocy elementu grzejnego. W razie potrzeby można go zasilać napięciem wyższym niż 15 V, ale należy zwrócić uwagę na napięcie przebicia zastosowanego tranzystora!

AD590: 1 µA/K, od –55°C do +150°C

Opis. AD590 jest zależnym od temperatury źródłem prądu zgodnie z zasadą PTAT, fabrycznie skalibrowanym laserowo z maksymalną niedokładnością ±0,5°C dla najdroższej wersji i ±5,0°C dla najtańszej wersji.

Dane techniczne:

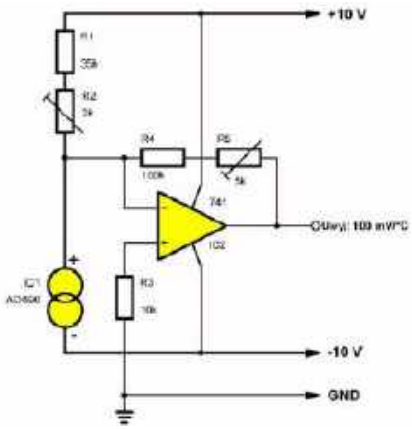
- producent: Analog Devices



19. Obudowy i szczegóły połączeń AD590 (© Analog Devices)

eprasa.pl e016f8d744

- cena orientacyjna: ok. 56 złotych za wariant najtańszy (AD590JH)
- cena orientacyjna: ok. 446 złotych za wariant najdokładniejszy (AD590MH)
- obudowy: TO-52, SOIC8, 4-Lead LFCSP, 2-Lead FLATPACK
- zakres pomiaru: od –55°C do +150°C
- napięcie zasilania: od +4 V do +30 V
- czułość: 1 µA/K
- błąd kalibracji w temperaturze 25°C dla AD590M: ±0,5°C
- błąd kalibracji w temperaturze 25°C dla AD590L: ±1,0°C
- błąd kalibracji w temperaturze 25°C dla AD590K: ±2,5°C
- błąd kalibracji w temperaturze 25°C dla AD590J: ±5,0°C
- nieliniowość AD590M: ±0,3°C
- nieliniowość AD590L: ±0,4°C
- nieliniowość AD590K: ±0,8°C
- nieliniowość AD590J: ±1,5°C
- pobór mocy: 1,5 mW przy 5 V i 25°C
- pojemność: typowo 100 pF
- impedancja wyjściowa: 10 MΩ



20. Miernik temperatury wykorzystujący AD590 z wyjściem°C (© 2019 Jos Verstraten)

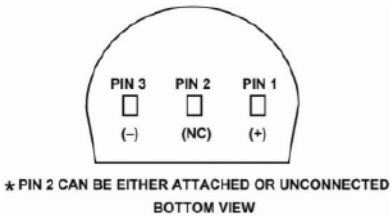
Standardowa aplikacja. Poniższy rysunek przedstawia standardowy schemat dla wyjścia w skali Celsjusza z zewnętrzną regulacją przesunięcia i nachylenia. Ponownie, musisz wyregulować zarówno punkt zerowy, jak i nachylenie za pomocą dwóch potencjometrów, przy czym oba elementy regulacyjne wpływają na siebie nawzajem. Za pomocą R2 ustawia się przesunięcie, a za pomocą R5 nachylenie.

AD592: 1 µA/K, od –25°C do +105°C

Opis. AD592 to poniekąd niedrogie źródło prądu zależnego od temperatury wykorzystujące zasadę PTAT w plastikowej obudowie TO-92, o maksymalnej dokładności ±0,5°C przy 25°C.

Dane techniczne:

- producent: Analog Devices
- cena orientacyjna: ok. 42 PLN netto za najmniej dokładną wersję
- cena orientacyjna: ok. 285 PLN netto za najdokładniejszą wersję
- obudowa: TO-92
- zakres pomiaru: od –25°C do +105°C
- napięcie zasilania: od +4 V do +30 V
- czułość: 1 µA/K
- błąd kalibracji przy 25°C dla AD592C: ±0,5°C
- błąd kalibracji przy 25°C dla AD592B: ±1,0°C
- błąd kalibracji przy 25°C dla AD592A: ±2,5°C
- nieliniowość AD592C: ±0,35°C
- nieliniowość AD592B: ±0,4°C
- nieliniowość AD592A: ±0,5°C



21. Obudowa i szczegóły połączeń AD592 (© Analog Devices)

Standardowa aplikacja. AD592 działa na tej samej zasadzie, co droższy AD590. Można więc zastosować ten układ scalony jako zamiennik w schemacie pokazanym powyżej. ■

Jos Verstraten

REKLAMA

eprasa.pl e016f8d744

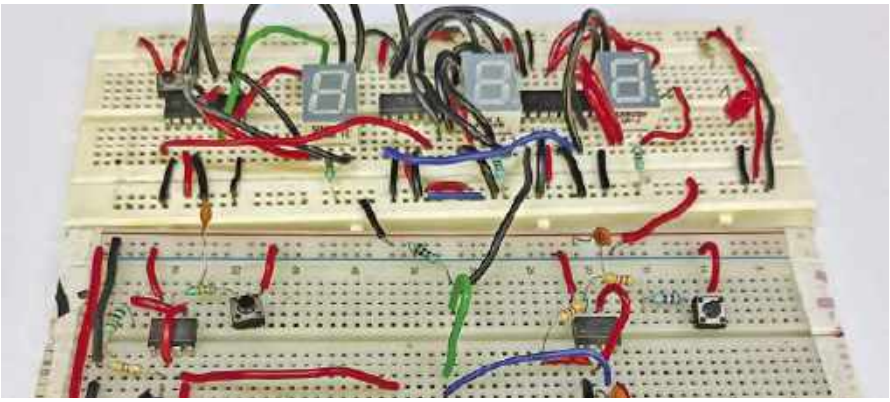
Podwójny stoper

Czasami przydatny jest podwójny stoper, który umożliwia pomiar dwóch różnych przedziałów czasowych. W takich przypadkach można rozważyć budowę opisanego w artykule cyfrowego stopera zawierającego dwa układy pomiaru czasu. Urządzenie to ma wyświetlacz pracujący w dwóch niezależnych trybach wybieranych przełącznikiem zmiany trybu.

Red. Z uwagi na kiepską stabilność termiczną, niską precyzję, dryft czasowy a także zależność generowanych przebiegów od napięcia zasilania, układy NE555 słabo sprawdzą sie w funkcji wzorca czasu. Niemniej projekt jest stosunkowo łatwy do złożenia (nawet bez płytki PCB) oraz ma swoje walory dydaktyczne (klasyczna technika cyfrowa). Do zabawy również świetny,i na tych polach sprawdzi się znakomicie.

Funkcje podwójnego stopera i zasady jego użytkowania zostały opisane w kilku poniższych punktach:

1. **Funkcja start/stop.** Większość podwójnych stoperów ma oddzielne przyciski do niezależnego uruchamiania i zatrzymywania każdego układu czasowego. W opisanym stoperze niezależne inicjowanie pomiaru czasu każdego timera następuje po naciśnięciu przycisku „Start", a zatrzymanie pomiaru następuje po jego zwolnieniu. Używamy do tego celu przycisków S1 i S2.
2. **Funkcja zmiany trybu.** Niektóre stopery mają funkcję zmiany trybu, która pozwala na zmianę czasu w sekundach lub milisekundach. Ta elastyczność okazuje się korzystna w różnych sportach i aktywnościach. W opisywanym urządzeniu używamy pojedynczego przełącznika dwustykowego (SPDT) S3.
3. **Zerowanie.** Wyzerowanie wyświetlanych wartości obu timerów następuje po naciśnięciu przełącznika *Reset* (S4).
4. **Wyświetlacz.** W urządzeniu został zastosowany 3-cyfrowy wyświetlacz ze wspólną katodą (LTS 543) DIS-1...DIS-3, pokazujący czas mierzony przez każdy timer. Pole odczytowe ma więc trzy cyfry, na których może być wyświetlany czas inkrementowany co 1 milisekundę lub co 1 sekundę.

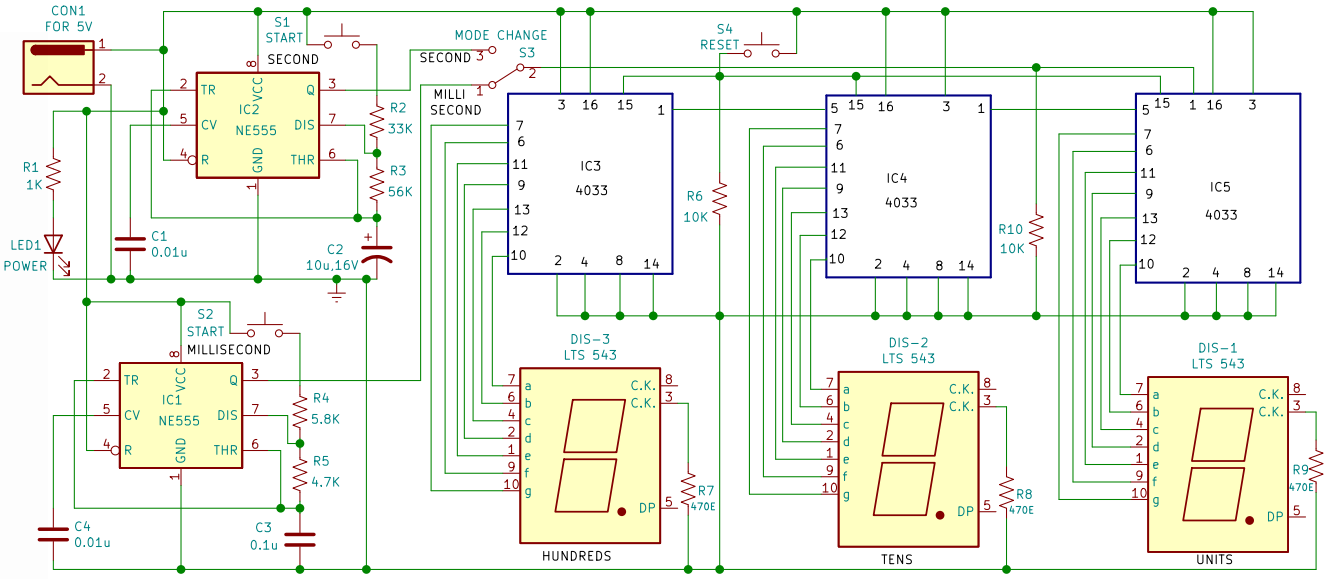


Rysunek 1. Prototyp autorski

Wybierając podwójny stoper, który jest dostępny powszechnie w sklepach ze sprzętem sportowym lub u sprzedawców internetowych, należy zwrócić uwagę na takie cechy, jak precyzja, trwałość i łatwość użytkowania. Opisany tu podwójny stoper zapewnia precyzję zliczania do 999 milisekund i do 999 sekund, dzięki czemu nadaje się do określonych zastosowań. Autorski prototyp na uniwersalnej płytce stykowej pokazano na **rysunku 1**.

Działanie układu

Schemat ideowy podwójnego stopera został przedstawiony na **rysunku 2**. Składa się on z dwóch timerów NE555 (IC1, IC2), trzech liczników dziesiętnych ze sterownikami



Rysunek 2. Schemat układu

eprasa.pl e016f8d744

wyświetlaczy 7-segmentowych 4033 (IC3 do IC5), trzech wyświetlaczy 7-segmentowych ze wspólną katodą (DIS-1 do DIS-3) i kilku innych elementów.

Układ scalony 4033 umożliwia współpracę z wyświetlaczami 7-segmentowymi i jest wszechstronny w zastosowaniach takich jak zliczanie dekad, siedmiosegmentowe wyświetlacze dziesiętne, zegarki i timery.

Timery IC1 i IC2 działają w trybie multiwibratora astabilnego, generując odpowiednio impulsy milisekundowe i sekundowe. Wyjścia tych timerów są kierowane do trzech układów scalonych 4033 (IC3 do IC5) w celu wyświetlenia jednostek, dziesiątek i setek cyfr.

Przełączniki S1 i S2 inicjują i zatrzymują stoper zliczający milisekundy i sekundy, przełącznik S3 umożliwia zmianę trybu, a przełącznik S4 zeruje wskazania stopera. Napięcie podawane do gniazda 5 V DC zasila cały obwód, przy czym obecność zasilania sygnalizuje dioda LED1.

Odstępy czasu odmierzane w sekundach jest generowane za pomocą układu scalonego IC2. Interwał czasu zależy od wartości zastosowanego rezystora. Częstotliwość impulsów generowanych przez układ IC2 pracujący w konfiguracji generatora astabilnego można obliczyć z zależności:

$$f=1/T=1{,}44/(R2+2R3)C2$$

W projekcie przyjęto: R2 równy 33 kΩ, R3 – 56 kΩ, a C2 – 10 μF.

Podobnie, multiwibrator astabilny IC1 generuje interwały milisekundowe. Stoper działa poprzez wyzwalanie licznika 4033 z 7-segmentowym dekoderem impulsami z multiwibratorów astabilnych.

Działanie stopera jest proste. Przykładowo, jeśli ma być zmierzony czas 50 sekund, należy ustawić przełącznik S3 w pozycji sekund i przed pomiarem nacisnąć przełącznik zerowania S4. Spowoduje to wyświetlenie wartości 000. Następnie naciskamy przełącznik startu S1 trzymając go, aż na wyświetlaczu pojawi się 050. Zwolnienie przycisku w tym momencie spowoduje zakończenie zliczania.

Aby zmierzyć 500 milisekund, należy wykonać podobną procedurę z przełącznikiem S3 ustawionym w pozycji milisekund. Po naciśnięciu przełącznika zerowania S4 na wyświetlaczu pojawi się stan 000. Teraz naciskamy przełącznik startu S2, i trzymamy go, aż na wyświetlaczu pojawi się stan 500. W tym momencie należy zwolnić przełącznik S2, co spowoduje zatrzymanie zliczania.

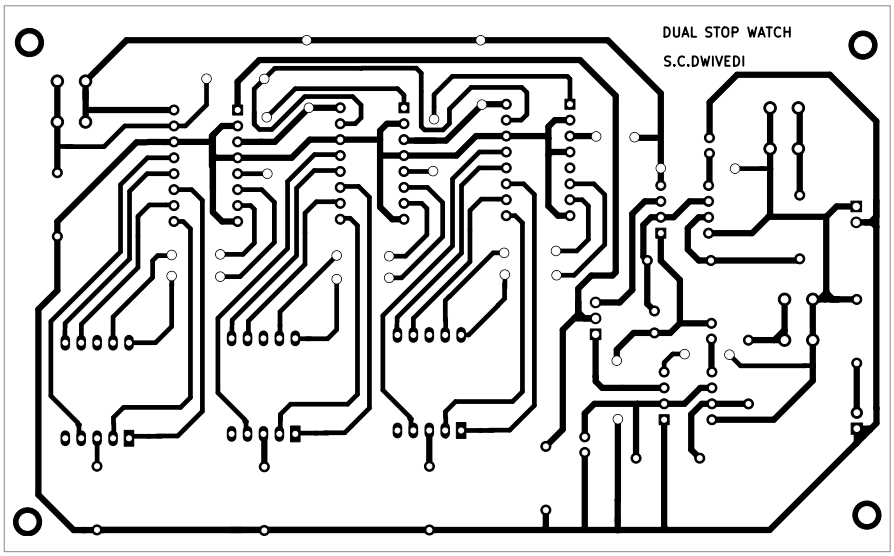
Budowa i testowanie

Widok jednostronnej płytki drukowanej podwójnego stopera w rzeczywistych wymiarach pokazano na **rysunku 3**, a rozmieszczenie elementów na **rysunku 4**. Po zmontowaniu układu na płytce drukowanej należy umieścić go w odpowiedniej obudowie. Diody LED1 i CON1 powinny znaleźć się z przodu. Płytka drukowana powinna być ułożona tak, aby umożliwić łatwy odczyt czasu wyświetlanego na trzech 7-segmentowych wyświetlaczach. Również z przodu lub na górze obudowy powinny być zamontowane przełączniki S1 do S4. Należy zapewnić wygodny dostęp do tych elementów.

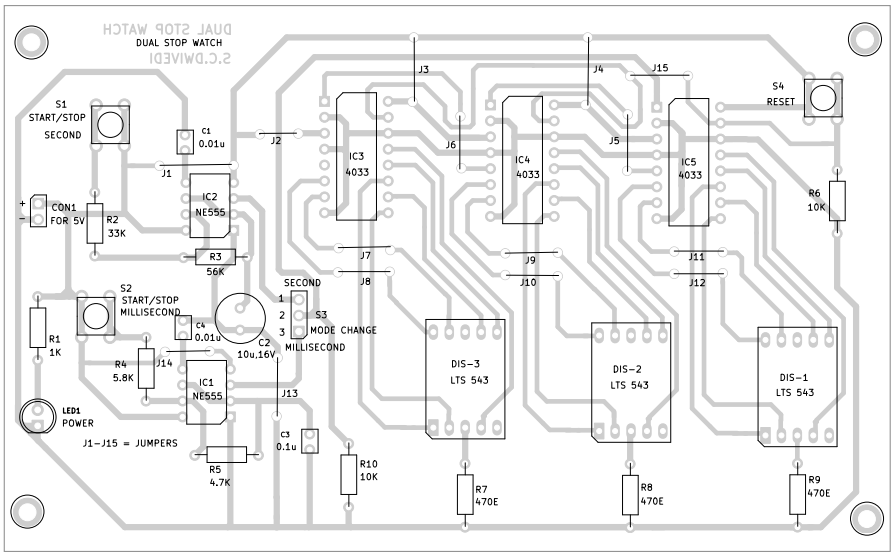
Dioda LED1 powinna zaświecić się po dołączeniu zasilacza 5 V do złącza CON1, wskazując, że urządzenie jest gotowe do użycia.

Film instruktażowy: https://youtu.be/j-TLmE8a0RY. ■

Suresh Chandra Dwivedi



Rysunek 3. PCB stopera



Rysunek 4. Rozmieszczenie elementów a płytce drukowanej

Wykaz elementów:

Półprzewodniki:

IC1, IC2	NE555 timer
IC3-IC5	4033 licznik dekadowy
DIS-1...DIS-3	LTS543 wyświetlacz ze wspólną katodą
LED1	czerwona dioda LED 5 mm

Rezystory: (wszystkie 1/4 W, ±5% węglowe)

R1	1 kΩ
R2	33 kΩ
R3	56 kΩ
R4	5,8 kΩ
R5	4,7 kΩ
R6	10 kΩ
R7...R9	470 kΩ

Kondensatory:

C1...C4	0,01 μF ceramiczny
C2	10 μF/16 V elektrolityczny
C3	0,1 μF ceramiczny

Różne:

CON1	gniazdo zasilania DC
S1, S2, S4	przełącznik wciskany
S3	przełącznik SPDT
Zasilacz 5 V	DC

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

eprasa.pl e016f8d744

System uwierzytelniania oparty na RFID z użyciem Arduino

System identyfikacji radiowej (RFID) używany do identyfikacji i śledzenia obiektów jest oparty na czytniku RFID i tagu. Główne części urządzenia obejmują nadajnik-odbiornik, antenę i dekoder.

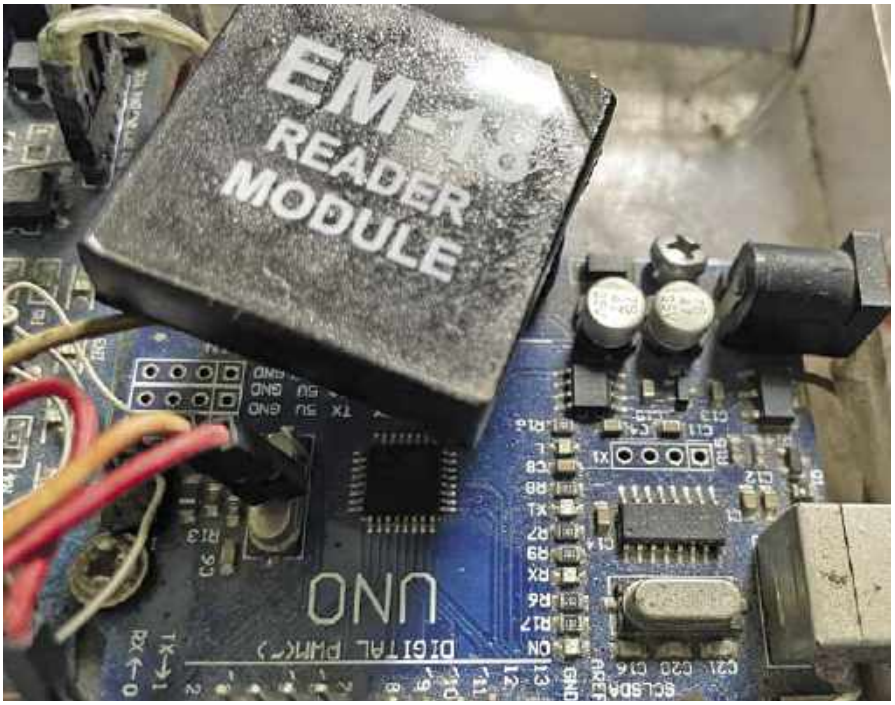
Nadajnik-odbiornik może działać zarówno jako nadajnik, jak i odbiornik. Zawiera generator służący do wytworzenia ciągłego sygnału, który jest modulowany wymaganą częstotliwością, a następnie przekazywany do anteny. Antena przekształca sygnał elektryczny w sygnał elektromagnetyczny, który jest skutecznie propagowany w powietrzu. Po wykryciu sygnału radiowego (RF) w antenie taga, dekoder pobiera i interpretuje dane.

Znaczenie systemów RFID rośnie z dnia na dzień ze względu na ich potężne możliwości w zakresie automatycznej identyfikacji, lokalizacji i kontroli dostępu. Jednak techniki RFID są obciążone kwestiami bezpieczeństwa i prywatności ze względu na prosty kanał komunikacji bezprzewodowej. Aby temu zaradzić, proponujemy skuteczny układ uwierzytelniania, w którym zostały zastosowane generatory liczb pseudolosowych (PRNG) i kilka prostych operacji kryptograficznych.

Ponieważ obecna generacja tagów ma wbudowane generatory pseudolosowe, implementacja tych operacji jest możliwa przy niskim poziomie złożoności. Tajne informacje przechowywane w tagach są przekazywane w bardziej bezpieczny sposób, zapewniając poufność, integralność i uwierzytelnianie. Bezpieczeństwo opisanego w artykule układu jest analizowane pod kątem różnych ataków na RFID i porównywane z wydajnością niektórych istniejących protokołów. Wyniki eksperymentów pokazują znaczną poprawę bezpieczeństwa przy średnim koszcie w porównaniu z istniejącymi technikami.

Opisujemy projekt systemu logowania z zastosowaniem technologii RFID o inteligentnej i bezpiecznej topologii. Dzięki takiemu rozwiązaniu urządzenie można skonfigurować do uwierzytelniania, a następnie ustawić wybrane funkcje, takie jak system logowania lub system obecności.

Moduł RFID EM 18 służy do odczytywania tagów i urządzeń RFID, a Arduino służy do przetwarzania danych i ustawiania funkcji, takich jak blokowanie, odblokowywanie lub uwierzytelnianie. Jeśli zostanie zeskanowany prawidłowy tag RFID, urządzenie rozpoznaje i uwierzytelnia osobę, wyświetlając wynik za pośrednictwem monitora szeregowego.



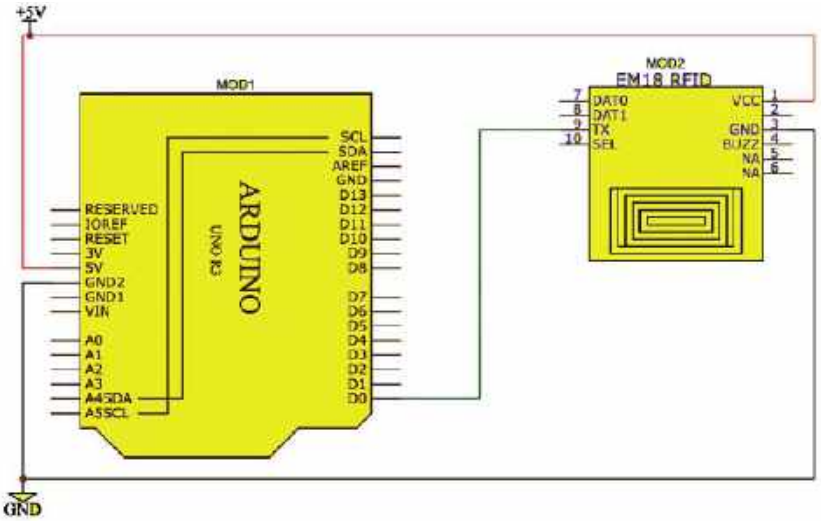
Fotografia 1. Prototyp testowany w laboratorium EFY

W przeciwnym razie wskazuje, że identyfikator RFID jest nieprawidłowy.

Widok prototypu przetestowanego w EFY Lab został przedstawiony na **fotografii 1**. Elementy użyte w projekcie są wymienione w wykazie.

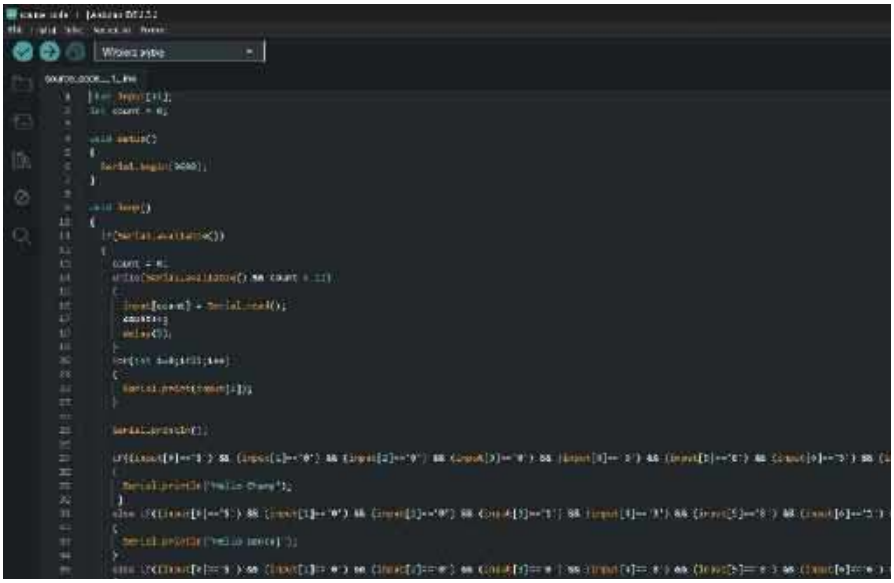
Schemat połączeń

Schemat układu został przedstawiony na **rysunku 2**. Projekt jest oparty na płytce Arduino (MOD1) i module czytnika RFID EM18 (MOD2). Moduł RFID jest dołączony do Arduino zgodnie ze schematem. W tym



Rysunek 2. Schemat ideowy

eprasa.pl e016f8d744



Rysunek 3. Fragment kodu źródłowego

Rysunek 4. Fragment komunikatów przesyłanych portem szeregowym

Wykaz elementów:

Arduino Nano/Uno (MOD1)	1 szt.
Moduł czytnika RFID EM18 (MOD2)	1 szt.
Zworki	4 szt.
Karta/etykieta RFID do testowania	1 szt.
Zasilacz 5 V	1 szt.

przypadku moduł RFID używa tego samego pinu RX (D0) Arduino, który jest używany do sprzętowego przesyłania kodu. Jeśli więc pin ten został połączony, a następnie zostanie podjęta próba przesłania kodu, pojawi się błąd transmisji. Na czas wgrywania kodu programu do Arduino należy upewnić się, że pin TX modułu EM 18 został odłączony od pinu D0 płytki. Po przesłaniu kodu można otworzyć monitor szeregowy i podłączyć piny szeregowe modułu EM 18 do pinów Arduino.

Oprogramowanie

Kod programu został opracowany przy użyciu Arduino IDE. Moduł EM 18 RFID działa w oparciu o komunikację szeregową. Moduł RFID wysyła dane za pomocą pinu TX swojego portu szeregowego. Następnie dane trafiają na pin sprzętowego portu szeregowego RX (D0) Arduino. W kodzie znajdziemy funkcję konfiguracji, w której port szeregowy jest uruchamiany przy użyciu ustalonej szybkości transmisji EM 18, która zwykle wynosi 9600 b/s. Funkcja główna w nieskończonej pętli sprawdza napływające z modułu RFID dane. Jeśli zostanie wykryty właściwy identyfikator RFID, będzie on wyświetlony przez monitor szeregowy wraz z nazwą.

W celu przesłania kodu źródłowego należy wybrać odpowiednią płytkę Arduino oraz numer portu szeregowego do którego została podłączona (numer wirtualnego portu szeregowego utworzonego przez system operacyjny po podłączeniu Arduino do komputera za pomocą kabla USB, w przypadku Windows znajdziesz w menadżerze urządzeń → Win+X → Menadżer urządzeń → Porty COM i LPT). Następnie zmieniamy w kodzie programu numer RFID na prawidłowy numer RFID karty i przesyłamy kod (pamiętając o uprzednim odłączeniu przewodu modułu RFID od portu RX (D0) Arduino). Fragment kodu źródłowego przedstawiono na **rysunku 3**.

Testowanie

Testowanie urządzenia rozpoczynamy od połączeniu Arduino do laptopa. Następnie otwieramy port szeregowy i zbliżamy odpowiedni tag RFID do modułu EM 18. Jeśli jest to prawidłowy tag RFID, zostanie on wyświetlony lub będzie wykonana akcja zapisana w kodzie. Po wykryciu właściwej karty RFID, zostanie wyświetlona informacja za pośrednictwem monitora szeregowego: „Authenticated for Pankaj" („Uwierzytelniono dla Pankaj" – imię autora), jak pokazano na **rysunku 4** zawierającym fragment komunikatów wyświetlanych za pośrednictwem portu szeregowego. ■

Pankaj A. Raut

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

REKLAMA

eprasa.pl e016f8d744

ELEKTRONIKA dla wszystkich
nr 2/2024 (2)
JUNIOR

Sebastian z Wrocławia, uczestnik kółka zainteresowań „Młodych Entuzjastów Elektroniki”

Serdecznie witam Was w kolejnej przygodzie na łamach naszej mikrogazetki EdW Junior, która wystartowała w poprzednim miesiącu. Jak widzimy, po pierwszych Waszych komentarzach, gazetka cieszy się wśród naszych Czytelników (zarówno tych młodszych jak i tych nieco starszych) sporym zaciekawieniem. Otwierając ten cykl zrelacjonowałem Wam ostatnim razem ciekawą atrakcję, towarzyszącą jednej z imprez okolicznościowych, podczas której Wasi koledzy i koleżanki składali proste i szybkie w montażu, a jednocześnie niezwykle atrakcyjne, bo mieniące się wszystkimi kolorami tęczy serduszka. Mamusie odgrażały się w żartach, że „następnym razem ma być kwadracik, bo ich córeczki oszalały na punkcie owych serduszek, i składając któreś już z rzędu, kategorycznie odmawiają planowego zakończenia imprezy”. Działo się!

Tym razem to Was chciałbym zaprosić do wspólnej zabawy i w ramach naszego cyklu EdW Junior, podzielić się z Wami podstawowymi umiejętnościami i wiedzą, które w sposób przyjemny i łatwy pozwolą Wam z radością i satysfakcją wkroczyć w pasjonujący świat elektroniki. Wydaje mi się, że przejście na „Ty” z „każdym Czytelnikiem z osobna” znacząco ułatwi i uskuteczni wzajemną komunikację, stąd też pozwolę sobie na to poniżej oraz w kolejnych naszych spotkaniach, mając nadzieję, że nikt z Was nie weźmie mi tego za złe. Zacznijmy więc naszą przygodę!

Dobrze mieć kogoś dorosłego, kto dotrzyma towarzystwa. Zwłaszcza na początku przygody z lutowaniem.

Mam nadzieję, że przynajmniej na początku swej nowej przygody, będziesz miał wsparcie i troskliwą opiekę ze strony bliskiej Ci osoby dorosłej. Poproś mamę, tatę, starszego brata, wujka, dziadka, jakiegokolwiek dorosłego, z którym lubisz spędzać czas, po pierwsze, by był w pobliżu, podczas Twoich pierwszych zabaw gorącą lutownicą. Jeśli będziesz miał na nosie okulary ochronne (można je zakupić w dowolnym markecie budowlanym), a rozgrzaną lutownicę, po skończonych nią manewrach, zawsze będziesz odkładał do przystosowanego do tego celu uchwytu, zasadniczo nic złego nie ma prawa się stać. Nasze ciało, samo z siebie, niezwykle szybko (dużo szybciej, niż zdążymy o tym pomyśleć) zareaguje, gdy niechcący dotkniemy nie to co trzeba (na przykład rozgrzaną część lutownicy) niemniej fajnie mieć wtedy w pobliżu dorosłego, który, chociażby odłoży gorącą lutownicę do uchwytu, chroniąc tym samym blat roboczy przed przypaleniem, gdy spanikujesz, albo po prostu pobiegniesz włożyć palec pod zimną wodę. Większość takich zdarzeń nawet nie pozostawi śladu na palcu, niemniej nawet wtedy warto skorzystać z kranu z zimną wodą i porządnie schłodzić dłoń. Po prostu nieprzyjemne pieczenie szybciej zniknie, a Ty równie szybko zapomnisz o całym zdarzeniu.

Skądinąd, pracując regularnie z początkującymi amatorami rozgrzanej lutownicy wiem, że to, czym doświadczony elektronik się nawet nie przejmie, u początkującego potrafi wzbudzić nie tylko ekscytację i zdziwienie ale też konsternację i lęk, bardzo często zupełnie nieuzasadniony, a mimo to obecny. Moje Dzieciaki (Dzieciaki na moich zajęciach) bardzo często w panice cofają rękę, gdy dosuwając cynę lutowniczą do lutowanego padu poczują na swej dłoni drobne ciepłe odpryski. Wzrok jak i mina zdradzają wtedy lęk i niepewność. Lutować dalej, czy się zatrzymać? A może coś źle robię? Czy takie odpryski mnie nie poparzą? Warto mieć wtedy pod ręką kogoś, kto Ciebie obserwując, uśmiechnie się, potaknie głową i powie: „wszystko w porządku, to tylko pryskająca kalafonia zawarta w strukturze drutu cynowego, która powoduje, że spoiwo łatwiej rozpuszcza się i lepiej przylega do lutowanych elementów, nie zrobi Ci krzywdy, spokojnie lutuj dalej”.

Do dzieła!

Zapraszam Cię teraz do wyposażenia się w jakiś elektroniczny zestaw do samodzielnego złożenia. Możesz w tym celu, za pierwszym razem najlepiej ze swoim opiekunem, udać się do pobliskiego sklepu elektronicznego, a gdyby takiego w Twojej miejscowości nie było, zawsze możesz skorzystać, na przykład z oferty wysyłkowej sklepu AVT (https://sklep.avt.pl/). Świetnym wyborem na początek przygód z lutowaniem będzie któryś z zestawów serii AVTEDU (https://tinyurl.com/AVTEDU). Wszystkie układy z tej serii zaprojektowano z myślą o nauce lutowania, stąd też m.in. zadbano w nich o relatywnie „luźne” rozmieszczenie komponentów na większej powierzchni płytki drukowanej. Powoduje to, że podczas montażu, bez większego wysiłku dotrzemy grotem lutownicy do każdego punktu lutowniczego. Czytelne i proste schematy pozwolą, bez większych problemów uruchomić każdy z układów. A gdyby jednak jakieś problemy się pojawiły?

Uczmy się na własnych błędach (a najlepiej cudzych)

Super jest uczyć się na wzajemnych błędach, dlatego jeśli tylko coś Ci nie wyjdzie, i nie będziesz w stanie samodzielnie uruchomić zmontowanego zestawu, podeślij proszę dobrej jakości fotorelację z montażu na adres mailowy Redakcji (spróbujemy rozwiązać problem korespondencyjnie). W szczególnie ciężkich sytuacjach będziesz mógł podesłać zmontowany a niedziałający zestawy na adres Redakcji. Uruchomimy go razem, a relacją z tej aktywności podzielimy się w kolejnych odcinkach naszej wspólnej gazetki.

EdW Junior od kuchni

Istnieje jeszcze jeden powód, dla którego cykl EdW Junior ma prawo mieć nie tylko swój unikatowy klimat, ale też gwarantowaną jakość prezentowanych tu treści. Wszystko za sprawą faktu, że publikowane materiały mają charakter relacji. Oznacza to, że zamiast snucia suchych teorii, podszywanych nawet najznamienitszą wiedzą, opowiadam wprost o tym, co naprawdę działo się na prowadzonych przeze mnie zajęciach. Wiem, z czym borykali się moi młodzi entuzjaści

eprasa.pl e016f8d744

elektroniki, na jakie montażowe problemy natrafili, co się psuło, co nie wychodziło, albo jakie rozwiązania sprawdziły się wyśmienicie tudzież najlepiej. Wszystkim tym będę się na bieżąco z Wami dzielił prezentując materiał, o czym jestem przekonany, z najwyższej półki.

Narzędzia

Do tej pory wspomnieliśmy o okularach ochronnych oraz zestawie do składania. Przydałoby się jeszcze mieć czym go poskładać. Potrzebne będą nam do tego: stacja lutownicza, cyna i obcinaczki. Przyda się też multimetr, a w przyszłości, być może też odciąg oparów lutowniczych.

Stacja lutownicza

Czym (w naszym przypadku) kierować się przy zakupie stacji lutowniczej? Grotem! Czyli końcówką, za pomocą której będziemy topić spoiwo (cynę) i nanosić ją na wyprowadzenia komponentów i punkty lutownicze na płytce drukowanej. Pomijając duże i ciężkie kolby (nieporęczne nawet dla dorosłego!) oraz sztywne i grube przewody łączące te kolby ze stacją (skutecznie utrudniające każdy lutowniczy manewr), to kryterium (grot) na dzień dobry wyklucza z kręgu naszych zainteresowań wszystkie „marketówki" wyposażone w gwintowany (lub przykręcany z jednej strony śrubą), bardzo szybko zużywający się grot. Te stacje lutownicze może i są tanie (około 50 zł), za to groty to nich mają cenę złota (około 15 zł za sztukę). Gdy zdamy sobie sprawę, że na zakup czterech grotów do taniej lutownicy wydamy kwotę większą niż ta wydana na zakup samej stacji lutowniczej, w mig powinien stanąć nam przed oczyma cwany chwyt marketingowy, podobny to tego, który od wielu lat stosowany jest przez producentów tanich drukarek atramentowych. Płacąc za lepszą stację lutowniczą nieco więcej, możemy mieć sprzęt wyposażony w (niemal) niezniszczalny, hartowany grot, wprost idealną na nasze potrzeby. Osobiście od wielu lat korzystam z modelu **WEP 939D+** (https://tinyurl.com/Junior-Lutownica) ani razu nie wymieniając w niej grota, który wciąż wygląda i sprawuje się jak nówka prosto z fabryki! Takim sprzętem po prostu aż chce się lutować! W Internecie można znaleźć też model **WEP 936**, tańszy, wizualnie identyczny odpowiednik, z obudową w kolorze czarnym i bez wyświetlacza cyfrowego, ale, co najważniejsze, z tym samym systemem grota, którą to stację mogę polecić z równie czystym sumieniem.

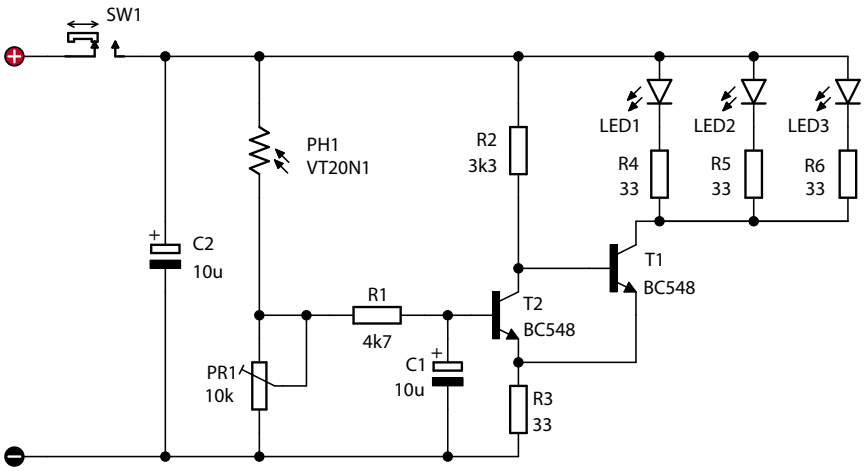
Cyna

Cyny (w postaci drutu lutowniczego) będziemy używać głównie do mechanicznego zespajania metalowych wyprowadzeń komponentów ze znajdującymi się na płytce drukowanej pierścieniami miedzi, wokół otworów z tymi wyprowadzeniami. Pierścienie te (inne nazwy to pady, pola lutownicze) łączą się następnie z miedzianymi ścieżkami rozprowadzonymi po całej płytce drukowanej, które tworzą połączenia między komponentami, elektrycznie odwzorowując połączenia ze schematu (**rysunek 1**).

Ponieważ cyna jest metalem, oprócz funkcji skutecznie przytwierdzającej komponent do płytki PCB przewodzi ona również prąd elektryczny, zapewniając połączenie elektryczne między wyprowadzeniem komponentu oraz ścieżkami na płytce drukowanej. Czym kierować się przy wyborze cyny? Na pewno nie kupować jej w markecie budowlanym, by przez przypadek nie kupić cyny do lutowania rurek miedzianych w hydraulice, zazwyczaj pozbawionej topnika i kompletnie nie nadającej się do lutowania elektroniki (mimo, że rolka cyny potrafi wyglądać niemal identycznie jak ta nasza, do lutowania elektroniki zupełnie się nie nadaje). Z czystym sumieniem polecam cynę marki Cynel, dostępną m.in. w ofercie AVT. Jeśli będziemy lutować sporadycznie i w dobrze wentylowanym pomieszczeniu, z premedytacją polecam zakup cyny ołowiowej, którą po prostu lutuje się łatwiej, z uwagi na niższą temperaturę topnienia i lepszą odporność na przegrzanie. Połączenia tworzone cyną ołowiową mają też lepszą jakość, zapewniając tym samym dłuższą trwałość wykonywanych za jej pomocą połączeń. Cyną bezołowiową po prostu lutuje się trudniej (co może zniechęcać młodych entuzjastów elektroniki do uprawiania tego rodzaju hobby), a luty są mniej trwałe i gorszej jakości. W przypadku sporadycznego lutowania, lub lutowania w dobrze wentylowanym pomieszczeniu, ciężko byłoby uzasadnić względami zdrowotnymi sięganie po cynę bezołowiową. Na początek polecam cynę ołowiową o średnicy 1 mm w 100 g rolce (https://tinyurl.com/Junior-Cyna). Dla spokojności sumienia można ewentualnie doposażyć się w pochłaniacz oparów lutowania z wymiennymi filtrami węglowymi, ale będzie to miało sens dopiero wówczas, gdy zaczniemy lutować naprawdę sporo, i jak już będziemy pewni, że montaż układów elektronicznych to jest dokładnie to, czym się będziemy zajmować na co dzień (https://tinyurl.com/Junior-Pochlaniacz-Dymu).

Obcinaczki

Dobrej jakości obcinaczki to rzecz nieodzowna! Bez nich nie złożymy żadnego zestawu, a te słabej jakości spowodują, że zamiast ciąć nadmiar wyprowadzeń komponentów po ich wcześniejszym przylutowaniu, będziemy



Rysunek 1. Schemat elektryczny obwodu zmierzchowej lampki LED

Rysunek 2. Obcinaczki używane podczas zajęć (dostępne w ofercie sklepu AVT)

eprasa.pl e016f8d744

je z płytki wyrywać albo wykręcać. O ile zrobimy to jeszcze w sposób widoczny, pół biedy, bo uszkodzenie będzie widać z daleka, i pozostanie nam je po prostu naprawić (jak to zrobić, opowiem później). Najgorsze, że większości tak powstałych usterek gołym okiem nie widać. Oderwanie padu od ścieżki na płytce zazwyczaj jest niewidoczne, a w jego namierzeniu pomoże z pewnością multimetr ustawiony na pomiar ciągłości obwodu (o tym też później opowiem). Wracając do obcinaczek, w sklepie AVT można je odnaleźć w kategorii **cążki**. Tutaj nie wskażę najlepszego wyrobu, i decyzję pozostawię Tobie. Ponadto, właściwości tnące obcinaczek, z upływem czasu będą się pogarszały, nawet w przypadku najdoskonalszego wyrobu. Na zajęciach ze swoimi chłopakami używam najtańszych (https://tinyurl.com/Junior-Obcinaczki), pokazanych na **rysunku 2**. Na bazie naszych doświadczeń, pod kątem jakości cięcia, mogę powiedzieć, że, po pierwsze zależy, na jaką sztukę danych obcinaczek trafimy, po drugie, narzędzie to, jak już wcześniej wspomniałem, nie jest wieczne, dlatego jakość cięcia tego narzędzia po prostu należy kontrolować na bieżąco, a w przypadku, gdy stracą swe właściwości należy je odpowiednio naostrzyć, lub po prostu (co może okazać się finansowo bardziej efektywne), wyposażyć się w nowe.

Multimetr

Jeśli chodzi o multimetr, na zajęciach przydaje się on głównie w zakresie sprawdzania ciągłości ścieżek (podstawowe narzędzie za pomocą którego szybko sprawdzisz, czy pomiędzy dwoma punktami lutowniczymi, wzdłuż widocznej na płytce miedzianej ścieżki, zachodzi zjawisko przewodzenia prądu elektrycznego). Jeśli nie zachodzi, najprawdopodobniej wyrwałeś któryś z padów podczas obcinania nadmiarowych wyprowadzeń po przylutowaniu komponentu, bądź też zerwałeś go już w trakcie lutowania do niego komponentu. Nic nadzwyczajnego. Zdarza się najlepszym i trzeba taki zerwany pad po prostu naprawić. Drugą funkcją z której nagminnie korzystamy jest pomiar napięcia stałego. Dzięki temu można zweryfikować, czy działa zasilacz, który powinien dostarczać określone napięcie do naszego urządzenia, upewnić się, czy w wybrane miejsce układu elektronicznego dociera spodziewane napięcie, albo też czy układ stabilizacji napięcia w naszym urządzeniu działa poprawnie. Kolejną funkcją multimetru, którą często się na zajęciach posługujemy, to pomiar rezystancji. Ta funkcja (funkcja omomierza) przydaje się, gdy w gąszczu elementów dołączonych do zestawu, chcemy odnaleźć rezystory (równie często zwane opornikami) o konkretnych wartościach, wskazanych przez dołączoną do zestawu instrukcję (wykaz komponentów) do zamontowania na odpowiednich pozycjach na płytce PCB (**fotografia 1**).

Fotografia 1. Użycie multimetru z ustawioną funkcją omomierza w celu odnalezienia rezystorów o określonych w spisie elementów wartościach, celem zamontowania ich na właściwych pozycjach na płytce drukowanej. Na zdjęciu Tymek, koło zainteresowań Młodych Entuzjastów Elektroniki, Wrocław

Ostatnią w zasadzie funkcją multimetru, którą posługujemy się na zajęciach, jest funkcja pomiaru prądu (amperomierz) płynącego w danej gałęzi obwodu, albo, pobieranej (z zasilacza lub baterii) przez cały nasz układ. Pomiar ciągłości, woltomierz, omomierz i amperomierz, to wyposażenie każdego w zasadzie, nawet najtańszego multimetru. Nawet tego z marketu za 20 zł. Jedyna rzecz, której warto dopilnować, to by był to multimetr z „buzzerem" czyli z dźwiękową sygnalizacją ciągłości obwodu. Te najtańsze są często tego elementu pozbawione. Temat warto przed zakupem zweryfikować. Nie sugeruję żadnego konkretnego modelu, ponieważ na tym etapie, ani szalona precyzja pomiaru, ani też bogatość funkcjonalności zaszytych w mierniku nie będzie nam do niczego potrzebna (więc po co przepłacać?). W sklepie AVT mierniki można znaleźć w kategorii **Multimetry cyfrowe ręczne przenośne** (https://tinyurl.com/Junior-Multimetr).

Zmierzchowa lampka LED

Na „pierwszy ogień" wraz z grupą kilku początkujących entuzjastów elektroniki wzięliśmy na warsztat zestaw **Zmierzchowa lampka LED** funkcjonujący w sklepie AVT pod nazwą kodową **AVTEDU622**. Lampka ta samoczynnie załącza się o zmroku i wyłącza po nadejściu poranka (albo pojawienia się innego źródła światła).

Zasada działania

Układ jest dosyć prosty, a jego schemat znajduje się na rysunku 1. Element podpisany jako T1 to **tranzystor** w roli przełącznika (klucza), który działa trochę, jak zawór wody przy kranie w umywalce. Podobnie jak zawór, po jego odkręceniu powoduje, że woda w kranie zaczyna płynąć, tak samo tutaj, gdy tranzystor zostanie załączony (w zależności od typu tranzystora bipolarnego, prądem wpływającym lub wypływającym z **bazy**), pomiędzy dwoma pozostałymi jego wyprowadzeniami (**kolektorem** i **emiterem**) popłynie prąd elektryczny, w kierunku wskazanym przez strzałkę emitera. Emiter tranzystora zawsze oznaczony jest strzałką. Istnieją dwa typy tranzystorów bipolarnych: NPN oraz PNP. W przypadku tranzystora bipolarnego typu NPN prąd ze złącza emiterowego wypływa i dlatego w tym przypadku strzałka skierowana jest na zewnątrz tranzystora. W przypadku tranzystorów typu PNP prąd za pomocą emitera jest doprowadzany do tranzystora, zatem w takim przypadku strzałka emitera skierowana jest do wnętrza tranzystora. W przypadku układu naszej

eprasa.pl e016f8d744

lampki zmierzchowej oba tranzystory są, jak widać, typu NPN. Przeanalizujmy więc co dzieje się na schemacie pokazanym na rysunku 1. Dla ułatwienia, zaczniemy od końca. Po załączeniu tranzystora T1, prąd od plusa zasilania, wpływa równolegle do wszystkich diod LED (LED1...LED3), i szeregowo włączonych z tymi diodami rezystorów. Następnie prąd ze wszystkich tych (trzech) gałęzi sumuje się i wpływa do kolektora tranzystora T1 i zaraz potem wypływa emiterem. Następnie, za pośrednictwem rezystora R3 trafia do ujemnego bieguna zasilania. Obwód zamyka się a diody LED zaczynają świecić. OK, wiemy już, że tranzystor T1 załącza trzy diody świecące, gdy zrobi się ciemno. Ale co tak właściwie załącza nam tranzystor T1? Otóż T1 zaczyna przewodzić prąd elektryczny, gdy na jego bazę doprowadzony zostanie pewien minimalny prąd elektryczny i napięcie między bazą i emiterem osiągnie wartość progową, dla większości tranzystorów krzemowych równą około 0,7 V. Wówczas (w analogii do odkręcanego kranu, otwierany jest „zawór" przepuszczający prąd, w przypadku tranzystorów typu NPN w kierunku od kolektora do emitera). Ów minimalny prąd „otwierający zawór" doprowadza się za pomocą złącza tranzystora zwanego bazą. Na schemacie poniżej, ów prąd doprowadzany jest na bazę tranzystora T1 za pośrednictwem rezystora R2. Rezystor R2 cały czas podłączony jest do plusa zasilania, dlatego też świecenie diod LED jest stanem domyślnym (początkowym).

Diody zostaną zgaszone dopiero wówczas, gdy „zawór zostanie zakręcony" a stanie się tak, gdy na bazę przestanie dopływać prąd. I tym „zakręcaniem zaworu" zajmuje się w poniższym układzie właśnie drugi tranzystor (tranzystor T2). Tranzystor T2, kiedy jest załączony zwiera prąd płynący przez rezystor R2 (za pomocą niewielkiego rezystora R3) do masy, czyli w tym wypadku, ujemnego bieguna zasilania. Gdy na bazę T1 przestanie dopływać prąd (na bazie pojawi się potencjał bliski potencjałowi masy) tranzystor T1 przestanie przewodzić prąd elektryczny i diody LED zgasną. Z uwagi na spadki napięć na złączu CE (kolektor-emiter) tranzystora T2 oraz na rezystorze R3 potencjał na bazie tranzystora T1 nie będzie równy potencjałowi masy, ale będzie potencjałowi masy na tyle bliski, by wyłączyć (zatkać) ten tranzystor (a tym samym wygasić diody LED). Po co w układzie rezystor R3? Otóż brak tego rezystora spowodowałby szybsze rozładowanie kondensatora C1 przez złącze baza-emiter (dla dociekliwych: obwód R_{BE}+R3 tranzystora T2 jest dla zgromadzonego ładunku na C1 rezystancją większą o $R_{BE}+\beta \cdot R3$, przy czym rezystancja ta nie jest dominująca dla obwodu R1+PR1 odpowiedzialnego za ustawianie czułości układu).

Wiemy już, że w naszym układzie załączenie się tranzystora T2 powoduje wyłączenie (zatkanie) tranzystora T1 i wygaszenie diod LED. Tym samym do omówienia zostaje nam najciekawsza część obwodu, odpowiedzialna za detekcję zmierzchu.

Kilka zdań wcześniej wspomniałem, że tranzystory NPN załącza się poprzez doprowadzenie do bazy tranzystora pewnego niewielkiego prądu. Wiadomo, że w naszym układzie musi to się zadziać za pośrednictwem rezystora R1. Tyle, że w przeciwieństwie do rezystora R2, rezystor R1 nie jest bezpośrednio podłączony do plusa zasilania. Zamiast tego włączony został na wyjściu **dzielnika napięcia**, utworzonego z szeregowo połączonych fotorezystora PH1 (jednym wyprowadzeniem podłączonego do plusa zasilania) oraz potencjometru PR1, podłączonego jednym z wyprowadzeń do masy. To właśnie dzielnik napięcia jest miejscem, w którym dzieje się cała „magia" odpowiedzialna za rozpoznawanie wystąpienia zmierzchu (ciemności). Przeanalizujmy zatem działanie tego dzielnika.

Fotorezystor jest elementem reagującym na światło. Ponieważ na liście elementów widnieje tylko nazwa fotorezystor (brak informacji o kodzie producenta), pozostało nam zmierzyć jego właściwości. Z pomiarów wynika, że ten dołączony do zestawu w pełnej ciemności osiąga rezystancję ponad 2 MΩ, podczas gdy przy dobrym oświetleniu jego rezystancja spada nawet poniżej 1 kΩ.

Potencjometr montażowy PR1 to również rezystor o zmiennej rezystancji, ale ustawianej trwale (aż do ewentualnej kolejnej regulacji nastawy) za pomocą śrubokręta.

Te dwa szeregowo połączone ze sobą elementy: PH1 (fotorezystor) oraz PR1 (potencjometr) tworzą gałąź pomiędzy dodatnim i ujemnym biegunem zasilania. Odbywa się na nich swojego rodzaju „turniej". W zależności od tego, jakie będą w danym momencie wartości rezystancji na fotorezystorze oraz na potencjometrze, potencjał, jaki ustali się pomiędzy tymi dwoma elementami (wyjście dzielnika) będzie bliższy, albo dodatniemu, albo ujemnemu biegunowi zasilania. Ten sam potencjał będzie wymuszał przepływ prądu albo od dodatniego bieguna zasilania do bazy tranzystora (co załączy tranzystor typu NPN) albo jego odpływ z węzła, na którym znajduje się baza tranzystora do bieguna ujemnego zasilania (co zatka tranzystor typu NPN).

Teraz już wiadomo, jak zachowa się nasz układ. Jeśli rezystancja na fotorezystorze będzie mniejsza niż rezystancja ustawiona na potencjometrze, do bazy tranzystora T2 doprowadzony zostanie pewien prąd (za pośrednictwem PH1 i R1) co spowoduje załączenie tranzystora T2, a tranzystor T2 wyłączy tranzystor T1 i diody LED zgasną.

Jeśli natomiast rezystancja ustawiona na potencjometrze PR1 będzie odpowiednio mniejsza względem rezystancji panującej na fotorezystorze PH1, wówczas potencjał ustalony na dzielniku w pewnym momencie okaże się bliski potencjałowi masy, w związku z czym napięcie na bazie tranzystora T2 względem emitera będzie niższe niż wymagane napięcie progowe, co spowoduje, że tranzystor T2 zostanie zatkany (wyłączony), co z kolei umożliwi załączenie się tranzystora T1 i zaświecenie diod LED.

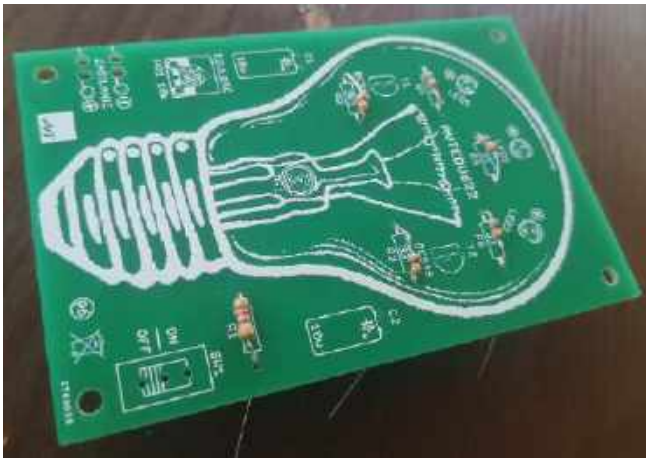
Co robi tutaj kondensator C2? Jeśli układ jest zasilany z baterii w zasadzie... nic nie robi (a przynajmniej nic co miałoby sens). Bateria jest idealnie „czystym" źródłem zasilania, wolnym od jakichkolwiek szumów i zakłóceń, które mogłyby zaburzać pracę układu. Z pewnością jest elementem, który przysłuży się nauce lutowania, wzbogacając zestaw o dwa dodatkowe punkty lutownicze. Kończąc ten wątek: kondensator C2 jest elementem zupełnie zbędnym w przypadku zastosowania zasilania bateryjnego (można go nie montować). W przypadku zasilania układu z zasilacza, będzie pewnym niewielkim filtrem dodatkowo wygładzającym to napięcie.

Montaż elementów na płytce drukowanej

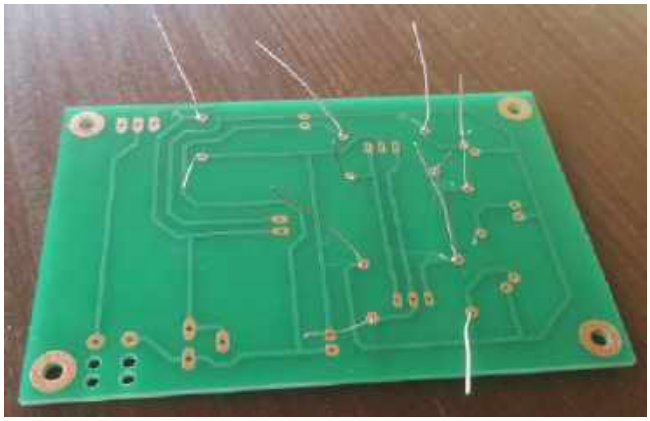
Nabrawszy dobrych praktyk, za młodu pochłaniając wzrokiem dziesiątki artykułów w czasopismach wydawnictwa AVT, dziś sam regularnie powtarzam uczestnikom swoich zajęć, by, w miarę możliwości, montaż rozpoczynali od komponentów najniższych i sukcesywnie montaż ów kończyli komponentami najwyższymi. Tak było i tym razem.

Zaraz po włożeniu rezystorów do płytki (**fotografia 2**), poprosiłem chłopaków o ich przylutowanie. Gdyby obsadzili wszystkie komponenty w jednym kroku, lutowanie wyprowadzeń komponentów do padów lutowniczych na płytce PCB byłoby nieco trudniejsze. Należałoby wówczas manewrować gorącym grotem lutownicy w całym gąszczu licznych wyprowadzeń komponentów. Taki las metalowych drutów ani nie ułatwia, ani nie uprzyjemnia nikomu pracy. Po przylutowaniu tych kilku pierwszych, oraz przycięciu nadmiaru długości przylutowanych już wyprowadzeń,

eprasa.pl e016f8d744



Fotografia 2. Płytka drukowana z osadzonymi w niej rezystorami



Fotografia 3. Płytka PCB z częściowo obłożonymi komponentami i rozgiętymi wyprowadzeniami tych komponentów, zabezpieczającymi je przed ich wypadnięciem z płytki PCB podczas montażu

znów mieli wygodną przestrzeń do montażu i lutowania kolejnych komponentów.

Przygotowanie do lutowania

Po zamocowaniu każdego komponentu w płytce drukowanej zawsze przypominam chłopakom, by delikatnie rozgięli jego wyprowadzenia w przeciwległych kierunkach. Dzięki temu komponenty nie wypadają z płytki po obróceniu jej do góry stroną lutowania (**fotografia 3**).

Lutowanie wyprowadzeń komponentów do padów lutowniczych

Przyszedł czas na lutowanie. Dla niektórych, być może pierwsze w życiu. Jeśli tak jest również w Twoim przypadku, poproś koniecznie swojego opiekuna, by pomógł Ci w tym zadaniu, a przynajmniej niech będzie obecny i obserwuje co robisz. Nawet niech „cyknie" Ci kilka fotek, które później będziesz mógł wstawić na ulubiony portal społecznościowy. A może kiedyś będzie okazja pochwalić się swoim działaniem na łamach gazety? Niech również nagra film, jak lutujesz komponenty do płytki, będziesz miał wtedy pewność, że patrzy Ci na ręce. W ten sprytny sposób dasz również opiekunowi szansę zareagować, gdy z dowolnych powodów sprawy pójdą nie po Twojej myśli. Może Cię w tym momencie zaskoczę, ale z reguły nawet w firmach, gdzie przecież pracują profesjonaliści, obowiązują procedury, które nie pozwalają pozostawać pracownikowi samodzielnie w biurze konstrukcyjnym. Tam jest to, co prawda, bardziej uzasadnione, z uwagi na pracę (zazwyczaj) z wyższymi napięciami. My tutaj pracujemy z napięciami bezpiecznymi, rzędu kilku, maksymalnie kilkunastu woltów, pochodzących z baterii bądź separowanego zasilacza sieciowego, więc nas część niebezpieczeństw w zasadzie nie dotyczy, niemniej zawsze możemy się, na przykład, sparzyć rozgrzanym grotem lutownicy, dlatego, po prostu, działajmy profesjonalnie. „Upierdliwe" z pozoru zasady BHP (bezpieczeństwa i higieny pracy) naprawdę potrafią ratować zdrowie a nawet życie. Czasem potrafią też uratować mebel lub inne sprzęty, przez ich, niecelowym, rzecz jasna, zwęgleniem bądź przytopieniem, ku późniejszej rozpaczy matczynej bądź własnej.

Jak już „zaciągniemy podstępem" do swojego warsztatu użytecznego w chwili zagrożenia dorosłego, choćby pod pozorem „cyknięcia" nam kilku fotek tudzież nagrania filmu lub też mamy do dyspozycji opiekuna, który chętnie spędzi z nami ten czas, możemy przystąpić do lutowania.

Zawsze gdy rozpoczynam pracę z nowym entuzjastą elektroniki, zadaję mu pytanie, czy już kiedyś cokolwiek lutował. Pytam też, czy jest osobą prawo, czy leworęczną, bo od tego zależy, w której dłoni wygodniej będzie mu trzymać lutownicę. Praworęczni zazwyczaj dzierżą ją w ręce prawej, a cynę lutowniczą trzymają i nią manewrują zazwyczaj za pomocą dłoni lewej. Osoby leworęczne, dokładnie na odwrót.

Samą kolbę lutowniczą trzymamy dokładnie w taki sam sposób, jak ma to miejsce w przypadku posługiwania się długopisem, przy czym należy pamiętać, że chwytamy ją w taki sposób, aby się nie poparzyć. Kolbę chwytamy więc za plastikową rękojeść, najczęściej dodatkowo pokrytą warstwą gumy, redukującej do minimum możliwość ślizgania się kolby w dłoni. Nigdy nie dotykamy grota lub metalowego walca wewnątrz którego znajduje się grzałka lutownicy. Elementy te mają podczas pracy temperaturę zazwyczaj około 320...360°C, w zależności od tego, jaką temperaturę ustawiliśmy za pomocą pokrętła lub przycisków sterujących i podobna temperatura ma prawo utrzymywać się na tych elementach jeszcze przez długich kilka minut (albo i dłużej) od wyłączenia stacji lutowniczej.

Prawidłowy sposób trzymania kolby stacji lutowniczej przez osobę praworęczną przedstawiono na **fotografii 4**.

Fotografia 4. Prawidłowy sposób trzymania kolby lutowniczej przez osobę praworęczną. Na zdjęciu Sebastian, koło zainteresowań Młodych Entuzjastów Elektroniki, Wrocław

By nie powielać nadmiaru tekstu, w dalszej części tego opisu założę, że jesteś osobą praworęczną. Prawidłowo trzymając kolbę stacji lutowniczej w prawej ręce oraz cynę lutowniczą w dłoni lewej, możesz przystąpić do wykonywania połączeń dla każdego pola lutowniczego. Ponieważ włożyłeś do płytki sześć rezystorów, do polutowania masz na chwilę obecną dwanaście pól lutowniczych.

Przez wiele miesięcy prowadzenia swoich zajęć zauważyłem nagminną tendencję osób początkujących do podgrzewania wyprowadzenia komponentu na wysokości około dwóch milimetrów nad płytką drukowaną i dosuwania w to miejsce cyny, nie dotykając grotem, a przez to nie rozgrzewając „srebrnego" (miedzianego, ale pokrytego w procesie HASL cyną o srebrnym kolorze) pierścienia wokół otworu przez który przeprowadzona została noga (wyprowadzenie) komponentu przewlekanego. W wyniku powyższego, nad padem lutowniczym wręcz lewituje kulka cyny, trzymająca się drutu (wyprowadzenia komponentu), ale w żaden sposób nie połączona z padem i ścieżką na płytce. Takie połączenie nie ma prawa działać, i z premedytacją głośno Ciebie proszę, nigdy tak nie rób. „Nie wieszaj cynowych bombek na drucianej choince". Chyba właśnie narodził się tekst, który będę powtarzał jak mantrę, od następnych zajęć ze swymi młodymi entuzjastami elektroniki.

Ucząc lutować zawsze głośno artykułuję: w pierwszej kolejności podgrzej równocześnie „srebrny" pierścień padu lutowniczego na płytce PCB oraz wyprowadzenie lutowanego komponentu. Poprawnie zrobisz to, **dosuwając rozgrzany grot lutownicy równocześnie do pierścienia na płytce PCB oraz wyprowadzenia komponentu przez ten pierścień przechodzącego**. Powinieneś zrobić to, z jednej strony, z umiarem, żeby nie przegrzać i nie zerwać pierścienia na płytce drukowanej, z drugiej strony zdecydowanie. Musisz pod palcami poczuć opór. Musisz ewidentnie poczuć, że grot lutownicy zatrzymał się i mocno opiera się zarówno o pierścień na powierzchni płytki drukowanej, jak i o wyprowadzenie komponentu. Tylko wtedy fizyczny kontakt grota z obiema lutowanymi powierzchniami będzie na tyle dobry, by umożliwić efektywny transfer ciepła i odpowiednio rozgrzać wszystkie te elementy (pierścień i wyprowadzenie) do temperatury grota (osobiście preferuję temperaturę 360°C) co z kolei umożliwi efektywne rozpłynięcie się cyny wokół tych elementów i utworzenie, po zastygnięciu cyny, stabilnego mechanicznie i trwałego połączenia elektrycznego.

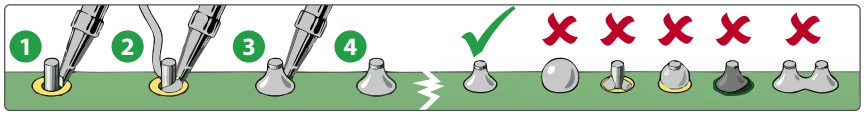
Równoczesne nagrzewanie, zarówno pola lutowniczego na płytce drukowanej oraz wyprowadzenia komponentu powinno trwać około dwóch sekund, może trzech sekund. Nie spiesz się. Zbyt szybkie przykładanie cyny, do zbyt słabo rozgrzanych płaszczyzn, spowoduje, że lut, nawet jeśli uda Ci się go stworzyć, będzie nietrwały, wybrakowany (cyna nie rozleje się po całym powierzchni padu, nie obleje obficie wyprowadzenia komponentu i z dużym prawdopodobieństwem, po pewnym czasie użytkowania zmieni się w tzw. zimny lut. Innymi słowy połączenie zatraci zdolność przewodzenia prądu elektrycznego, lub też zdolność ta w sposób losowy będzie się pojawiała i zanikała, tworząc tym samym bardzo trudną do wykrycia (a zatem trudną również do naprawy) usterkę. I jeszcze jedna sprawa. Jeśli Twoja lutownica uzbrojona jest w grot z cienką lub spiczastą końcówką, przykładaj grot bokiem, zapewniając jak największą powierzchnię transferu temperatury z grota lutownicy do lutowanych detali. Niejednokrotnie widziałem jak początkujący entuzjasta przykłada grot do pierścienia i wyprowadzenia maleńkim punkcikiem, niemal samą szpileczką grota. I dosuwając cynę czeka, aż zacznie się ona topić. I tak czeka, i czeka, i... jeszcze długo tak sobie poczeka. Nie ma powierzchni transferu ciepła, to i zadowalającego rezultatu lutowania po prostu być nie może.

Po prawidłowym rozgrzaniu pola lutowniczego oraz wyprowadzenia komponentu (jak wspomniałem zajmie to czas od około dwóch do trzech sekund) dosuń tyle cyny, by efektywnie zwilżyła ona „srebrny" pierścień na płytce oraz wyprowadzenie komponentu w miejscu lutowania. Jeśli dobrze rozgrzałeś wszystkie lutowane płaszczyzny, dosunięta cyna rozpuści się niemal natychmiast i w mgnieniu oka zwilży całe połączenie. Nie żałuj cyny. Zadbaj o to, by rozpłynęła się ona po całej powierzchni pola lutowniczego i wokół wyprowadzenia po całym jego obwodzie. Solidne połączenie utworzy kształt błyszczącego stożka (okrągła bańka to znak że jednak użyłeś jej trochę zbyt dużo). Brak idealnego połysku stworzonego wcześniej połączenia może świadczyć o przegrzaniu cyny i ryzyku wystąpienia w tym miejscu wspomnianego wcześniej, zimnego lutu. A wszystko dlatego, że cyna zbyt długo utrzymywana w wysokiej temperaturze, powoduje, że zawarte w niej związki utleniają się i z czasem traci ona swoje właściwości. By takie połączenie naprawić trzeba, w miarę możliwości i umiejętności, usunąć nadmiar starej, przegrzanej cyny albo (co na początku może okazać się łatwiejsze) rozgrzać taki lut ponownie i dosunąć tyle świeżej cyny, aż lut znów stanie się błyszczący. Nadmiar cyny (albo starą przegrzaną cynę) można z padu odebrać, umiejętnie posługując się grotem, stawiając płytkę chociażby bokiem do stołu, oraz wykorzystując ciężar ponownie roztopionej cyny i grawitację.

Na koniec jeszcze jedna bardzo ważna uwaga odnośnie samego dosuwania cyny po rozgrzaniu detali, które chcemy ze sobą polutować. Otóż zauważyłem częstą tendencję swoich chłopaków do dosuwania cyny do grota lutownicy. Super, że fajnie się ona wtedy topi, tylko po co nam cyna na grocie lutownicy? Ona sobie żadnym magicznym sposobem z tego grota na pole lutownicze z wyprowadzeniem komponentu nie przejdzie. Nawet jeśli, męcząc się z tym niemiłosiernie, uda się nam tą cynę z grota na pole lutownicze przerzucić, będzie już ona odrobinę (niepotrzebnie)

Fotografia 5. Lutowanie wyprowadzeń komponentów przewlekanych do padów lutowniczych na płytce PCB

Wskazówki montażowe



1. Grotem rozgrzanej lutownicy dotknij nóżkę/końcówkę elementu tuż przy polu lutowniczym
2. Następnie przyłóż "cynę"/spoiwo
3. Po uformowaniu się stożka odejmij "cynę", a następnie lutownicę
4. Cały proces powinien trwać 2-3sekundy

Warunkiem powstania poprawnego lutu jest czystość łączonych powierzchni, obecność topnika w spoiwie, odpowiednio wysoka temperatura (320-360°C) oraz właściwa ilość spoiwa.
Zbyt duża ilość spoiwa spowoduje powstanie kulki lub złączenie się dwóch sąsiednich punktów lutowniczych.
Zbyt niska temperatura lub ilość spoiwa, a także zanieczyszczenia mogą doprowadzić do "zimnych lutów" tzn. spoiwo i zawarty w niej topnik nie zwilży łączonych powierzchni i powstanie nietrwały lut, który z czasem się utleni, wystąpi przerwa i urządzenie przestanie działać.

Rysunek 3. Wskazówki montażowe dotyczące sposobu wykonywania połączeń lutowanych, które znajdziesz też w instrukcji dołączonej do każdego zestawu AVTEDU

przegrzana. Pamiętaj, cyna nie jest nam potrzebna na grocie. Potrzebujemy jej w miejscu styku pierścienia pola lutowniczego na płytce drukowanej i wyprowadzenia komponentu. W to miejsce zawsze dosuwaj cynę. Ja dosuwam ją nawet bezpośrednio do rozgrzanego pola lutowniczego na płytce. Kiedy wiem, że drutem lutowniczym nie dotykam grota, mam pewność, że cyna rozpłynie się wokół pola lutowniczego i wyprowadzenia, nie trafiając bez celu na grot lutownicy.

To tyle, z moich wskazówek i porad dla Ciebie, które zbieram podczas każdych zajęć ze swoimi młodymi entuzjastami elektroniki.

Spójrz jeszcze na wskazówki dotyczące sposobu lutowania, które znajdziesz w dołączonej do zestawu instrukcji, pokazane na **rysunku 3**.

Pamiętaj też o tym, by od czasu do czasu (co kilka zlutowanych połączeń) oczyścić grot lutownicy z cyny, która się na nim uzbiera. W tym celu „zanurkuj" kilkukrotnie rozgrzanym grotem lutownicy w czyściku, i wykonaj nim w czyściku kilka ruchów posuwisto-zwrotnych, jak gdybyś chciał wyczyścić palec wskazujący, brudny od kleju, w przytwierdzonej do blatu gąbce. Osobiście preferuję czyściki stalowe, z wyglądu przypominające stalowe czyściki do garnków, tyle, że osadzone na metalowej podstawie. Swoją drogą stalowe czyściki do garnków świetnie spełniają rolę czyścika do grota lutownicy, po wcześniejszym ich umieszczeniu w odpowiedniej podstawie. Jeśli dysponujesz czyścikiem w postaci gąbki, nie zapomnij wcześniej zwilżyć go wodą.

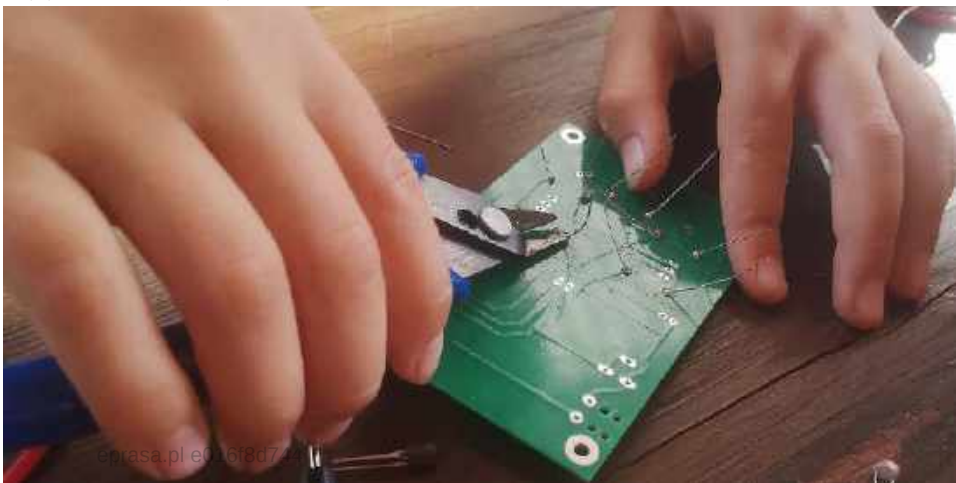
Umiejętność efektywnego lutowania pojawia się u początkujących entuzjastów elektroniki zadziwiająco szybko. Prowadząc zajęcia stacjonarne mam możliwość usiąść przy takiej osobie, pokazać na żywo sposób, w jaki sam lutuję (opis jak wyżej), a jeśli samodzielne lutowanie ewidentnie nie idzie zbyt dobrze (tak też czasem się zdarza), pytam młodego entuzjastę, czy możemy następne kilka lutów wykonać razem. Jeśli to dla niego w porządku, trzymam dłoń młodego wraz z lutownicą i kolejne kilka połączeń lutowanych wykonujemy wspólnie. Każdy nasz ruch odpowiednio komentuję, precyzyjnie informując co i w jakim celu w danym momencie robimy. Metoda daje zazwyczaj wyśmienity rezultat, dlatego jeśli tylko masz w pobliżu osobę, która mogłaby Cię w podobny sposób zaznajomić z procesem lutowania manualnego, korzystaj!

Po przylutowaniu wszystkich wyprowadzeń do pól lutowniczych na płytce drukowanej pozostaje obciąć nadmiar wyprowadzeń. Nadmiar wyprowadzenia obetnij w miejscu tuż nad wykonanym lutem. Samego lutu nie obcinaj (nie po to go tworzyłeś, by teraz się go pozbywać). Ma pełnić dwie ważne funkcje: mechaniczną (stabilne i trwałe przytwierdzenie komponentu do płytki drukowanej) oraz elektryczną (przewodzenie prądu pomiędzy wyprowadzeniem komponentu i ścieżką na płytce drukowanej), zatem jest Ci potrzebny.

Nadmiar wyprowadzeń obcinamy oczywiście za pomocą odpowiednio ostrych obcinaczek do elektroniki, ale uwaga! Zwróć baczną uwagę na fakt, że płytka dołączona do zestawu AVTEDU622 ma ścieżki wyłącznie po stronie lutowania. Oznacza to, że płytka wykonana jest w technologii jednostronnej, bez metalizacji otworów. Każda z nóg (wyprowadzeń) komponentów przylutowana jest zatem wyłącznie do pierścienia miedzi wokół otworu na płytce drukowanej. Miedź na płytce ma standardowo grubość nominalną równą 35 µm. W praktyce, po procesach produkcyjnych płytki po stronie dostawcy będzie to jeszcze mniej, z uwagi redukcję materiału podczas obróbki miedzi bazowej a jednocześnie brak późniejszych procesów metalizacji, które pozwoliłyby uzupełnić niedomiar miedzi na całej powierzchni płytki drukowanej.

Reasumując, gdyby to była płytka z metalizacją otworów, komponent byłby trzymany przez cynę przylegającą do metalizowanych ścianek otworu na całej grubości płytki drukowanej. Taki pad ciężko zerwać nawet celowo! Tu tego nie mamy. Komponent trzyma się cieniusieńkiego pierścienia miedzi wokół otworu, o grubości niecałych 35 µm (!). Dlatego, zarówno podczas lutowania ale i (a może przede wszystkim) podczas obcinania nadmiaru wyprowadzeń, zachowaj szczególną ostrożność i delikatność! Zerwać pad lutowniczy nietrudno, a z uwagi na to, że w znakomitej większości przypadków nie jest to potem zauważalne gołym okiem, skutecznie utrudni uruchomienie układu, doprowadzając Cię do niepotrzebnych frustracji. Cięcie powinno być wykonane jednym zdecydowanym zaciskiem szczęk ostrych obcinaczek, bez żadnych dodatkowych ruchów w postaci podnoszenia, czy wykręcania. Gdy tniesz wyprowadzenie obcinaczkami trzymanymi w prawej dłoni, palcami dłoni lewej trzymaj obcinaną część wyprowadzenia, tak by „strzelając" i odskakując nie wpadła

Fotografia 6. Proces pozbywania się nadmiaru długości wyprowadzeń, uprzednio przylutowanych do płytki drukowanej komponentów



Tobie lub osobom w pobliżu do oka. To też (obok wybuchających na skutek nieprawidłowego montażu układów scalonych lub kondensatorów elektrolitycznych) główny powód, dla którego nalegam, by moi uczestnicy zajęć ubierali okulary ochronne!). Również (a może szczególnie) gdy zajęcia odbywają się w kilkuosobowej grupie!

Proces przycinania nadmiaru wyprowadzeń, po uprzednim przylutowaniu komponentów do płytki pokazuje **fotografia 6**.

Po przylutowaniu rezystorów możesz zamontować pozostałe elementy. Technikę lutowania już omówiłem, więc teraz ograniczę się już tylko do krótkich wskazówek montażowych, specyficznych dla wybranych typów komponentów. Oczywiście zalecana kolejność montażu komponentów pozostaje bez zmian, a więc zaczynamy od elementów najniższych i kończymy na tych najwyższych. W pierwszej kolejności zamontuj więc **fotorezystor PH1**. Fotorezystor jest szczególnym rodzajem rezystora, a rezystor jest komponentem symetrycznym, czyli niespolaryzowanym. Oznacza to, że możemy zamontować go w dowolnym kierunku. Inaczej jest w przypadku **kondensatorów elektrolitycznych C1 i C2**. Weź teraz do ręki jeden z tych kondensatorów i bardzo uważnie mu się przyjrzyj. Po pierwsze zauważ, że jedno z wyprowadzeń kondensatora jest dłuższe od drugiego. Zakładając, że kondensatory są nowe i nikt ich wyprowadzeń nie przycinał, to dłuższe wyprowadzenie to wyprowadzenie plusowe (+). Oznacza to jednocześnie, że wyprowadzenie krótsze jest minusem (–) kondensatora elektrolitycznego. No dobrze, a co w sytuacji, gdy, na przykład, dysponujemy kondensatorem z odzysku, wylutowanym z innej płytki, któremu wcześniej zrównano długość wyprowadzeń? Wówczas skorzystaj z opisu na korpusie kondensatora. Jeśli przyjrzysz się uważnie, znajdziesz tam nie tylko informację o pojemności oraz maksymalnym dopuszczalnym napięciu pracy tego kondensatora (po przekroczeniu którego kondensator eksploduje), ale zobaczysz tam również bardzo wyraźnie zaznaczone wyprowadzenie minusowe. Kiedy już wiesz, które wyprowadzenie kondensatora to jego „plus", a które to „minus", zamontuj go w płytce drukowanej zgodnie z widocznymi na niej oznaczeniami. Do pola oznaczonego białą farbą plusem włóż nóżkę plusową kondensatora. Do drugiego otworu włóż nóżkę minusową. Po włożeniu kondensatora do płytki, możesz położyć go na poziomo zgodnie z rysunkiem na warstwie opisowej. Oczywiście możesz pozostać przy montażu pionowym (wszystko będzie działało tak samo dobrze). Tak, czy inaczej, po warstwie opisowej widzimy, że projektant przewidział dla tych kondensatorów montaż poziomy. Po włożeniu kondensatora do płytki rozegnij lekko jego wyprowadzenia, tak aby nie wypadł on podczas odwracania płytki do góry stroną lutowania. Te same zasady montażu zastosuj zarówno do kondensatora C1 jak i C2. Zdecydowanie polecam montaż poziomy, ułatwi to późniejszy montaż diod LED. Powinieneś wiedzieć i pamiętać, że zamontowanie kondensatorów elektrolitycznych niezgodnie z polaryzacją spowoduje ich szybkie wyeksploatowanie i degradację, albo nawet natychmiastowe uszkodzenie, często zwieńczone małą takiego kondensatora eksplozją w zależności od tego w jakiej części obwodu będą one występowały (to jeden z powodów, dla którego zawsze zachęcam swoich młodych entuzjastów elektroniki do stosowania okularów ochronnych). Innym powodem, dla którego kondensator elektrolityczny ma prawo wybuchnąć będzie podłączenie go do zasilania wyższego niż dopuszczalne (przyjrzyj się napisom na jego obudowie).

Następnie zamontuj na płytce **diody LED: LED1, LED2 i LED3**. Diody LED również wymagają zachowania odpowiedniej polaryzacji. Jeśli wlutujesz je na odwrót, po prostu nie będą przewodziły prądu elektrycznego, a zatem nie będą świeciły. Co prawda nie wybuchną ani się nie uszkodzą, ale ich wylutowanie i ponowny, tym razem poprawy montaż będą wymagały nie lada ostrożności. W przypadku płytki bez metalizacji (miedź po jednej stronie) bez uszkodzenia padów pewnie się nie obejdzie. Diody LED same w sobie również są bardzo wrażliwe na przegrzewanie. Może się okazać, że po wylutowniu nie będą już chciały zaświecić. Na naszych zajęciach taki scenariusz jest niezwykle częsty. Zatem przed ich ponownym wlutowaniem, warto jest sprawdzić wylutowane diody miernikiem ustawionym w tryb pomiaru ciągłości obwodu. Po przyłożeniu czerwonego kabla multimetru do anody (plusa) diody LED, oraz czarnego kabla multimetru do katody (minusa) diody LED, dioda powinna zaświecić. Jeśli nie świeci, dla pewności zamieńmy kabel czarny i czerwony miejscami. Jeśli i teraz dioda nie świeci, oznacza to, że dioda się uszkodziła, i należy w jej miejsce zastosować nową. Zauważ, że w taki sam sposób można szybko „namierzyć", które wyprowadzenie diody jest anodą (+), a które katodą (–), co w przypadku diody LED ze zrównanymi (przyciętymi) wyprowadzeniami może wcale nie być takie oczywiste.

Po zamontowaniu diod LED przyszedł czas na zamontowanie **tranzystorów T1** oraz **T2**. Te komponenty również wymagają zamontowania zgodnie ze wskazówkami na warstwie opisowej na płytce drukowanej. Weź jeden z tranzystorów do ręki i dokładnie mu się przyjrzyj. Ten element wcale nie jest walcem. Jedna ze ścian jest płaska i zawiera napisy (oznakowanie tranzystora). Jeśli teraz spojrzysz na obwiednię komponentów T1 i T2 na płytce drukowanej, zapewne i bez mojego tłumaczenia domyśliłbyś się, że prosta linia namalowana białą farbą wskazuje płaską ścianę tranzystora. Dokładnie w taki sposób (zgodnie z nadrukiem obwiedni na warstwie opisowej) zamontuj oba tranzystory T1 i T2.

Teraz pozostało Ci już tylko zamontować dwa ostatnie komponenty: **potencjometr PR1** oraz **włącznik SW1**. Ich montaż nie wymaga specjalnych wskazówek. Potencjometr da się włożyć do płytki w tylko jeden (prawidłowy) sposób, pomyłka zatem jest niemożliwa (wpisz w google termin poka yoke a dowiesz się na ten temat nieco więcej). Przełącznik natomiast jest tylko mechanicznym hebelkiem, który zwiera elektrycznie dwa sąsiadujące ze sobą pola lutownicze, zatem nie ma znaczenia w którą stronę go zamontujesz. W obu przypadkach będzie działał dokładnie tak samo. Jeśli przez przypadek, zgubisz ów przełącznik przed jego zamontowaniem, równie dobrze możesz zewrzeć dwa pola lutownicze, sąsiadujące ze sobą na pozycji opisanej jako ON (załączone). Wówczas lampka zmierzchowa będzie działała cały czas. Wyłączyć będziesz ją mógł chociażby przez wyciągnięcie jednej baterii z koszyczka.

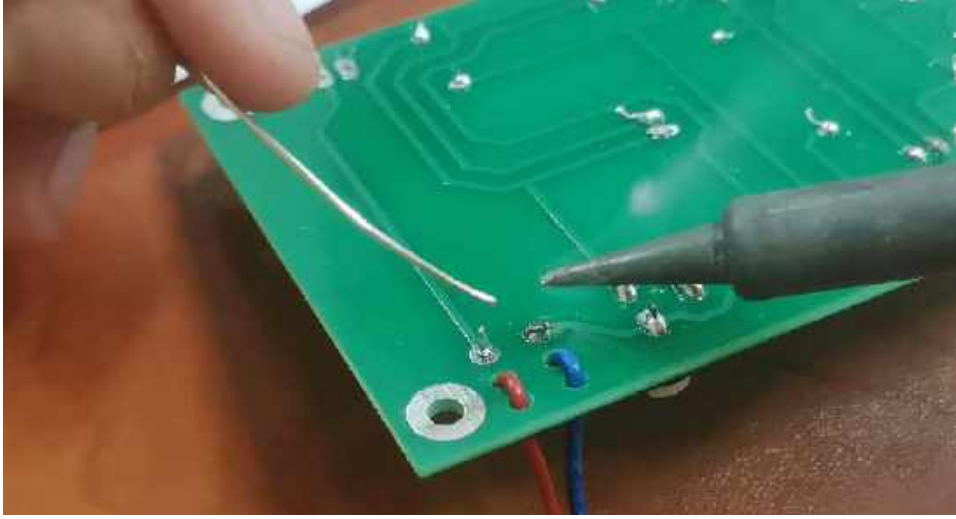
Do zamontowania został już tylko **koszyczek na baterie**. W elektronice przyjęło się oznaczać plus zasilania kolorem czerwonym. W taki sposób projektowane są również koszyczki na baterie. Dlatego też ich czerwony kabelek należy zamontować do otworu oznaczonego na płytce drukowanej jako „+", a drugi kabelek do otworu oznaczonego symbolem minusa „-".

Zanim jednak zabierzesz się za wkładanie kabelków w odpowiednie otwory na płytce drukowanej, upewnij się, że na ich końcach nie znajdziesz, jak zwykłem to nazywać, „efektu „miotły" (patrz **fotografia 7**), czyli wielu bardzo cienkich drucików, skierowanych każdy w innym kierunku. Aby takiemu stanowi zaradzić albo zapewnić, by nie zaistniał podczas wkładania kabelków do płytki, zakończenia każdego z kabelków należy umieścić pomiędzy dwoma palcami i skręcić (uzyskując efekt jak na **fotografii 8**) a następnie pocynować (**fotografia 9**).

Teraz już z powodzeniem przewleczesz odsłoniętą od izolacji i pocynowaną część

eprasa.pl e016f8d744

przewodów przez odpowiednie otwory. Zanim to jednak zrobisz, uważnie przyjrzyj się **fotografii 10**. Zauważ, że każdy z tych przewodów przewleczony został najpierw przez dwa dodatkowe otwory, pełniące funkcję trzymającą. Taki montaż znacząco zwiększy trwałość połączenia. Kabelek przylutowany bezpośrednio do pola lutowniczego bardzo szybko by się ułamał.



Fotografia 10. Sposób montażu kabelków baterii do płytki PCB

Uruchomienie zmontowanego układu

Przyszedł czas na uruchomienie układu. Zanim jednak włożysz do koszyczka baterie, upewnij się, że czerwony kabelek przylutowałeś do pola lutowniczego oznaczonego na płytce drukowanej jako „+" a czarny do pola z oznaczeniem „–". Odwrócenie polaryzacji zasilania zazwyczaj kończy się uszkodzeniem niektórych komponentów elektronicznych i koniecznością ich wymiany na nowe (a w zestawach do samodzielnego złożenia nie dołącza się zapasowych elementów, będzie trzeba je nabyć samodzielnie w sklepie elektronicznym). Dla pewności, spójrz raz jeszcze, czy wszystkie komponenty wymagające zachowania poprawnej polaryzacji zamontowane są we właściwym kierunku i zgodnie ze wskazówkami na warstwie opisowej płytki drukowanej. Po stronie lutowania upewnij się, czy wszystkie wyprowadzenia są przylutowane a ich połączenie ze ścieżkami jest stabilne. Upewnij się, że wszystkie połączenia są błyszczące i nie ma zimnych lutów, oraz, że żadne sąsiednie pola lutownicze nie są ze sobą połączone, na przykład za pomocą dużej kulki cyny.

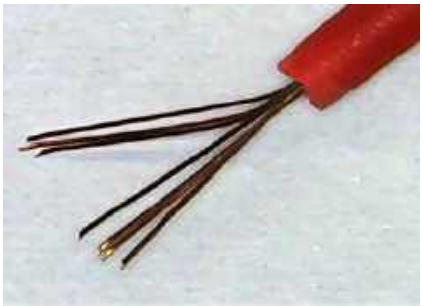
Poprawnie zmontowany układ powinien wyglądać tak jak na fotografiach poniżej.

Poprawnie zmontowana lampka zadziała od razu po włożeniu do koszyczka baterii oraz ustawieniu przełącznika SW1 w pozycji „ON". W jasnym pomieszczeniu lampka powinna zaświecać się po zakryciu dłonią fotorezystora PH1 a następnie gasić, po jego odsłonięciu, czyli po zapewnieniu dopływu światła do fotoelementu. Moment załączenia i wyłączenia diod LED (regulacja zmierzchu) ustawiamy regulując ostrożnie, za pomocą małego śrubokręta płaskiego, potencjometr PR1 w prawo lub w lewo.

Jeśli układ działa prawidłowo, ale któraś z diod LED nie świeci, należy sprawdzić, po pierwsze, czy te które nie świecą, zostały wlutowane zgodnie z polaryzacją, a jeśli okaże się inaczej, niepoprawnie zamontowane diody LED trzeba będzie wylutować, po wylutowaniu sprawdzić miernikiem (procedurę opisano wcześniej) i na koniec, wlutować poprawnie te, lub nowe.

Jeśli polaryzacja była prawidłowa, a mimo to, dioda LED dalej nie świeci, należy sprawdzić, czy jest przejście (miernik ustawiamy na pomiar ciągłości) pomiędzy każdą z nóżek diody a nogą innego, dołączonego do niej (za pomocą ścieżki na płytce drukowanej) komponentu.

Ponieważ do zestawu dołączona jest płytka z miedzią po jednej stronie (a więc bez metalizacji otworów) najczęstszą usterką będzie właśnie zerwanie padów (**fotografia 13**). Początkujący entuzjasta w takim przypadku nie wie, co się stało. Nie widzi zerwanych

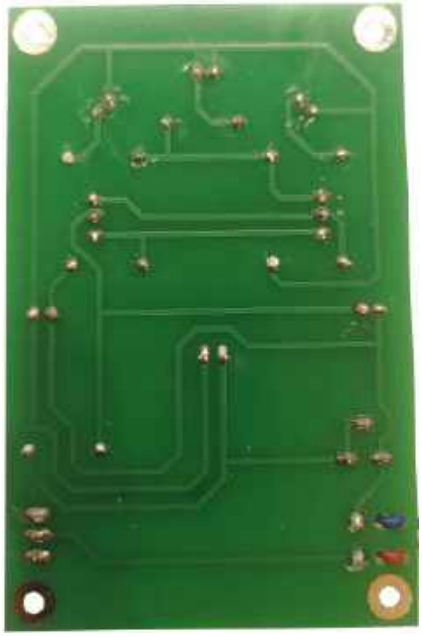


Fotografia 7. „Efekt miotły" polega na występowaniu na obszarze odsłoniętej izolacji, wielu bardzo cienkich drucików, skierowanych każdy w innym kierunku

Fotografia 8. Obszar odsłoniętej izolacji, po skręceniu wielu bardzo cienkich drucików

Fotografia 9. Obszar odsłoniętej izolacji, po pocynowaniu kabelków

Fotografia 11. Zmontowany układ, widok od strony komponentów



Fotografia 12. Zmontowany układ, widok od strony lutowania

eprasa.pl e016f8d744

padów. Frustruje się natomiast, że wyprowadzenie komponentu nie chce się przylutować. Nie chce, bo padów dawno już tam nie ma i (wyprowadzenie) nie ma do czego się przylutować.

W takim przypadku, trzeba będzie, na przykład za pomocą płaskiego śrubokręta, z wyczuciem i ostrożnością zeskrobać zieloną farbę (solder maskę) na długości około 3 mm ze ścieżki (lub ścieżek) sąsiadującej (sąsiadujących) z danym padem, która (które), przed zerwaniem padu miała (miały) z nim połączenie. Wspomniany odcinek ścieżki, już nie zielonej (bo pozbawionej solder maski) ale w kolorze gołej miedzi należy podgrzać za pomocą lutownicy a następnie pocynować (dosunąć do tej ścieżki odrobinę cyny i pozwolić jej się na tym fragmencie ścieżki rozpłynąć). Od tego momentu pocynowany fragment ścieżki przejmie funkcję padu (pola lutowniczego) w kierunku którego musimy teraz dogiąć resztę wyprowadzenia komponentu i przylutować. Być może wcale wyprowadzenia nie trzeba będzie w kierunku ścieżki doginać, a wystarczy zalać oderwany fragment padu z pocynowaną ścieżką, większą ilością cyny, uzyskując tym samym ponownie sprawne połączenie elektryczne.

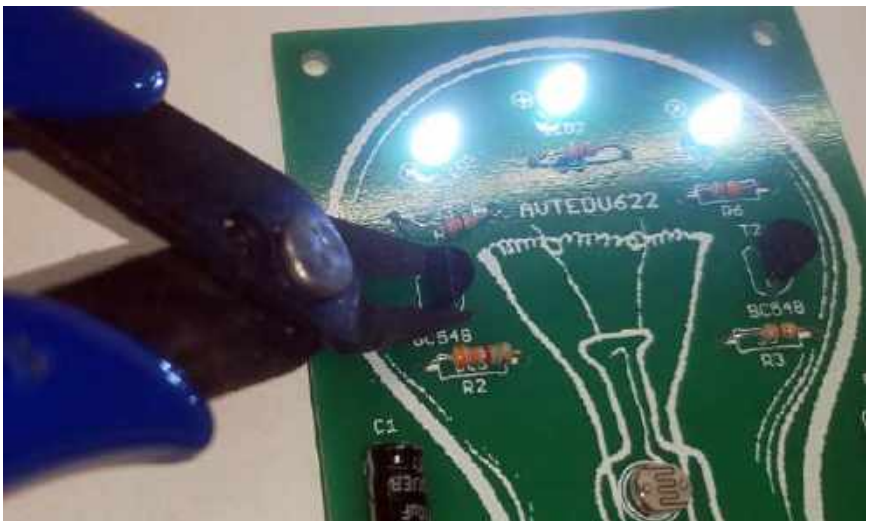
Jeśli jednak diody są sprawne, przylutowane we właściwym kierunku, połączenia lutowane nie budzą zastrzeżeń, a mimo powyższych czynności za pomocą potencjometru PR1 nie załączają się żadne diody LED, zewrzyj na chwilę (na przykład za pomocą metalowych obcinaczek) dwa zewnętrzne wyprowadzenia tranzystora T1 (kolektor z emiterem). Diody powinny się zaświecić (**fotografia 14**). Jeśli tak się nie stanie, usterki należy szukać gdzieś w gałęzi utworzonej z diod LED, rezystorów R4...R6, tranzystora T1, i rezystora R3.

A jeśli diody LED świecą cały czas, i mimo manewrów potencjometrem PR1 i oświetlania elementu PH1 silnym światłem nie chcą zgasnąć? Wtedy spróbuj zewrzeć skrajne wyprowadzenia drugiego tranzystora, czyli T2 (**fotografia 15**).

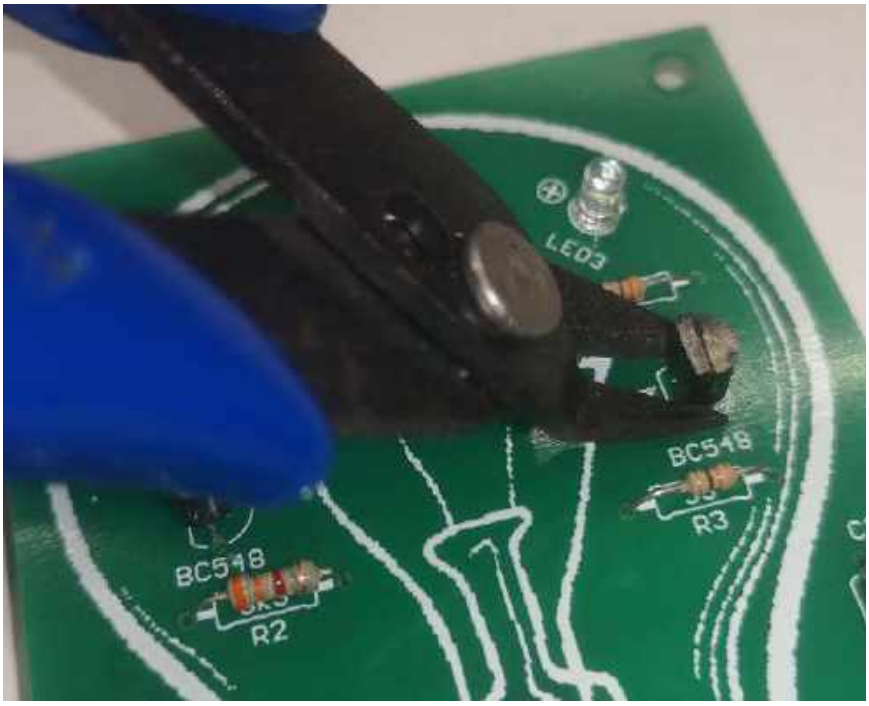
W ten sposób wymusimy niski potencjał na bazie T1 i diody powinny zgasnąć. Jeśli nie gasną, tranzystor T1 może być uszkodzony, lub wystąpiły jakieś nieprawidłowości w jego montażu. Jeśli jednak diody po zwarciu skrajnych wyprowadzeń T2 gasną, nieprawidłowości należy szukać w błędach montażowych, lub wadliwości samych komponentów PH1, PR1 oraz R1 i C1.

Zakładam, że wyśmienicie poradzisz sobie sam (lub z pomocą opiekuna) z montażem zmierzchowej lampki, a jej uruchomienie sprawi Ci wiele frajdy i satysfakcji. Jeśli układ

Fotografia 13. W środkowej części zdjęcia znajduje się element przewleczony przez otwory, wokół których brak jest pierścienia miedzi (zerwane pady)



Fotografia 14. Zwieranie skrajnych wyprowadzeń (kolektora i emitera) tranzystora T1 w celu zamknięcia obwodu z diodami LED



Fotografia 15. Zwieranie skrajnych wyprowadzeń (kolektora i emitera) tranzystora T2 w celu wymuszenia zatkania tranzystora T1 (i wyłączenia diod LED)

eprasa.pl e016f8d744

ruszy od razu, świetnie. Jeśli uruchomienie układu będzie wymagało usunięcia montażowych usterek, frajda może być jeszcze większa!

Jeśli z jakichś powodów wraz z opiekunem, mimo prób i starań nie dacie rady uruchomić układu, przypomnij sobie świetną informację organizacyjną, ze wstępu do dzisiejszego spotkania!

Zanim powstał ten tekst, moi Entuzjaści złożyli na zajęciach kilkanaście zestawów lampki zmierzchowej. Ty otrzymałeś w zestawie koszyk na baterie, trzy sztuki baterii R6 (AA) pewnie też masz gdzieś w zanadrzu. My na zajęciach (składając podobne zestawy w dużych ilościach, bo jest nas po prostu sporo) nie możemy sobie na taki komfort za każdym razem pozwolić (koszty materiałów na zajęcia byłyby nazbyt duże). Zamiast tego, korzystamy z zasilaczy wtyczkowych 12 V. Autorskie, budowane na potrzeby zajęć zestawy, zawsze wyposażam w klasyczne złącze typu barrel jack, oraz prosty układ stabilizacji napięcia (najczęściej oparty na układzie 7805 i kilku dyskretnych elementach towarzyszących). Składając zestawy cudzego autorstwa co prawda, nie mamy wpływu na ich projektowanie, ale czasem (tak jak w przypadku budowanej w tym spotkaniu lampki zmierzchowej) dostosowanie układu do zasilania wprost z 12 V jest bardzo proste. Wszystkie elementy układu bez problemu będą pracowały również przy napięciu 12 V (a nawet wyższym) trzeba jednak odpowiednio ograniczyć prąd płynący przez diody LED. Nie wnikając w tym momencie w szczegóły (tekst i tak nadto nam się rozciągnął) powiem tylko, po zamianie rezystorów o wartościach R3, R4, R5, R6 z 33 Ω na rezystory o wartościach 330 Ω, układ bez problemu można zasilać napięciem z zasilacza o stałym napięciu 12 V. Co ciekawe, przy takich wartościach świeci też całkiem nieźle przy zasilaniu z koszyczka z bateriami (a więc przy napięciu 4,5 V, bo tyle daje szeregowe połączenie ze sobą trzech baterii o napięciu 1,5 V każda).

Chcemy docenić aktywnych Juniorów!

Ponieważ chcemy docenić aktywność naszych najmłodszych Czytelników, dla **pierwszych trzech Juniorów**, którzy, na skutek pojawienia się cyklu EdW Junior rzeczywiście, pod nadzorem opiekuna złożyli i uruchomili swoje pierwsze urządzenie elektroniczne, przygotowaliśmy niespodziankę w postaci zestawów **AVTEDU**. By je otrzymać, prosimy o relację (zdjęcia plus krótki opis dotyczący wszystkich sukcesów i porażek, które miały miejsce podczas montażu), którą będziemy mogli opublikować na łamach naszego pisma w ramach cyklu EdW Junior. O przyznaniu takiego upominku zadecyduje kolejność zgłoszeń.

Poczta

Jeśli masz jakiekolwiek pytania dotyczące zagadnień przedstawionych w dzisiejszym spotkaniu (mało prawdopodobne, byś w całym tekście nie natrafił na ani jeden niejasny wątek lub termin) wyślij proszę wiadomość na adres Redakcji. Jeśli posługiwanie się lutownicą idzie Ci póki co lepiej niż pisanie listów, pytanie w Twoim imieniu może podesłać opiekun. Na każde z pytań postaramy się (w miarę możliwości) odpowiedzieć, a najciekawsze, z wielką chęcią opublikujemy.

Galeria

Dzisiaj żegnam Cię już, życząc sukcesów i przedniej zabawy podczas montażu układu lampki zmierzchowej. Jeśli chciałbyś podzielić się z nami i pochwalić kolegom, wynikiem swojej pracy, wyślij koniecznie na adres mailowy Redakcji dobrej jakości zdjęcia, zmontowanego przez siebie układu (zdjęcie od strony komponentów oraz zdjęcie od strony lutowania), podpisując się imieniem, nazwiskiem oraz nazwą miejscowości. W ramach elportalu, postaramy się stworzyć galerię on-line, w której będziemy regularnie zamieszczać fotografie Waszych prac.

Tymczasem zapraszam Cię na kolejne nasze spotkanie w ramach cyklu EdW Junior, już za miesiąc. Do zobaczenia! ■

Mariusz Ciszewski

REKLAMA

w prezencie na każdą okazję
przejrzysz i kupisz na **www.ulubionykiosk.pl**

eprasa.pl e016f8d744

Patronat!

Poniżej prezentujemy listę szkół biorących udział w programie PATRONAT AVT, który jest całkowicie bezpłatny, a szkoły objęte tym patronatem korzystają z różnych benefitów, takich jak bezpłatne prenumeraty, darmowe pakiety próbne kitów AVT, itp. Szkoły, które dopiero teraz dowiadują się o naszej akcji PATRONAT AVT, prosimy o przeczytanie listu w EdW 09/2022 (wydanie dostępne na www.ulubionykiosk.pl) i zgłoszenie akcesu do PATRONATU AVT. Zgłoszenia prosimy wysyłać na adres: prenumerata@avt.pl.

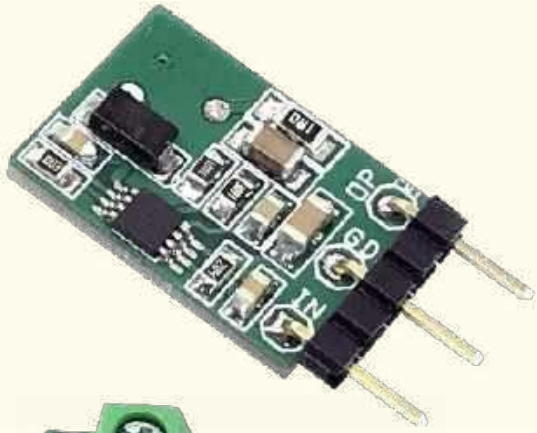
- Centrum Edukacji Zawodowej, 82-200 Malbork, De Gaulle'a 75a
- Centrum Edukacji Zawodowej i Biznesu, 66-400 Gorzów Wielkopolski, Pomorska 67
- Gminny Zespół Szkolno-Przedszkolny nr 4 w Więckach, 42-110 Popów, Więcki, Szkolna 1
- Górnośląskie Centrum Edukacyjne im. Marii Skłodowskiej-Curie w Gliwicach, 44-100 Gliwice, Okrzei 20
- Noworudzka Szkoła Techniczna w Nowej Rudzie, 57-401 Nowa Ruda, Stara Droga 4
- Regionalne Centrum Edukacji Zawodowej w Biłgoraju, 23-400 Biłgoraj, Kościuszki 98
- Regionalne Centrum Edukacji Zawodowej w Lubartowie, 21-100 Lubartów, 1 Maja 82
- Technikum nr 4 im. Marii Skłodowskiej-Curie, 41-902 Bytom, Katowicka 35
- Zespół Placówek Edukacyjno-Wychowawczych w Gołdapi, 19-500 Gołdap, Wojska Polskiego 18
- Zespół Placówek Oświatowych w Rudniku, 32-440 Sułkowice, Rudnik, Szkolna 55
- Zespół Szkolno-Przedszkolny nr 2 w Wiśle, 43-460 Wisła, Malinka 53
- Zespół Szkolno-Przedszkolny nr 3 w Gliwicach, 44-122 Gliwice, Żwirki i Wigury 85
- Zespół Szkolno-Przedszkolny nr 4 w Rybniku, 44-207 Rybnik, Komisji Edukacji Narodowej 29
- Zespół Szkolno-Przedszkolny w Choceniu, 87-850 Choceń, Sikorskiego 12
- Zespół Szkolno-Przedszkolny w Ostrożnicy, 47-280 Pawłowiczki, Ostrożnica, Kościelna 42
- Zespół Szkół Budowlano-Elektrycznych im. Jana III Sobieskiego w Świdnicy, 58-100 Świdnica Śląska, Wałbrzyska 35-37
- Zespół Szkół Centrum Kształcenia Ustawicznego w Gronowie, 87-162 Lubicz Dolny, Gronowo 128
- Zespół Szkół Elektronicznych i Telekomunikacyjnych w Olsztynie, 10-144 Olsztyn, Bałtycka 37a
- Zespół Szkół Elektronicznych im. I. Domeyki w Bolesławcu, 59-700 Bolesławiec, Tyrankiewiczów 2
- Zespół Szkół Elektronicznych w Rzeszowie, 35-078 Rzeszów, Hetmańska 120
- Zespół Szkół Elektronicznych, Elektrycznych i Mechanicznych, 43-300 Bielsko-Biała, Słowackiego 24
- Zespół Szkół Elektrycznych nr 2 w Krakowie, 31-977 Kraków, Os. Szkolne 26
- Zespół Szkół Elektrycznych w Kielcach, 25-317 Kielce, Kaczorowskiego 8
- Zespół Szkół im. Bolesława Prusa, 42-207 Częstochowa, Prusa 20
- Zespół Szkół im. ks. dra Jana Zwierza w Ropczycach, 39-100 Ropczyce, Mickiewicza 14
- Zespół Szkół im. Ks. Stanisława Staszica, 39-400 Tarnobrzeg, Kopernika 1
- Zespół Szkół nr 1 w Przysietnicy, 36-200 Brzozów, Przysietnica 198
- Zespół Szkół nr 10 im. Prof. Janusza Groszkowskiego w Zabrzu, 41-807 Zabrze, Chopina 26
- Techniczne Zakłady Naukowe w Dąbrowie Górniczej, 41-300 Dąbrowa Górnicza, Zawidzkiej 10
- Zespół Szkół nr 2 im. Eugeniusza Kwiatkowskiego w Dębicy, 39-200 Dębica, Lisa 2
- Zespół Szkół nr 2 im. Gen. Józefa Bema, 05-822 Milanówek, Wójtowska 3
- Zespół Szkół nr 2 im. Ks. Prof. Józefa Tischnera w Żorach, 44-240 Żory, Boryńska 2
- Zespół Szkół nr 2 w Pabianicach im. prof. Janusza Groszkowskiego, 95-200 Pabianice, św. Jana 27
- Zespół Szkół nr 4 w Nowym Sączu, 33-300 Nowy Sącz, Św. Ducha 6
- Zespół Szkół nr 40 im. Stefana Starzyńskiego, 03-771 Warszawa, Objazdowa 3
- Zespół Szkół Politechnicznych im. Bohaterów Monte Cassino we Wrześni, 62-300 Września, Wojska Polskiego 1
- Zespół Szkół Ponadgimnazjalnych nr 1 w Jarocinie, 63-200 Jarocin, Franciszkańska 1
- Zespół Szkół Ponadpodstawowych nr 2 im. E. Kwiatkowskiego w Jarocinie, 63-200 Jarocin, Franciszkańska 2
- Zespół Szkół Ponadpodstawowych nr 3 im. Armii Krajowej w Zamościu, 22-400 Zamość, Zamoyskiego 62
- Zespół Szkół Powiatowych im. Stanisława Staszica w Opocznie, 26-300 Opoczno, Kossaka 1a
- Zespół Szkół Publicznych w Szewnie, 27-400 Ostrowiec Świętokrzyski, Szewna, Langiewicza 3
- Zespół Szkół Spożywczych i Hotelarskich w Radomiu, 26-600 Radom, św. Brata Alberta 1
- Zespół Szkół Techniczno-Informatycznych w Elblągu, 82-300 Elbląg, Rycerska 2
- Zespół Szkół Technicznych i Licealnych w Piechowicach, 58-573 Piechowice, Przemysłowa 21
- Zespół Szkół Technicznych i Ogólnokształcących nr 3 im. E.Abramowskiego, 40-659 Katowice, Harcerzy Września 1939 2
- Zespół Szkół Technicznych im. Armii Krajowej w Skarżysku-Kamiennej, 26-110 Skarżysko-Kamienna, Tysiąclecia 22
- Zespół Szkół Technicznych im. Ignacego Mościckiego w Tarnowie, 33-101 Tarnów, E. Kwiatkowskiego 17
- Zespół Szkół Technicznych w Kolbuszowej, 36-100 Kolbuszowa, Bytnara 2
- Zespół Szkół w Błażowej, 36-030 Błażowa, Kowala 3
- Zespół Szkół w Gościnie, 78-120 Gościno, Kościuszki 5
- Zespół Szkół w Zarzeczu, 37-205 Zarzecze, św. Jana Pawła II 7
- Zespół Szkół Zawodowych nr 1 im. gen. F. Kleeberga w Dęblinie, 08-530 Dęblin, Tysiąclecia 3
- Zespół Szkół Samochodowych im. inż. Tadeusza Tańskiego, 33-300 Nowy Sącz, Rejtana 18a
- Szkoła Podstawowa im. Rodzimych Bohaterów II Wojny Światowej w Załakowie, 83-342 Kamienica Królewska, Załakowo 6

eprasa.pl e016f8d744

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.

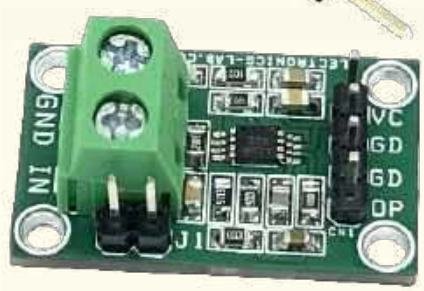
Przetwornica DC-DC buck 12...75 V na 10 V na wyjściu

Jest to wszechstronny synchroniczny konwerter Buck DC/DC zbudowany przy użyciu układu LM5007. Działa z zakresem napięcia wejściowego od 12 V do 75 V_{DC} i zapewnia wyjście 10 V/250 mA. Regulator może zapewnić prąd obciążenia do 400 mA, ale zaleca się pobieranie tylko 250 mA ze względu na małą powierzchnię termiczną (mała płytka drukowana). Domyślne wyjście konwertera jest ustawione na 10 V_{DC}. Wyjście można regulować poprzez zmianę wartości rezystorów sprzężenia zwrotnego R1 i R4. Więcej informacji można znaleźć w arkuszu danych układu LM5007.



Czujnik prądu low-side 10 µA...10 mA

To jednozasilaczowe, niskoprądowe rozwiązanie dokładnie wykrywa prąd obciążenia w zakresie od 10 µA do 10 mA. Unikalny, ale prosty obwód przełączania wzmocnienia został zaimplementowany w celu dokładnego pomiaru trzydekadowego zakresu prądu obciążenia. Liniowy zakres wyjściowy wynosi od 100 mV do 4,90 V. Zastosowano wzmacniacz instrumentalny INA326, ponieważ pożądane jest wykrywanie po stronie niskiej, gdyż napięcie w trybie wspólnym znajduje się blisko ziemi. W związku z tym rozwiązanie do wykrywania prądu jest niezależne od napięcia magistrali, co pozwala na użycie wzmacniaczy wejściowych/wyjściowych typu rail-to-rail (RRIO) z pojedynczym zasilaniem. Niskoprądowe wykrywanie prądu umieszcza rezystor bocznikowy między obciążeniem systemu a masą. Prąd pobierany przez obciążenie generuje napięcie na rezystorze bocznikowym. Napięcie wyjściowe obwodu jest równe natężeniu prądu na rezystorze bocznikowym i wzmocnieniu wzmacniacza. Rezystor o wysokiej wartości jest używany jako bocznik do dokładnego wykrywania prądu. Zaleca się stosowanie rezystora bocznikowego R2 o tolerancji 0,1%.



Niektóre projekty aktualnie dostępne tylko dla prenumeratorów EdW w rubryce DIY PLUS na www.elportal.pl:

1. Kontroler ramienia robota z bezprzewodowym pilotem PS3
2. Termiczny czujnik masowego przepływu powietrza – anemometr stałotemperaturowy
3. Precyzyjny wzmacniacz transimpedancyjny z przełączanym integratorem
4. Kontroler pełnego mostka z przesunięciem fazowym i prostowaniem synchronicznym wykorzystujący UCC28950
5. Wysokowydajny monofoniczny wzmacniacz audio klasy D o mocy 20 W
6. Monitorowanie poziomu cieczy za pomocą czujnika ciśnienia – wyświetlacz słupkowy
7. Sterowanie silnikiem DC za pomocą joysticka
8. 16-kanałowy sterownik serwomechanizmów RC z interfejsem I²C
9. Programowalny kondycjoner sygnału z czujnika rezystancyjnego mostkowego
10. 20-segmentowy wyświetlacz słupkowy w rozmiarze jumbo
11. Stacja pogodowa lilygo ttgo t5-4.7 z wyświetlaczem typu e-papier
12. Półprzewodnikowy przekaźnik mocy DC z prądowym sprzężeniem zwrotnym
13. Wyłącznik nadprądowy – przekaźnik wyłączający nadprądowy
14. Choinka z Arduino i pikselowymi diodami
15. Uniwersalny konwerter napięcia AC – wyjście 18 V DC z wejścia 85...265 V AC
16. Moduł procesora echa głosu – urządzenie opóźniające do efektów dźwiękowych, echo, reverb
17. Najlepszy sposób na próbkowanie dźwięku za pomocą ESP32
18. Sterownik silnika krokowego z joystickiem
19. RPi – stacja pogodowa IoT
20. Niskobudżetowy monitor jakości powietrza IoT oparty o RaspberryPi 4
21. Automatyczny system ogrodniczy z NodeMCU i Blynk, ArduFarmBot 2
22. TinyML – Rozpoznawanie ruchu przy pomocy RPi Pico
23. Wzmacniacz piezoelektryczny do gitary i skrzypiec
24. Wysokowydajny i niezawodny sterownik bipolarnego silnika krokowego
25. Sonarowy theremin MIDI
26. Sterownik silnika prądu stałego z wykorzystaniem przekaźnika i mosfetu – interfejs Arduino
27. Przedwzmacniacz do mikrofonu MEMS
28. Super prosty czuły wykrywacz metali
29. Stymulator czaszkowy Arduino (Bio-BrainTuner)
30. Generator sygnałów AD9833
31. Obserwacja charakterystyk tranzystora
32. Wyświetlacz EKG z użyciem Arduino
33. Łatwy do zbudowania robot kroczący
34. Zamek elektroniczny na kod
35. Prosty tester tranzystorów
36. Zegar binarny z użyciem Microbit
37. Izolowany obwód wykrywania napięcia 250 V AC z pojedynczym wyjściem (wejście 250 V prądu przemiennego, wyjście 5 V)

Miesięcznik „**Elektronika dla Wszystkich**”
(12 numerów w roku) jest wydawany we współpracy z kilkoma redakcjami zagranicznymi

Wydawnictwo:
AVT-Korporacja Sp. z o.o.
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
tel. 22 257 84 99, e-mail: avt@avt.pl

Wydawca:
Wiesław Marciniak

Redaktor naczelny:
Mariusz Ciszewski
mariusz.ciszewski@elportal.pl

Adres redakcji:
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
e-mail: edw@elportal.pl, www.elportal.pl

Redaktor merytoryczny:
Paweł Sujko

Dział reklamy:
Katarzyna Gugała
katarzyna.gugala@elportal.pl, tel. 22 257 84 64

Szef Pracowni Konstrukcyjnej:
Jakub Sobański
jakub.sobanski@elportal.pl

Sekretarz redakcji:
Dariusz Welik
dariusz.welik@elportal.pl

DTP, okładka,
Redakcja strony internetowej www.elportal.pl:
MAD Sp. z o.o.

Prenumerata:
W Wydawnictwie AVT, e-mail: prenumerata@avt.pl
tel. 22 257 84 22, (godz. 10:00–14:00)
www.ulubionykiosk.pl

W RUCH S.A., e-mail: prenumerata@ruch.com.pl
tel. 801 800 803, 22 717 59 59, www.prenumerata.ruch.com.pl

Copyright AVT-Korporacja Sp. z o.o., Warszawa, ul. Leszczynowa 11. Projekty publikowane w „Elektronice dla Wszystkich” mogą być wykorzystywane wyłącznie do własnych potrzeb. Korzystanie z tych projektów do innych celów, zwłaszcza do działalności zarobkowej, wymaga zgody redakcji „Elektroniki dla Wszystkich”. Przedruk oraz umieszczanie na stronach internetowych całości lub fragmentów publikacji zamieszczanych w „Elektronice dla Wszystkich” jest dozwolone wyłącznie po uzyskaniu pisemnej zgody redakcji. Redakcja nie odpowiada za treść reklam i ogłoszeń zamieszczanych w „Elektronice dla Wszystkich”.

eprasa.pl e016f8d744

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 e016f8d744