Edukacja w EdW dla szkół i uczelni:
Wykład 33 – Ochrona przed skutkami wyładowań atmosferycznych

JUNIOR

strona 78

ELEKTRONIKA dla wszystkich

nr 9/2025 (356) • wrzesień • www.elportal.pl

DIY PLUS tylko dla prenumeratorów

PROJEKTY dla elektroników

- Wzmacniacz monofoniczny klasy D o mocy 1 kW+, część 1
- Idealne mostki prostownicze
- Aktywny „miękki start" do obciążeń sieciowych, część 1
- Dwukanałowy zasilacz do płytek stykowych, część 2. Moduł wyświetlacza

DIY dla wszystkich

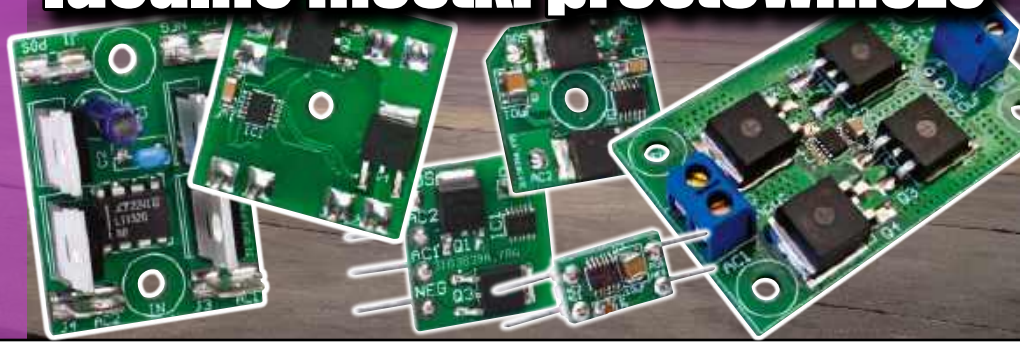
- System antykolizyjny dla pojazdów, część 1
- Wszczepialne chipy do identyfikacji i śledzenia zwierząt, część 1

TUTORIALE

- Historia rozwoju pamięci komputerowych, epoka krzemu
- Ekscytacje Maxa: Migające diody LED i śliniący się inżynierowie, część 24
- Audio Out Transformatory wyjściowe audio, część 4

Wzmacniacz mono klasy D o mocy 1 kW+

Idealne mostki prostownicze



ISSN 1425-1698 Indeks 33362X
9 771425 169252 09
18,90 zł (w tym 8% VAT)

Pomocna dłoń

automatykaB2B.pl

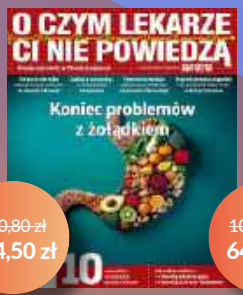
EP.com.pl
Największy portal dla elektroników konstruktorów

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

eprasa.pl 39e0ebb5e6

Prenumerata

Rodzina i zdrowie



~~190,80 zł~~ 114,50 zł

~~107,40 zł~~ 64,50 zł

~~179,00 zł~~ 107,40 zł

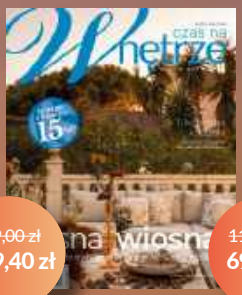
Jesienna promocja

–40%

na wszystkie prenumeraty

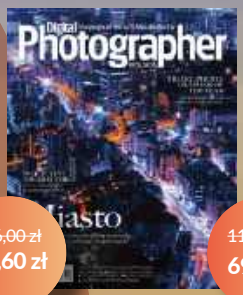
Dom, wnętrza

~~152,10 zł~~ 91,30 zł



~~199,00 zł~~ 119,40 zł

Fotografia



~~116,00 zł~~ 69,60 zł

~~116,00 zł~~ 69,60 zł

Zaprenumeruj wybrane czasopisma z **rabatem aż 40%!**

Promocja jesienna dotyczy rocznych prenumerat drukowanych. Zamów prenumeratę na www.UlubionyKiosk.pl/prenumerata lub poprzez dokonanie przelewu na konto:
AVT-Korporacja sp. z o.o., ul. Leszczynowa 11, 03-197 Warszawa, ING BANK ŚLĄSKI 18 1050 1012 1000 0024 3173 1013
(w tytule wpłaty podaj nazwę czasopisma)

Muzyka i nowe technologie

~~220,00 zł~~ 132,00 zł

~~152,90 zł~~ 91,70 zł

~~178,80 zł~~ 107,30 zł

Masz opłaconą bieżącą prenumeratę? Już teraz przedłuż ją z rabatem 40%.
Promocja trwa do 30.11.2025 i nie łączy się z innymi promocjami Wydawnictwa AVT. Koszt wysyłki na terenie kraju ponosi wydawnictwo.

E-mail: prenumerata@avt.pl
Telefon: 22 257 84 22 (pn.-pt. 10.00–14.00)

Elektronika i automatyka

~~226,80 zł~~ 136,10 zł

~~226,80 zł~~ 136,10 zł

~~180,00 zł~~ 108,00 zł

~~179,10 zł~~ 107,50 zł

~~89,40 zł~~ 53,60 zł

eprasa.pl 39e0ebb5e6

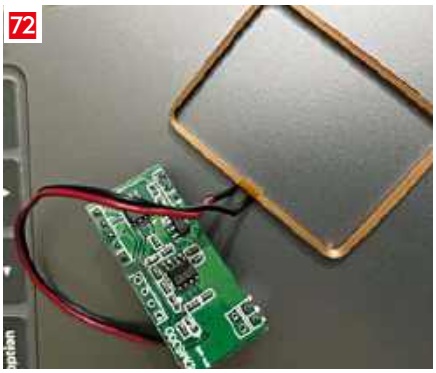
KOCHAM SZACHY

Niezwykłe kompendium dla miłośników szachów Dzieło 10 lat publikacji charyzmatycznego Autora dr. inż. Jana Sobótki w kultowej rubryce „Młodego Technika”

przejrzyj i kup na
https://ulubionykiosk.pl/promocje/16925-kocham-szachy

ELEKTRONIKA dla wszystkich

Wrzesień 2025 • 9 (356)



Projekty dla elektroników:

Wzmacniacz monofoniczny klasy D o mocy 1 kW+, część 1 8

Idealne mostki prostownicze 16

Aktywny „miękki start” do obciążeń sieciowych, część 1 24

Dwukanałowy zasilacz do płytek stykowych, część 2.

Moduł wyświetlacza 34

Tutoriale:

Audio OUT: Transformatory w elektroakustyce, część 4 41

Ekscytacje Maxa:

Migające diody LED i śliniący się inżynierowie, część 24 51

Edukacja w EdW dla szkół i uczelni:

Wykład 33 – Ochrona przed skutkami wyładowań atmosferycznych 55

Historia rozwoju pamięci komputerowych, epoka krzemu 63

DIY dla wszystkich:

Wszczepialne chipy do identyfikacji i śledzenia zwierząt, część 1 72

System antykolizyjny do pojazdów, część 1 75

Elektronika dla Wszystkich – Junior:

Piętnaste spotkanie z najmłodszymi pasjonatami elektroniki 78

Na zdjęciu na okładce Oliwia – Młodzi Entuzjaści Elektroniki, Zagroda Cudów, Trójca

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

Inklinometr z 17-segmentowym wyświetlaczem słupkowym 90

Izolowany repeater USB – USB 2.0 90

Rubryki stałe:

Prenumerata 3

Od redakcji 5

Poczta 6

eprasa.pl 39e0ebb5e6

A za miesiąc w październikowym EdW

Szwajcarski scyzoryk elektronika
Ten rozbudowany projekt łączy w sobie miernik napięcia, częstotliwości, analizator protokołów, tester sygnałów i wiele innych funkcji w jednym urządzeniu. Oparty na STM32 i kolorowym wyświetlaczu TFT, pozwala łatwo analizować i diagnozować różne układy elektroniczne. Dzięki zaawansowanemu oprogramowaniu, modularnej konstrukcji i możliwości rozbudowy staje się prawdziwym centrum pomiarowym. Idealny zarówno do eksperymentów, jak i codziennego użytku w warsztacie.

Zaawansowana pinceta pomiarowa do SMD, część 1
Prawdziwy multitool elektronika w formie poręcznej pincety! Nowa wersja łączy klasyczne pomiary elementów SMD z oscyloskopem, analizatorem UART i generatorem sygnału. W pierwszej części – opis działania, schemat i lista elementów potrzebnych do budowy pincety.

Monofoniczny wzmacniacz klasy D o mocy ponad 1 kW, część 2
Kompletny opis montażu wzmacniacza na bazie gotowego modułu IRAUDAMP9 od International Rectifier – od przygotowania obudowy, przez okablowanie, aż po testy. Autor pokazuje, jak zbudować zasilanie z sześciu zasilaczy impulsowych i bezpiecznie połączyć wszystko w poręcznej skrzynce narzędziowej. Praktyczne porady dotyczące chłodzenia, zabezpieczeń i uruchamiania ułatwią budowę nawet mniej doświadczonym. Gotowy wzmacniacz nie tylko imponuje mocą, ale też zaskakuje mobilnością.

Aktywny układ miękkiego startu, część 2
Szczegółowy opis montażu i kalibracji kompaktowego układu, który chroni źródła i obciążenia przed udarami prądowymi. Dzięki połączeniu NTC i tranzystora MOSFET uzyskano regulowany czas łagodnego rozruchu – bez przegrzewania i strat mocy. Przekaźnik przełącza obciążenie dopiero po zakończeniu łagodnego startu, co zapewnia wysoką trwałość i niezawodność. To praktyczne rozwiązanie do elektronarzędzi, sprzętu Hi-Fi i wszelkich urządzeń o dużym poborze prądu.

Wartościowe Tutoriale

Projekty DIY

Juniorzy EdW złożą kolejny zestaw z serii AVTEDU

W kioskach od 29 września

Wrzesień z EdW i elektronika z alpaką w tle

Wrzesień to czas powrotów – do szkoły, na uczelnię, do pracy po wakacyjnym wytchnieniu. To także doskonały moment, by – zainspirowani wakacyjnym oddechem – sięgając po lutownicę, stawić czoła nowym wyzwaniom. Jak mawia znane powiedzenie: Wszędzie dobrze, ale w domu najlepiej – zwłaszcza w ulubionym fotelu i z najlepszym czasopismem – „Elektroniką dla Wszystkich", rzecz jasna – w dłoni.

W tym miesiącu rozpoczynamy od **dwukanałowego zasilacza do płytek stykowych**, w którym tym razem przyjrzymy się modułowi wyświetlacza. To praktyczne rozszerzenie pozwala w jednym rzucie oka kontrolować napięcie, prąd i moc strat dla obu kanałów. Dzięki dodatkowym wejściom pomiarowym i alarmom bezpieczeństwo eksperymentów rośnie, a cały zestaw pozostaje nadal kompaktowy i wygodny w codziennym użyciu.

Miłośników dużych mocy ucieszy **monofoniczny wzmacniacz klasy D o mocy ponad 1 kW**. Konstrukcja bazuje na gotowym module IRAUDAMP9 oraz sześciu zasilaczach impulsowych. W efekcie powstaje potężny wzmacniacz, który mieści się… w metalowej skrzynce narzędziowej. To świetna propozycja dla osób szukających wydajnego i niedrogiego rozwiązania do nagłośnienia, subwooferów czy instrumentów muzycznych, w skali estradowej i dużych wydarzeń publicznych.

Kolejnym praktycznym tematem jest **aktywny układ miękkiego startu**. To odpowiedź na problem udarów prądowych przy włączaniu do sieci energetycznej dużych obciążeń. W odróżnieniu od typowych rozwiązań opartych na NTC, tutaj kluczową rolę odgrywa przekaźnik i układ opóźnienia, co gwarantuje niezawodność i długowieczność.

Dla tych, którzy poszukują większej sprawności energetycznej, przygotowaliśmy opis **idealnego mostka prostowniczego** opartego na tranzystorach MOSFET. To rozwiązanie eliminuje straty typowe dla klasycznych mostków Graetza i otwiera drogę do bardziej efektywnych zasilaczy, szczególnie przy niższych napięciach wejściowych.

Miłośników wysokiej jakości brzmienia zapraszamy do lektury **czwartej części cyklu o transformatorach audio**. Znajdziecie tu przegląd najpopularniejszych konstrukcji – od skromnych, historycznych egzemplarzy z epoki germanowych tranzystorów, aż po legendarne, topowe transformatory Jensen i Sowter. To materiał zarówno dla pasjonatów Hi-Fi, jak i konstruktorów studyjnych urządzeń.

Na chwilę odchodzimy od elektroniki praktycznej, by spojrzeć wstecz na **historię pamięci komputerowych**. Tym razem poznajemy lata krzemu – od DRAM-ów i SRAM-ów po pamięci flash, które na zawsze zmieniły oblicze elektroniki mobilnej. To opowieść o przełomach technologicznych i ludziach, którzy je współtworzyli.

Kontynuujemy również tematykę ochrony – po mikroświatku ESD z poprzedniego numeru, czas na skalę makro: **wyładowania atmosferyczne**. Jeden piorun potrafi zniszczyć sprzęt wart tysiące złotych – dlatego warto wiedzieć, jak powstają przepięcia i jak skutecznie chronić swoją elektronikę.

Nie zabrakło także inspiracji z pogranicza elektroniki i nowych technologii. Prezentujemy **system antykolizyjny dla pojazdów** oparty na lidarze i Raspberry Pi – pierwszy krok do własnego ADAS. Z kolei w artykule o **implantowanych chipach RFID** pokazujemy, jak technika identyfikacji radiowej wspiera ochronę i badania zwierząt.

Na deser – coś lżejszego. W relacji z „redaktorskich wakacji" opowiadamy o spotkaniu Młodych Entuzjastów Elektroniki w Zagrodzie CUDów. Było i lutowanie Minipianina na NE555, i spacery z alpakami, i wspólne pieczenie pizzy. Nauka i zabawa w najlepszym wydaniu!

Wrześniowy numer EdW to solidna porcja praktycznej wiedzy, inspiracji i rozrywki. Zapraszamy do lektury – i do własnych eksperymentów, bo jak zawsze najwięcej radości daje elektronika, którą zbudujecie sami.

Mariusz Ciszewski

eprasa.pl 39e0ebb5e6

Poczta

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

Podczas wakacji na naszą redakcyjną skrzynkę mailową trafiło – jakże by inaczej – kilka relacji z wakacyjnych wojaży i towarzyszących im przygód, nierzadko pełnych emocji. Cieszy nas ogromnie, że nawet w czasie urlopów myślami jesteście z nami. Choć te listy nie wymagają komentarza, z pewnością warto podzielić się nimi z Czytelnikami.

Nawigacja ostatniej szansy...

Szanowna Redakcjo,

tegoroczne wakacje nauczyły mnie, że czasem największe emocje przeżywa się nie na górskim szlaku, a… trzymając w rękach telefon komórkowy.

Wracając z urlopu w Niemczech, nagle odkryłem, że mój smartfon nie chce się ładować. W aucie podłączyłem go do ładowarki – cisza. Zmieniłem kabel – to samo. Trzeci kabel? Również żadnej reakcji. Każdy przewód wpinał się jakby „na pół gwizdka", delikatnie wypadał ze złącza USB-C, a telefon uparcie pokazywał 6% baterii.

Pierwsza myśl – katastrofa. „Ułamało się gniazdo, telefon do serwisu". Problem w tym, że byłem kilkaset kilometrów od domu, w obcym kraju, a mapy Google były moim jedynym przewodnikiem. Dramaturgii sytuacji dodawał fakt, że właśnie zmierzchało, a perspektywa pozostania w obcym miejscu, po ciemku, bez nawigacji i kontaktu naprawdę przyprawiła mnie o zimny pot.

Na postoju, z duszą na ramieniu, wziąłem telefon pod światło i… zobaczyłem potencjalnego winowajcę. W gnieździe USB-C siedziała zbita gruda kurzu i paprochów z kieszeni. Kabel nie wchodził do końca, więc styki nie łączyły.

Na szczęście w schowku miałem wykałaczkę, która – choć na co dzień służy mi do czegoś bardziej przyziemnego – teraz okazała się idealnym narzędziem serwisowym.

I faktycznie, cierpliwie i bez pośpiechu, starając się zachować największą ostrożność, wydłubałem z gniazda kłębek zbitego kurzu. Nic dziwnego, że kable z czasem coraz łatwiej same z siebie wypadały. Dla pewności wydmuchałem resztki paprochów.

Kiedy podłączyłem kabel ponownie – klik! – wreszcie usiadł na swoje miejsce, a na ekranie pojawiła się upragniona ikona ładowania. Kamień spadł mi z serca. Telefon odzyskał życie, a ja mogłem spokojnie wrócić do domu, prowadzony przez nawigację.

Przyznaję, najadłem się strachu. Ale ta przygoda pokazała mi, że czasem problem nie tkwi w „złamanym gnieździe" czy elektronice, tylko w tak prozaicznej rzeczy jak kurz w porcie ładowania.

Może moja historia oszczędzi innym wakacyjnych nerwów. Bo czasem wystarczy wykałaczka i odrobina cierpliwości, żeby uratować urlop.

Pozdrawiam serdecznie,

Michał z Warszawy

Tata i syn na męskim wypadzie

Droga Redakcjo, nie uwierzycie co nam się przytrafiło!

Otóż mamy taki rodzinny zwyczaj, że każdego roku staram się wybrać w krótką wakacyjną przygodę sam na sam z synem. Mamy wtedy szansę budować nasze relacje w bardziej wartościowy sposób, niż ma to miejsce na co dzień, a i żona podchodzi do tego z niemałym zadowoleniem – wręcz z lekkim uśmiechem nas na te wypady „wygania", ciesząc się własną chwilą wolności. W tym roku wakacje spędziłem z synem na męskim wyjeździe do Czech, nad malownicze jezioro Rozkos. To miał być nasz tydzień – tylko dla nas dwóch, z namiotem, ogniskiem i pełną wakacyjną swobodą. I był! Full chillout, pełen śmiechu oraz małych i wielkich przygód, które zapamiętamy na długo.

Już pierwszego dnia mój syn znalazł sobie kolegę – czeskiego chłopca z sąsiedniego namiotu. Nie rozumieli ani słowa ze swoich języków, ale bawili się razem jak najlepsi kumple. Zbudowali własny świat, w którym zamiast zdań były gesty, śmiech i gonitwy od rana do wieczora. Patrzyłem na to z zachwytem – bariera językowa, która tak często przeszkadza dorosłym, dla dzieci po prostu nie istnieje.

Wieczorami, gdy już się zmierzchało, siadaliśmy pod namiotem i oglądaliśmy filmy na laptopie. Zasilanie braliśmy z samochodowego akumulatora. Śmialiśmy się, komentowaliśmy, czasem zasypialiśmy w połowie seansu. To były takie nasze małe wakacyjne rytuały.

Ostatnia noc okazała się najtrudniejsza, ale i najbardziej zabawna i zwariowana. Nadeszło oberwanie chmury. Przez pierwsze godziny trzymaliśmy się dzielnie, bo spaliśmy na dmuchanych materacach. Ale gdy szczyt namiotu zaczął się uginać i zbierać wodę, a krople zaczęły kapać prosto na środek materaca, ratowaliśmy się jak mogliśmy. W końcu podstawiliśmy turystyczną lodówkę, żeby zbierała przeciekającą wodę. Całą noc na zmianę sprawdzaliśmy, czy namiot wytrzyma.

Nad ranem, gdy deszcz na chwilę ustał, szybko spakowaliśmy mokre rzeczy do auta. Zmęczeni, ale dumni, że daliśmy radę. Spojrzałem na syna i mrugnąłem: „No to w drogę". On uśmiechnął się szeroko i odpowiedział: „Uratowani!".

Przekręciłem kluczyk. Cisza. Ani drgnie. Spojrzeliśmy na siebie i niemal równocześnie powiedzieliśmy:

– Akumulator…

Nie było wyjścia. Pobiegłem po polu namiotowym szukać pomocy, tłumacząc się na migi, które czasem okazywały się bardziej skuteczne, niż łamany polsko-czeski, czy nawet doborowy język angielski. W końcu znalazł się życzliwy Czech, który przyniósł kable i pomógł nam odpalić auto. Po chwili alternator podładował akumulator i mogliśmy ruszyć w stronę domu.

Śmialiśmy się później, że los zostawił największą przygodę na sam koniec wyjazdu – jakby chciał sprawdzić, czy naprawdę damy razem radę. I daliśmy! Było nerwowo, trochę mokro i zimno, ale pięknie. Bo, jak się okazuje, takie chwile cementują więź na linii syn-ojciec mocniej niż najwygodniejszy hotel. Nasze wzajemne miny zaraz po przekręceniu kluczyka, i wzajemne spojrzenie jeden na drugiego zostaną z nami na długo. To było piękne. Nie do powtórzenia.

Na koniec rada: warto wozić ze sobą kable rozruchowe. I warto pamiętać, że laptop podłączony do samochodowego akumulatora przez kilka wieczorów potrafi go rozładować bardziej, niż się spodziewamy. Lepiej raz na dobę odpalić na dłuższą chwilę silnik i sprawdzić, czy wszystko jest w porządku. Chyba, że chcecie mieć mega przygodę. Nasza na szczęście skończyła się świetnie, i będziemy mieli co wspominać przez długie lata.

Polecamy wakacyjne męskie wypady.

Pozdrawiamy serdecznie,

Tata i Syn z Dolnośląskiego

eprasa.pl 39e0ebb5e6

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

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

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

BESTSELLERY sklepu AVT – sklep.avt.pl

Mierniki Testery FNIRSI

Rabat dla Czytelników EdW przy zakupie podaj kod **EdW2505FN** -3%

Kod ważny do 30.09.2025

Rabat dla Prenumeratorów EdW przy zakupie podaj numer prenumeraty -6%

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

FN-LCR-P1
Tester elementów FNIRSI LCR-P1

FN-HRM10
Tester rezystancji wewnętrznej akumulatorów FNIRSI HRM-10

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

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

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

Fot. https://unsplash.com/photos/SP9HcRASMPE

Wzmacniacz monofoniczny klasy D o mocy 1 kW+, część 1

W potężnym wzmacniaczu typu monoblok, który opisujemy w artykule, zastosowany jest gotowy moduł i kilka stosunkowo niedrogich zasilaczy impulsowych. Dzięki temu może on dostarczyć moc przekraczającą 1 kW do obciążeń 2 Ω i znaczną moc do obciążeń 3 Ω...8 Ω. Można go zbudować za około 1000 USD (to więcej niż 1 W na dolara) i mieści się w metalowej skrzynce narzędziowej, więc może być nawet przenośny!

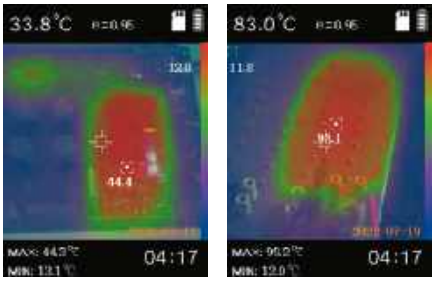
W tym potężnym wzmacniaczu typu monoblok został zastosowany moduł zaprojektowany przez International Rectifier w oparciu o sterownik klasy D IRS2092S i cztery MOSFET-y IRFB4227 (**fotografia 1**). Gotowy do użycia moduł jest dostępny w DigiKey za około 510 USD.

Z pewnymi zastrzeżeniami, może dostarczyć do 1700 W RMS na obciążeniu 2 Ω! Jest to mniej więcej maksymalna moc wyjściowa audio, jaką można uzyskać z jednofazowego zasilania sieciowego 230 V AC 10 A.

Na tak zawrotnym poziomie nie uzyskasz super wydajności Hi-Fi, ale zniekształcenia (poniżej 0,1% THD+N) przy około 1000 W będą w pełni akceptowalne. Takie osiągi świetnie nadają się do dużych zestawów głośników estradowych lub do nagłaśniania instrumentów muzycznych.

Uzyskiwane monstrualne poziomy mocy z domowych zasilaczy wymagają wzmacniacza klasy D ze względu na jego wysoką sprawność – w tym przypadku wynoszącą

Fotografia 1. Gotowy moduł monofonicznego wzmacniacza klasy D IRAUDAMP9. Pomimo względnej złożoności układu, korzystanie z niego jest w rzeczywistości dość łatwe



Termogram modułu wzmacniacza przy dostarczaniu mocy 400 W (krótkoterminowo) pokazano po lewej stronie. Radiator osiągnął zaledwie 44°C. Natomiast widoczne na obrazie po prawej stronie sztuczne obciążenie 8 Ω/800 W, rozpraszające 400 W, mogłoby w tym samym czasie zagotować wodę!

eprasa.pl 39e0ebb5e6

Specyfikacja modułu wzmacniacza:

- THD+N: typowo <0,1% do 1 kW na 2 Ω, 500 W na 4 Ω, 270 W na 8 Ω
- Moc wyjściowa, 1% THD+N: 1,2 kW na 2 Ω, 575 W na 4 Ω, 315 W na 8 Ω
- Impedancja obciążenia: 2 Ω...8 Ω
- Zakres dynamiki: 99,4 dB
- Szum resztkowy 20 Hz...20 kHz: 290 μV
- Współczynnik tłumienia (Dumping factor): 81,9 (1 kHz, obciążenie 2 Ω)
- Pasmo przenoszenia: ±1,25 dB, 20 Hz...20 kHz (1 W, obciążenie 2 Ω)
- Częstotliwość przebiegu PWM: 300 kHz (regulowana)
- Wzmocnienie: 33 dB
- Czułość wejściowa: 1 V RMS dla 1 kW na 2 Ω
- Modulacja: delta-sigma drugiego rzędu, z własnym generatorem
- Zasilanie: ±48 V do ±80 V DC
- Prąd zasilania biegu jałowego: +67 mA, –105 mA
- Moc zasilania na biegu jałowym przy ±72 V: 13,2 W
- Sprawność: 74% @ 100 W, 94% @ 1000 W, 97% @ 1700 W
- Temperatura radiatora (niezmodyfikowany): 56°C @ idle, 104°C @ 125 W, 118°C przy 1,2 kW (wyłącza się po 130 s)

97% przy 1700 W. Moduł wymaga bardzo wytrzymałego podwójnego zasilacza ±75 V/18 A, który również będzie opisany w tym artykule.

Moduł jest sprzedawany jako „płytka ewaluacyjna" i ma kilka funkcji, którymi można się bawić (np. możliwość zmiany częstotliwości nośnej). Ma też niewielkie wymiary wynoszące zaledwie 192 mm × 149 mm × 56 mm i waży tylko 540 g. Zastosowano w nim wyjątkowo mały radiator, wystarczający przy niewielkich obciążeniach, który jednak można łatwo rozbudować, co pokażemy w dalszej części.

Wzmacniacz nie tylko generuje ogromną moc, ale także ma wiele wbudowanych funkcji zabezpieczających, takich jak:

- Zabezpieczenie nadprądowe wyjścia (OCP), po stronie wysokiej i niskiej, do obsługi przycięć i przypadkowych zwarć.
- Zabezpieczenie przed przepięciem zasilania (OVP) powyżej 82 V.
- Zabezpieczenie przed zbyt niskim napięciem zasilania (UVP) poniżej 38 V.
- Wyjściowe zabezpieczenie DC-offset (DCP) zapobiegające uszkodzeniu głośników w przypadku awarii.
- Zabezpieczenie przed przegrzaniem (OTP) dla temperatury radiatora powyżej 100°C.

W IRAUDAMP9 nie jest używany przekaźnik szeregowy do odłączania głośnika w celu zapobiegania trzaskom przy włączaniu i wyłączaniu. Zamiast tego zastosowany jest wbudowany układ redukcji szumów IRS2092s, który tłumi przejściowe zdarzenia do poziomów niższych niż te generowane przez przekaźniki.

W Internecie dostępnych jest wiele kopii tego modułu, opartych na tych samych układach scalonych. Zalecamy zakup wersji od znanego, dobrego dostawcy, takiego jak DigiKey, ale istnieją też odpowiedniki, które mogą być brane pod uwagę, gdyby oryginały nie były już dostępne.

W projekcie referencyjnym zapalona czerwona dioda LED oznacza stan błędu/wyłączenia. Posiada również zieloną diodę LED, która świeci, gdy warunki są normalne.

W układzie referencyjnym znajdują się trzy przełączniki. S1 to trójpozycyjny przełącznik, który może wybrać synchronizację zegarem własnym (pozycja środkowa – „SELF"), wewnętrznym („INT") lub zewnętrznym („EXT"). Dla zewnętrznego zegara przewidziano złącze BNC, ale nie podano danych dotyczących amplitudy, więc nie próbowaliśmy tej opcji.

Przeznaczenie przełącznika S2 nie zostało wyjaśnione, ale wydaje się, że kontroluje on synchronizację między zegarami dla dwóch modułów (np. w konfiguracji stereo lub zmostkowanej). Nie dotyczy to opisywanego tu wzmacniacza monofonicznego.

Zasady działania i zastosowania

Moduł IRAUDAMP9 to jednokanałowy półmostkowy wzmacniacz mocy audio klasy D o mocy 1,7 kW (na 2 Ω). Jego sercem jest sterownik audio klasy D IRS2092s, w którym do wytwarzania sygnału audio o stosunkowo niskim poziomie zniekształceń i szumów zastosowana jest modulacja szerokości impulsów sigma-delta PWM.

Do zapewnienia różnych trybów ochrony zastosowany jest również zewnętrzny bufor bramki, a końcowa moc wyjściowa pochodzi z czterech MOSFET-ów IRFB4227.

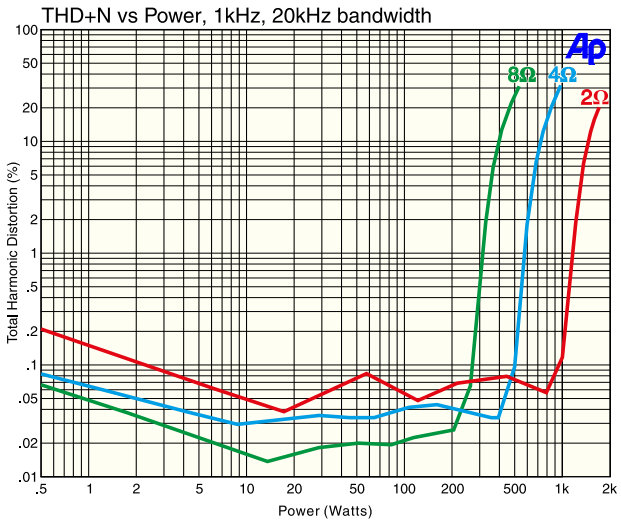
Moduł ten, dla ułatwienia użytkowania, tworzy wewnętrznie wszystkie niezbędne pomocnicze napięcia zasilania z głównego ±75 V. Wewnętrznie wytwarzane zasilanie obejmuje napięcia ±5 V do przetwarzania sygnału analogowego (przedwzmacniacz itp.) oraz zasilanie +12 V (VCC), odniesione do –B, do zasilania stopnia sterownika bramki klasy D.

Powyżej mocy 1 kW, dobrym pomysłem jest użycie większego radiatora niż dostarczony (<2°C/W), szczególnie w przypadku

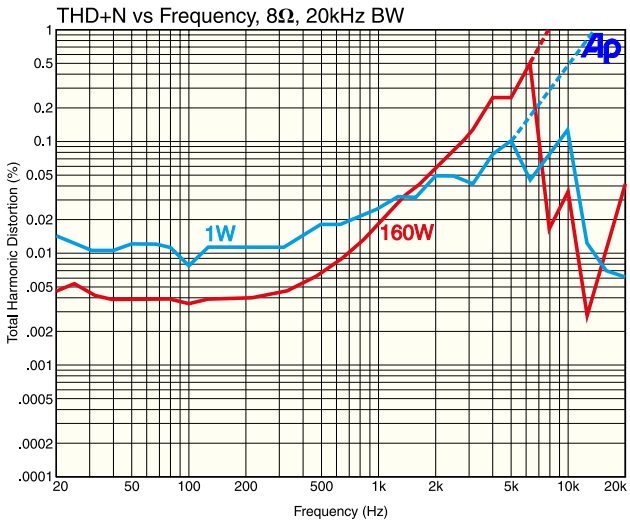
Fotografia 2. Zasilacze impulsowe ładnie mieszczą się w aluminiowej skrzynce narzędziowej; moduł wzmacniacza o mocy 1 kW zajmuje niewielką powierzchnię na górze, jest zamontowany na plastikowych izolatorach. Niewielki moduł po prawej stronie dostarcza napięcie 12 V z jednego z zasilaczy 24 V do zasilania wentylatora i lampki wskaźnika wysterowania (fotografia 4). Zwróć uwagę na duże śruby nierdzewne, którymi przytwierdzono zasilacze impulsowe

Fotografia 3. Sześć zasilaczy impulsowych zapewnia moc wyjściową ponad 1 kW przy obciążeniu 2 Ω – trzy po stronie dodatniej i trzy po stronie ujemnej. Każdy z nich ma własny wentylator chłodzący i zabezpieczenie przed przeciążeniem, są wydajne i ekonomiczne. Ich napięcia wyjściowe są również regulowane

eprasa.pl 39e0ebb5e6



Rysunek 1. Wykresy pokazujące zmierzone THD+N odpowiednio do mocy wyjściowej dla naszego kompletnego prototypowego wzmacniacza dla trzech typowych impedancji obciążenia. 0,1% zniekształceń przy ogromnej mocy 1000 W to niezły wynik!



Rysunek 2. Wykres THD+N w funkcji częstotliwości 8 Ω ujawnia, że zniekształcenia rosną od około 300 Hz. Jest to nieco wcześniej niż w przypadku dobrego wzmacniacza liniowego, ale nie jest to niczym niezwykłym w przypadku wzmacniacza kluczującego pracującego przy kilkuset kilohercach. Typowy materiał muzyczny zajmuje pasmo poniżej 1 kHz, gdzie poziom zniekształceń jest całkiem rozsądny

długotrwałego użytkowania przy wysokich poziomach mocy.

Nie jest to projekt do użytku domowego. Odpowiednie zastosowania obejmują:

- profesjonalne wzmacniacze audio i zasilane głośniki,
- aktywne subwoofery estradowe,
- inne profesjonalne systemy estradowe,
- wzmacniacze do instrumentów muzycznych.

Jego specyfikację producenta przedstawiono w ramce, a na **rysunku 1** przygotowaliśmy trzy wykresy THD+N w funkcji poziomu mocy dla standardowych impedancji obciążenia. Krzywe te pokazują, że wzmacniacz może z łatwością dostarczyć 1 kW do obciążenia 2 Ω. Zniekształcenia wzrastają nieco powyżej 1 kW, więc jeśli chcesz, uzyskać dobre brzmienie, możesz uznać go za wzmacniacz o mocy 1 kW (to wciąż dużo!).

Moduł ma wysoki współczynnik PSRR (odrzucenia tętnień zasilania), więc nie potrzebujesz super gładkich napięć zasilających DC. Dzięki zbalansowanemu zasilaczowi bipolarnemu zostanie odrzuconych 80 dB tętnień o wartości szczytowej 200 mV.

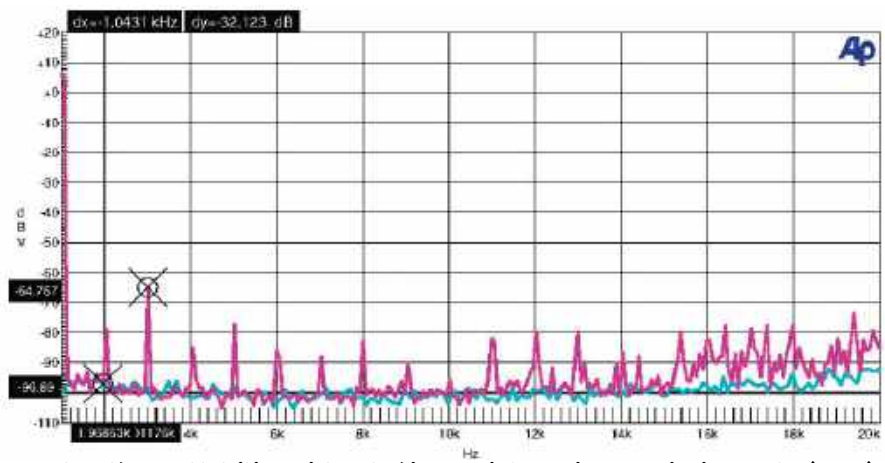
Do wstępnych testów użyliśmy zasilacza laboratoryjnego ±80 V 5 A, a następnie zwiększyliśmy moc dostępną dla modułu do 2880 W z sześciu zasilaczy impulsowych 24 V DC 20 A połączonych szeregowo (**fotografie 2** i **3**), z dodatkowymi kondensatorami dla nieco lepszej wydajności. Były to dwa kondensatory elektrolityczne 10000 µF 100 V montowane w obudowie (Jaycar RU6712).

Modulacja delta-sigma

Modulatory delta-sigma (lub sigma-delta) (DSM) to klasa nadpróbkujących przetworników cyfrowo-analogowych (DAC), w których „kształtowanie szumu kwantyzacji" ma na celu osiągnięcie wysokiego stosunku sygnału do szumu (SNR). Jest to skuteczne rozwiązanie dla rozdzielczości powyżej około 12 bitów. Przetworniki DSM są szeroko stosowane w aplikacjach analogowych i radiowych.

W rzeczywistości DSM polega na zastosowaniu przetwornika cyfrowo-analogowego (DAC) o niskiej rozdzielczości i wysokim nadpróbkowaniu do rekonstrukcji sygnału o znacznie wyższej rozdzielczości, ale niższej częstotliwości. Docelowy sygnał przechodzi przez filtr (zwykle cyfrowy), który konwertuje sygnał do niższych rozdzielczości z dyfuzją/korekcją błędów, dzięki czemu końcowy wynik, po przefiltrowaniu, dokładnie rekonstruuje pożądany sygnał.

W przypadku wzmacniacza klasy D wyjście ma tylko dwa stany (wysoki lub niski), więc jest to efektywnie 1-bitowy przetwornik cyfrowo-analogowy, zwykle pracujący z częstotliwością kilkuset kiloherców. Modulator delta-sigma i filtr pozwalają na wytworzenie sygnału w zakresie audio o efektywnej rozdzielczości około 16 bitów.



Rysunek 3. Głównym składnikiem zniekształceń jest trzecia harmoniczna o poziomie –64,8 dBv (0,05%), natomiast druga harmoniczna jest niższa –99,7 dBv (0,001%). Konstrukcja delta-sigma zapewnia znaczną redukcję zniekształceń

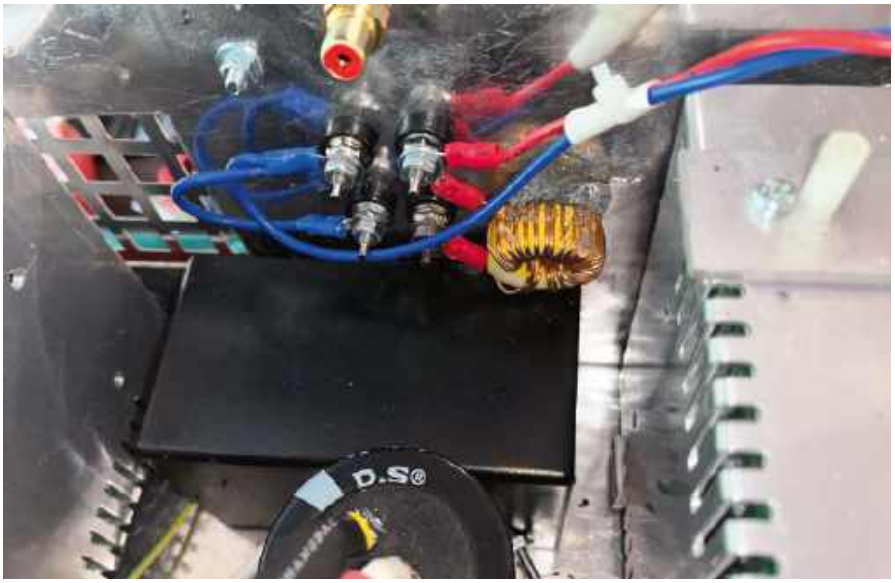
Moc wyjściowa

Podana moc wyjściowa wynosi 1700 W RMS na 2 Ω, a my zmierzyliśmy ponad 450 W RMS na 8 Ω. Przy tych kolosalnych mocach nie uzyskamy niskich zniekształceń (w rzeczywistości wzmacniacz jest już na granicy przesterowania), ale przy niższych poziomach wyjściowych, takich jak 1250 W (2 Ω) lub 350 W (8 Ω), zniekształcenia nie są rażące (rysunek 1).

Obciążenia 2 Ω stają się coraz częściej normą dla nowoczesnych dużych

eprasa.pl 39e0ebb5e6

Fotografia 4. Opcjonalny wskaźnik wysterowania informuje o aktualnym poziomie wyjściowym sygnału



Fotografia 5. Wewnętrzne okablowanie wyjść głośnikowych z cewką 75 µH. Gniazdo wejściowe IEC znajduje się pod czarną skrzynką Jiffy i jest zabezpieczone śrubami i nakrętkami w podstawie obudowy, aby zapewnić izolację i separację od okablowania niższego napięcia powyżej

głośników subwooferów, które wymagają takiego poziomu mocy. Jeśli chcesz użyć wiele głośników z jednym wzmacniaczem, możesz połączyć je w zestawy szeregowo-równoległe o całkowitej impedancji 2 Ω. Dla głośników o impedancji 4 Ω lub 8 Ω można zastosować połączenie równoległe, aby uzyskać wymaganą impedancję 2 Ω i w pełni wykorzystać moc wzmacniacza.

Specyfikacja mocy wyjściowej wzmacniacza

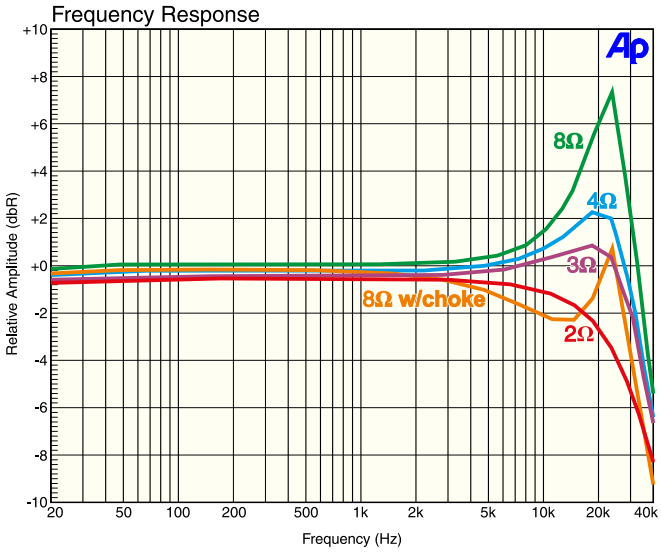
Producenci wzmacniaczy (i ich projektanci) zawsze chcą znaleźć sposób na opublikowanie najbardziej imponujących specyfikacji mocy. Pamiętasz śmieszne wartości PMPO (szczytowa moc chwilowa) specyfikowane dla małego boomboxa? Podawana była moc przekraczająca nawet 1000 W. Na szczęście nie jest tak w przypadku naszego wzmacniacza, ponieważ wartości >1 kW są rzeczywistymi mocami RMS, chociaż do ich osiągnięcia potrzebne jest obciążenie 2 Ω.

Nadal jednak pomiary mocy są przeszacowywane. Możesz uzyskać zawyżoną moc RMS, jeśli nie dbasz o to, jak bardzo zniekształcasz sygnał. Załóżmy, że podkręcasz wzmocnienie lub poziom sygnału wejściowego, aż wzmacniacz dostarczy do obciążenia prawie prostokątną falę. W takim przypadku uzyskasz wartość o około 50% wyższą niż w przypadku bardziej rozsądnego poziomu zniekształceń.

Producent podaje, że jest to wzmacniacz o mocy 1,7 kW, ale to przy 10% zniekształceń. Uważamy, że bardziej realistyczna jest ocena bliższa 1 kW przy zniekształceniach 0,1%. W przypadku zastosowań do nagłośnień publicznych można zaakceptować wyższy poziom zniekształceń, więc podaliśmy również specyfikacje przy 1% THD+N (na przykład 1,2 kW na 2 Ω). Jest to w przybliżeniu punkt, powyżej którego wyjście zacznie brzmieć kiepsko.

Zniekształcenia

Oprócz wykresu zniekształceń odpowiednio do mocy (rysunek 1), stworzyliśmy również wykres THD w zależności od częstotliwości dla obciążenia 8 Ω, pokazany na **rysunku 2**. Jak można się spodziewać po wzmacniaczu klasy D o częstotliwości drgań własnych wynoszącej zaledwie około 300 kHz, zniekształcenia znacznie



Rysunek 4. Pasmo przenoszenia jest dość płaskie dla obciążeń 2 Ω, 3 Ω i 4 Ω. W przypadku obciążeń 8 Ω zalecamy zastosowanie cewki 75 µH, aby uniknąć dużego skoku przy 25 kHz, który może spowodować uszkodzenie głośnika wysokotonowego

Fotografia 6. Na tylnym panelu znajdują się złącza dla wejścia zasilania (IEC), wejścia sygnału (RCA) i zacisków dla wyjść głośnikowych. Górne gniazda są przeznaczone dla obciążeń 2 Ω i 4 Ω, podczas gdy dolne gniazda zapewniają kompensację częstotliwości dla obciążeń 8 Ω

eprasa.pl 39e0ebb5e6

wzrastają powyżej 1 kHz. Jednak wiemy już, że nie jest to wzmacniacz Hi-Fi...

Na **rysunku 3** przedstawiono widmo zniekształceń wyjściowych dla 1 kHz przy mocy 1 W. Pierwsza harmoniczna ma poziom –99,7 dB przy 2 kHz (0,001% zniekształceń), a bardziej krytyczna trzecia harmoniczna to –64,8 dB przy 3 kHz (0,05% zniekształceń).

Pasmo przenoszenia

Podane przez dostawcę pasmo przenoszenia dla ±1 dB wynosi od 20 Hz do 20 kHz przy obciążeniu 2 Ω, ale nie podano specyfikacji dla obciążeń 4 Ω lub 8 Ω. Wykonaliśmy wykresy pokazane na **rysunku 4**, które ujawniają, że przy obciążeniu 8 Ω występuje wzrost o 7,25 dB przy 25 kHz, przy niskich poziomach mocy. Ogromny skok w okolicach 23 kHz może łatwo zniszczyć głośniki wysokotonowe, zwłaszcza przy wysokich poziomach mocy.

Ogólnie, dla tej płytki preferowane są obciążenia 2 Ω, 3 Ω lub 4 Ω, a sądząc po wynikach, układ IRAUDAMP9 został celowo zaprojektowany z myślą o niższych impedancjach obciążenia.

Podłączyliśmy dławik 75 μH 5 A RF szeregowo z obciążeniem i uzyskaliśmy znacznie lepszą krzywą pokazaną na pomarańczowo. Dlatego nasz ostateczny projekt wzmacniacza ma oddzielne wyjście dla obciążeń 8 Ω zasilanych przez taki dławik.

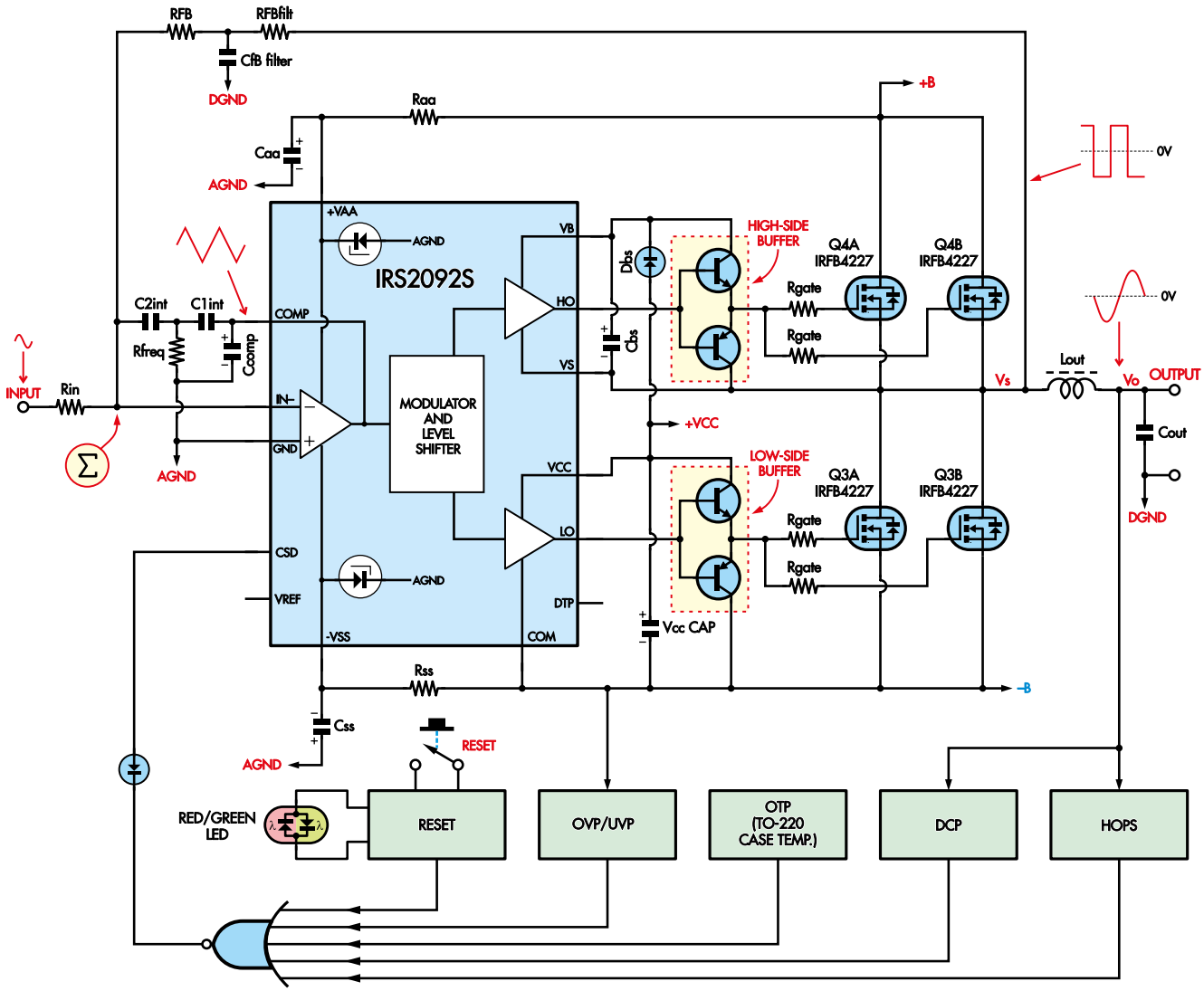
Sygnały o częstotliwości około 20 kHz mogą powodować rezonans LC w wyjściowym filtrze dolnoprzepustowym, powodując duży przepływ prądu biernego przez stopień przełączający, zwłaszcza jeśli wzmacniacz nie jest podłączony do żadnego obciążenia. Może to spowodować aktywację zabezpieczenia nadprądowego. Dlatego, dobrym pomysłem przed podaniem sygnału do wzmacniacza jest odfiltrowanie częstotliwości powyżej 20 kHz.

Wyjaśnia to skok o 7,25 dB, który zmierzyliśmy przy około 20 kHz przy obciążeniu 8 Ω. Dodanie dodatkowego dławika naprawiło ten problem, ale powinien on być używany tylko dla obciążeń 6 Ω...8 Ω (nominalnie).

Testy odsłuchowe

Po dokonaniu wszystkich pomiarów, podłączyliśmy wzmacniacz do różnych głośników o nominalnych impedancjach 2 Ω, 4 Ω i 8 Ω. Byliśmy trochę podenerwowani, ponieważ tak duża moc oznacza, że gdyby coś poszło nie tak, nasze głośniki byłyby natychmiast spalone!

Jednak włączenie było rozczarowaniem, ponieważ moduł był cichy, z wyjątkiem kliknięcia przełącznika i cichego warkotu wentylatorów chłodzących. Funkcja wyciszenia IR2092S utrzymuje czerwoną diodę LED i wyciszenie wyjścia przez około trzy sekundy. Po tym czasie



Rysunek 5. Uproszczony schemat pokazuje ogólną konfigurację modułu wzmacniacza klasy D, w tym MOSFET-y mocy sterujące obciążeniem i bufory tranzystorów bipolarnych, które sterują ich bramki

eprasa.pl 39e0ebb5e6

zielona dioda LED włącza się, wskazując, że wzmacniacz działa.

Wzmacniacz wycisza wszystko ponownie w momencie wyłączenia, gdy napięcie zasilania DC spadnie poniżej ±38 V. Włączanie i wyłączanie jest absolutnie bezgłośne, gdyby nie działał w ten sposób, membrany głośników prawdopodobnie wyskoczyłyby z ich obudów!

Pomimo kompromisowego THD+N typowego dla wzmacniaczy klasy D, brzmienie jest znacznie lepsze niż się spodziewałem, a bas jest niewątpliwie niewymuszony przy całej dostępnej mocy. Po odtworzeniu kilku płyt CD, szybkie sprawdzenie radiatora wykazało, że był on jedynie ciepły, osiągnął temperaturę zaledwie 38°C zmierzoną termometrem na podczerwień.

Wentylator był w stanie schłodzić wszystko, w tym zasilacze, które mają własne wewnętrzne wentylatory. W sumie jest siedem wentylatorów.

W przypadku tego rodzaju wzmacniacza klasy D, wydajność poprawia się wraz ze wzrostem mocy, więc prawdopodobnie nie ma potrzeby stosowania dodatkowego radiatora.

Praca w klasie D

Uproszczony schemat modułu, przerysowany z karty katalogowej, pokazano na **rysunku 5**. Kondensatory C2int i C1int oraz rezystor Rfreq tworzą układ całkujący front-end drugiego rzędu. Odbiera on prostokątny sygnał sprzężenia zwrotnego ze stopnia przełączającego klasy D i wytwarza przebieg prostokątny jako sygnał nośny.

Aby utworzyć modulowany sygnał PWM, sygnał wejściowy przesuwa średnią wartość tego przebiegu prostokątnego (poprzez zależność wzmocnienia między RFB, RFBfilt i Rin), tak aby współczynnik wypełnienia zmieniał się zgodnie z chwilową wartością analogowego sygnału wejściowego.

Komparator wejściowy IRS2092S przetwarza sygnał w celu utworzenia wymaganego sygnału PWM, który jest wewnętrznie przesuwany w dół do ujemnego napięcia zasilającego, gdzie jest dzielony na dwa sygnały, o przeciwnej polaryzacji i dodanym czasie martwym, aby odpowiednio sterować bramkami MOSFET po stronie wysokiej i niskiej.

Układ IRS2092S steruje dwiema parami MOSFET-ów IRFB4227 TO-220 w stopniu mocy za pomocą sygnałów PWM podawanych na bramki, które sterują obciążeniem. Wzmocniony wyjściowy sygnał analogowy jest odtwarzany poprzez demodulację sygnału PWM za pomocą filtra dolnoprzepustowego LC (LPF) utworzonego z Lout i Cout, które filtrują sygnał nośnej.

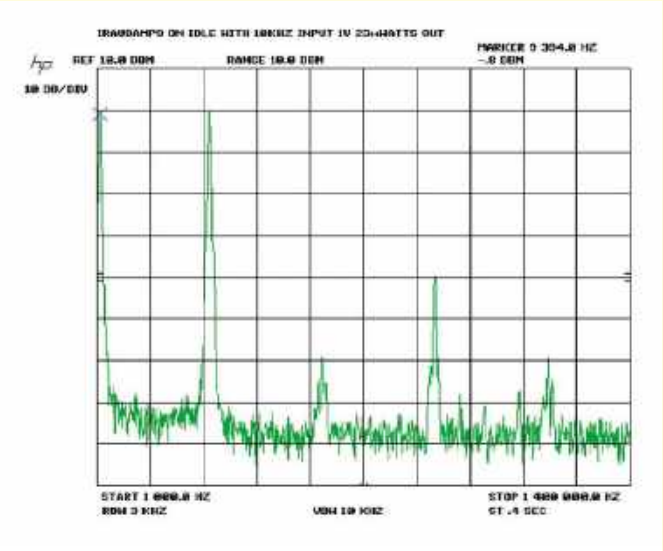
Regulacja częstotliwości przełączania klasy D

Całkowity czas opóźnienia wewnątrz pętli sterowania określa częstotliwość samooscylacji. Opóźnienie to obejmuje opóźnienia z obwodów logicznych, sterownika bramki MOSFET, zewnętrznego bufora, prędkości przełączania IRFB4227, stałej czasowej układu całkującego front-end i zmian napięcia zasilania. W normalnych warunkach częstotliwość przełączania wynosi około 300 kHz bez sygnału wejściowego audio i przy zasilaniu ±75 V.

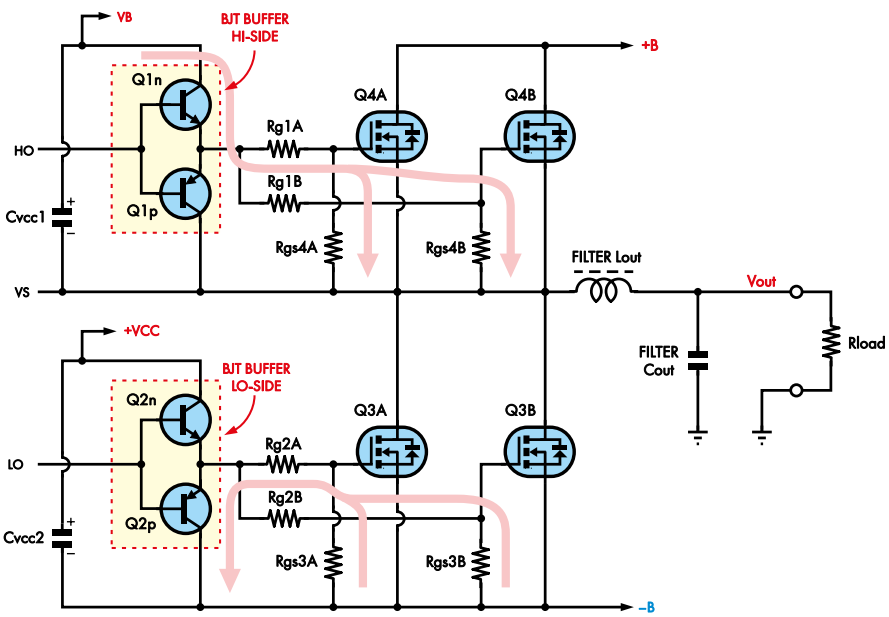
Częstotliwość przebiegu PWM ma ogromny wpływ na jakość dźwięku. Ogólnie zniekształcenia spowodowane czasem przełączania stają się znaczące dla wyższych częstotliwości, natomiast przy niższych częstotliwościach zmniejsza się szerokość pasma wzmacniacza. Wyższe częstotliwości przełączania skutkują również wyższymi stratami przełączania w stopniu mocy, co pogarsza wydajność termiczną.

Inną kwestią przy określaniu częstotliwości przełączania jest unikanie tej częstotliwości lub jednej z najważniejszych harmonicznych powodujących zakłócenia w paśmie nadawania AM (531 kHz...1602 kHz). Jeśli częstotliwość przełączania wynosi 300 kHz, jej trzecia harmoniczna przy 900 kHz może stanowić problem, ponieważ jest ona zazwyczaj tylko o 40 dB niższa od częstotliwości przełączania – patrz poniższy wykres.

Regulacji dokonuje się potencjometrem P1 na płytce wzmacniacza bez sygnału wejściowego.



Domyślna częstotliwość przełączania wzmacniacza wynosi 310 kHz. Druga harmoniczna jest o 60 dB niższa, ale trzecia jest tylko o 40 dB niższa i może zakłócać lokalne stacje radiowe AM. Częstotliwość nośna jest regulowana na wypadek, gdyby zakłócenia powodowały problemy z lokalnymi częstotliwościami AM



Rysunek 6. Sekcja sterowników wyjściowych i buforów. Tranzystory bipolarne są potrzebne, ponieważ układ scalony nie może pobierać ani dostarczać wystarczającego prądu do szybkiego przełączania bramek MOSFET o stosunkowo dużej pojemności

eprasa.pl 39e0ebb5e6

Sterowanie tymi parami MOSFET-ów wymaga wartości szczytowej większej niż ±1 A. Taka wartość jest potrzebna do tego, aby pobudzić bramki do szybkiego ładowania i rozładowywania ich pojemności bramki. W tym celu zastosowany jest bipolarny tranzystorowy stopień buforowy typu wtórnik emiterowy, składający się z tranzystorów NPN i PNP w konfiguracji totem-pole, jak pokazano na **rysunku 6**. Jedna para jest używana dla MOSFET-ów low-side i jedna dla MOSFET-ów high-side.

Buforowanie jest konieczne, by zapewnić odpowiednio szybkie przełączanie MOSFET-ów i uniknąć przekroczenia czasu progowego w obwodzie zabezpieczenia nadprądowego. W celu zabezpieczenia nadprądowego, układ scalony mierzy napięcie między drenem a źródłem MOSFET-ów, ponieważ mają one mniej więcej stałą rezystancję kanału, więc napięcie jest proporcjonalne do prądu obciążenia.

Układ scalony zaczyna monitorować to napięcie, gdy tylko wyjścia HO/LO przejdą w stan wysoki po krótkim czasie wygaszania zbocza narastającego.

Samooscylujący modulator PWM zapewnia najmniejszą liczbę komponentów i najwyższą wydajność. Reprezentuje on analogową wersję modulatora sigma-delta drugiego rzędu, ze stopniem przełączającym klasy D wewnątrz pętli sprzężenia zwrotnego.

Zaletą modulacji sigma-delta w porównaniu z modulacją opartą na sygnale nośnym jest to, że cały błąd w słyszalnym zakresie częstotliwości jest przesunięty do niesłyszalnego zakresu ultradźwiękowego. Dzięki modulacji sigma-delta możemy zastosować wystarczającą korekcję błędów, aby uzyskać niski poziom szumów i zniekształceń. Modulator IRAUDAMP9 zawiera:

- integrator front-end,
- modulator szerokości impulsu i przesuwniki poziomu,
- sterownik bramki i bufor,
- MOSFET-y mocy,
- wyjściowy LPF.

Sygnały wejściowe i wyjściowe

Sygnał wejściowy może mieć do 2 V RMS. Biorąc pod uwagę, że moduł IRAUDAMP9 jest konstrukcją single-ended (z wyjściem – podłączonym do masy) i może sterować obciążenia 2 Ω, oznacza to, że w teorii można użyć dwóch takich modułów do sterowania obciążeniem 4 Ω w trybie mostkowym i uzyskania mocy wyjściowej ponad 2 kW! Nie próbowaliśmy tego i nie wyobrażamy sobie, by było to konieczne poza zastosowaniami związanymi ze wzmacnianiem dźwięku na poziomie stadionu.

Zasilanie

Wymagania dotyczące zasilania są bardzo wysokie, czego należy oczekiwać od wzmacniacza o mocy ponad 1 kW. Do wstępnych testów użyliśmy zasilacza laboratoryjnego opartego na transformatorze toroidalnym 500 VA 55-0-55 V, który dostarczał ±80 V DC, ale tylko do 4 A. Ograniczyło to całkowitą moc wyjściową do mniej niż 450 W na 2 Ω.

Zasilanie to powodowało, że wzmacniacz czasami przechodził w tryb ochrony, głównie przy częstotliwościach poniżej 25 Hz, z powodu „pompowania magistrali", jak opisano w nocie katalogowej.

Dzieje się tak, ponieważ IRAUDAMP9 jest konfiguracją półmostkową. Podczas normalnej pracy, w pierwszej połowie cyklu, energia przepływa z jednego zasilania przez obciążenie do drugiego zasilania, powodując nierównowagę napięcia. W drugiej połowie cyklu stan ten ulega odwróceniu, powodując pompowanie szyny drugiego zasilania. Pogorszenie pompowania magistrali powodowane jest przez:

- Niższe częstotliwości (czas pompowania magistrali jest dłuższy na pół cyklu).
- Wyższe napięcie wyjściowe i/lub niższą impedancję obciążenia (większy transfer energii pomiędzy zasilaczami).
- Mniejsze kondensatory magistrali (ta sama energia spowoduje większy wzrost napięcia).

Wykaz elementów:

1 moduł wzmacniacza klasy D IRAUDAMP9 [DigiKey IRAUDAMP9-ND]
6 zasilaczy impulsowych 24 V 15 A...20 A [Mouser 709-LRS350-24, DigiKey 1866-3346-ND, element14 3596594, Wagner LRS-350-24, eBay 292508020804]
1 moduł przetwornicy obniżającej DC/DC 24 V na 12 V 1 A+ [eBay 204144932095]
1 cichy wentylator 120 mm 12 V lub 24 V DC [Jaycar YX2584]
1 osłona wentylatora 120 mm [Jaycar YX2554 lub YX2515]
1 cewka toroidalna 100 μH 5 A [Jaycar LF1270]
1 10 kΩ 24 mm logarytmiczny potencjometr pojedynczy z pokrętłem [Jaycar RP3610 + HK7788]
2 czerwone zaciski połączeniowe [Jaycar PT0460]
2 czerwone zaciski połączeniowe [Jaycar PT0461]
1 montowane w obudowie gniazdo wejściowe IEC z wbudowanym bezpiecznikiem i wyłącznikiem [Jaycar PP4003]
1 kabel wejściowy IEC
1 bezpiecznik szybki 10 A M205
1 gniazdo RCA do montażu panelowego do gniazda RCA [Jaycar PS0442]
1 kabel RCA-RCA o długości 1 m
1 wysokowydajny radiator z wentylatorem (opcjonalny) [Jaycar HH8573]
1 mała tubka kleju termicznego (opcjonalnie, nad radiatorem) [Jaycar NM2014]
2 kondensatory 10000 μF 100 V do montażu w obudowie (opcjonalnie) [Jaycar RU6712]
1 miernik VU do montażu panelowego (opcjonalnie) [Altronics Q0490]
1 120 kΩ 1/4 W 5% rezystor osiowy (dla opcjonalnego miernika VU)
1 dioda małosygnałowa 1N4148 (dla opcjonalnego miernika VU)
1 UB5 Jiffy box

Sprzęt

1 aluminiowa skrzynka narzędziowa o wymiarach 575 mm × 245 mm × 220 mm [eBay 192790170418, Bunnings 6120223]
4 śruby z łbem walcowym M10 × 150 mm i nakrętki [Bunnings 2310405]
4 podkładki płaskie M10 [Bunnings 2430052]
1 100 mm × 75 mm aluminiowy tłoczony odpowietrznik ścienny [Bunnings 0810902]
1 płaskownik aluminiowy 25 mm × 3 mm o długości 800 mm [Bunnings 1079373 (długość 3 m)]
1 prostokątna rura aluminiowa o wymiarach 20 mm × 10 × 2 mm i długości 800 mm [Bunnings 1130559 (1 m długości)]
16 śrub z łbem walcowym M4 × 20 mm i nakrętek [Bunnings 0168397]
18 śrub z łbem walcowym M4 × 15 mm i nakrętek [Bunnings 0168393]
20 śrub z łbem walcowym M4 × 10 mm i nakrętek [Bunnings 0247265]
36 podkładek płaskich M4 [Bunnings 0130531 × 3]
1 M4 podkładka sprężysta (ząbkowana)
18 śrub z łbem walcowym M3 × 20 mm i nakrętek [Bunnings 0247264]
20 śrub z łbem walcowym M3 × 15 mm i nakrętek [Bunnings 0168388]
20 śrub z łbem walcowym M3 × 10 mm i nakrętek [Bunnings 0247262]
6 śrub z łbem walcowym M3 × 6 mm
4 śruby z łbem stożkowym M3 × 6 mm
4 nylonowe tuleje dystansowe z gwintem M3 × 9 mm (do montażu modułu wzmacniacza)
2 nakrętki sześciokątne M3 (do zabezpieczenia skrzynki Jiffy) [Bunnings 2310899]
48 podkładek płaskich M3 [Bunnings 0257725 × 4]
2 wsporniki kątowe M3,5 [Jaycar HP0872]

Okablowanie itp.

7 izolowanych żeńskich końcówek zaciskowych 6,4 mm do przewodów sieciowych 10 A
4 zaciskane końcówki oczkowe 5,3 mm pasujące do wysokoprądowego przewodu połączeniowego
4 zaciskane końcówki oczkowe 5,3 mm odpowiednie do wysokoprądowego przewodu głośnikowego
32 końcówki faston, żeńskie zaciskane 3,7 mm do przewodów o dużej wytrzymałości prądowej
1 2-metrowy przewód uziemiający 10 A (zielono-żółty w paski)
1 2-metrowy jasnoniebieski (neutralny) przewód sieciowy 10 A
1 2-metrowy brązowy (aktywny) przewód sieciowy 10 A
1 krótki, wytrzymały kabel głośnikowy typu ósemka
3 2-metrowe odcinki wytrzymałego przewodu 15 A (czerwony, czarny i niebieski)
Opaski kablowe (w razie potrzeby) [Jaycar HP1244]

eprasa.pl 39e0ebb5e6

Zamiast używać kilku drogich transformatorów toroidalnych i mostków prostowniczych, jak wspomniano wcześniej, kupiliśmy sześć zasilaczy impulsowych 24 V 20 A. Użyliśmy trzech szeregowo po stronie dodatniej i pozostałych trzech po stronie ujemnej. Całkowity koszt tych zasilaczy wyniósł zaledwie 347 USD, łącznie z dostawą.

Układ taki zapewnia ±72 V DC przy 20 A, chociaż każde niezależne zasilanie można regulować do 25 V, co daje zalecane ±75 V. Każda strona jest regulowana z dokładnością do 0,1 V względem drugiej, dzięki czemu poprawiono współczynnik PSRR, a zniekształcenia i szumy zostały znacznie wyeliminowane.

Układ sprawdził się dobrze, a wszystkie prezentowane tu wykresy zostały wykonane przy tej konfiguracji zasilania. Można również dodać dodatkową pojemność, aby nieznacznie zmniejszyć poziom zniekształceń, choć zwiększa to koszt wzmacniacza.

W następnym odcinku

To prawie wszystko, jeśli chodzi o działanie wzmacniacza. W następnej części artykułu przedstawimy szczegóły dotyczące jego montażu. ■

Allan Linton-Smith

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

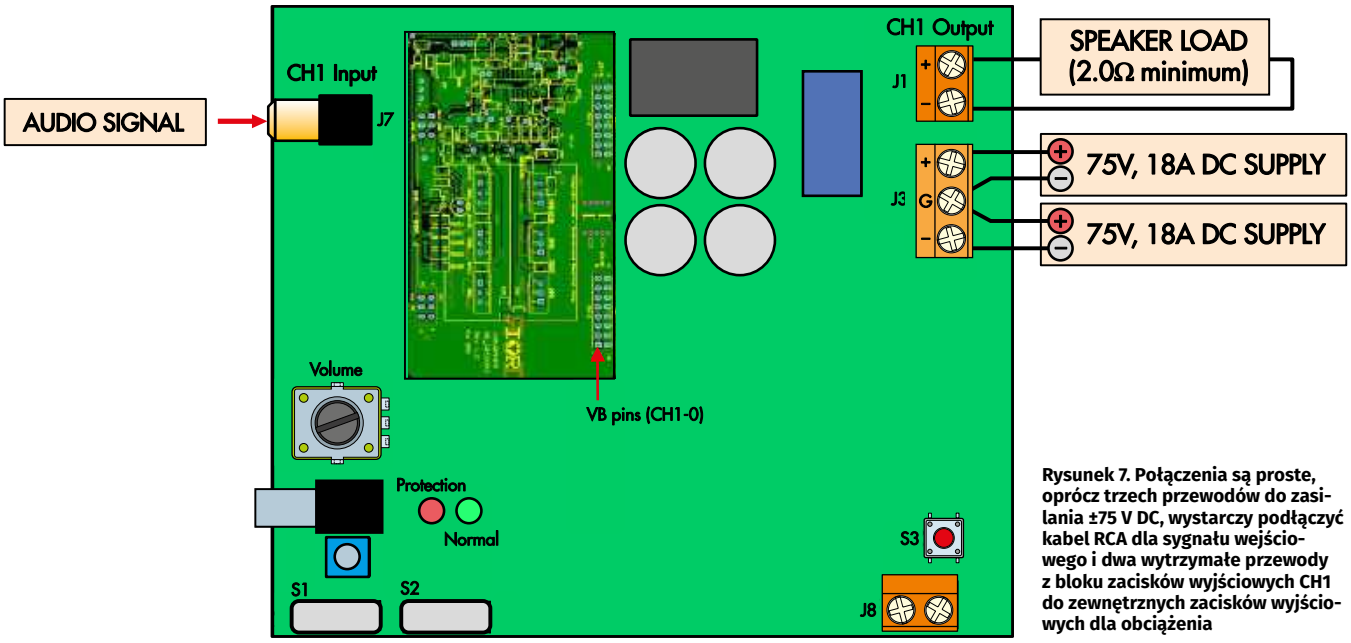
Alternatywny moduł klasy D

Po wstępnej ocenie zauważyliśmy, że dostępnych jest wiele alternatywnych modułów rzekomo wykorzystujących podobne komponenty – patrz zdjęcie poniżej. Kupiliśmy jedną od sprzedawcy eBay „polestarmascot" (www.ebay.com.au/itm/325534592503) do szybkiej oceny. Ta alternatywna płytka wymaga oddzielnego wejścia niskonapięciowego ±12 V lub 6 V...12 V AC, ale ma dodatkową zaletę w postaci wzmacniacza dual/stereo z przełącznikiem do przełączania ich w tryb zmostkowanego mono. Koszt tego modułu to 187 USD, wliczając w to dostawę z Chin.
Przeprowadziliśmy krótką ocenę THD+N i pasma przenoszenia. Zniekształcenia około 0,02% przy 1 W/1 kHz i 0,7% przy 100 W/1 kHz na 8 Ω były do przyjęcia. Moduł miał dość płaskie pasmo przenoszenia dla 8 Ω – znacznie lepsze niż IRAUDAMP9 z dużym skokiem w okolicach 20 kHz.
Należy pamiętać, że istnieje wiele podobnych niemarkowych modułów w sprzedaży online, w których komponenty i konstrukcja nie są znormalizowane i mogą się znacznie różnić. Nasze pobieżne testy odnoszą się tylko do urządzenia, które otrzymaliśmy. Krótko mówiąc, jeśli nie chcesz wydawać około 575 USD na oryginalną płytkę, ta jest o około jedną trzecią tańsza i działa, ale prawdopodobnie nie zapewni tak dobrej wydajności, szczególnie przy bardzo wysokich poziomach mocy.

Specyfikacja (od dostawcy)

- Napięcie zasilania: ±33 V...80 V plus ±12 V lub 6 V...12 V AC
- Moc stereo (zasilanie ±80 V, zniekształcenia <0,1%): 2 × 350 W na 8 Ω, 2 × 700 W na 4 Ω, 2 × 900 W na 2 Ω (zasilanie ±62 V, chłodzenie wspomagane wentylatorem)
- Moc mono (tryb mostkowy): 1200 W na 8 Ω, 2000 W na 4 Ω (zasilanie ±70 V)
- Wzmocnienie: 33×
- Czułość wejściowa: 1,6 V RMS
- Impedancja wejściowa: 20 kΩ
- Pasmo przenoszenia: 0...50 kHz ±1 dB
- Szum resztkowy: 200 μV
- Zakres dynamiki: >100 dB
- Wyłącznik termiczny: 85°C
- Zabezpieczenie przepięciowe: ±81 V
- Sprawność: >90% przy 300 W

Przeprowadziliśmy tylko kilka podstawowych testów alternatywnego modułu wzmacniacza klasy D, ale wydaje się on dość wydajny w porównaniu do (znacznie droższego) IRAUDAMP9, w którym są zastosowane te same główne komponenty

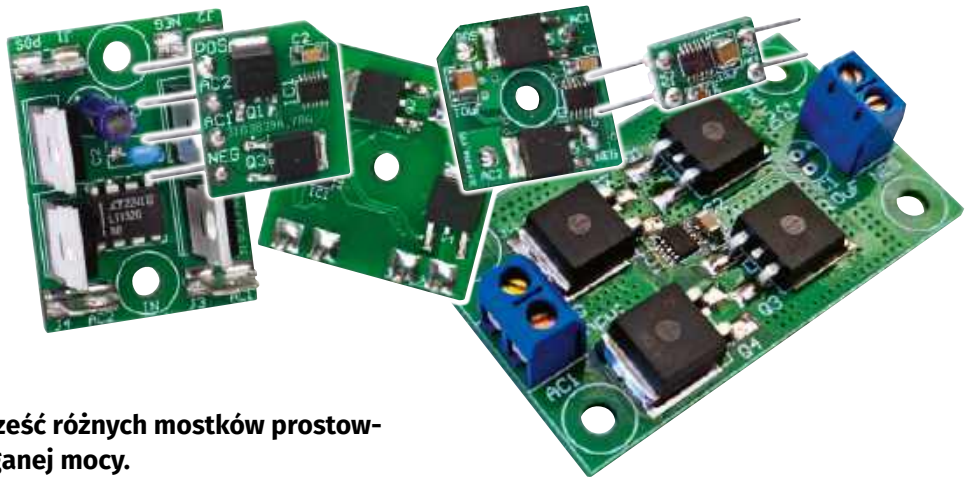


Rysunek 7. Połączenia są proste, oprócz trzech przewodów do zasilania ±75 V DC, wystarczy podłączyć kabel RCA dla sygnału wejściowego i dwa wytrzymałe przewody z bloku zacisków wyjściowych CH1 do zewnętrznych zacisków wyjściowych dla obciążenia

eprasa.pl 39e0ebb5e6

Idealne mostki prostownicze

Prostowniki bardzo ewoluowały w ciągu ostatniego stulecia, od stosów selenowych i prostowników rtęciowych po diody lampowe, a następnie diody germanowe i krzemowe. Obecnie, aktywne prostowniki zapewniają znacznie wyższą sprawność niż diody krzemowe, nie nagrzewając się tak, jak one. W artykule pokazujemy, jak wykonać nawet sześć różnych mostków prostowniczych, w zależności od wymaganej mocy.



Mówiąc najprościej, „idealna dioda" wykorzystuje tranzystor MOSFET mocy z układem sterującym, który zastępuje diodę prostowniczą. Połączenie czterech takich tranzystorów tworzy „Idealny mostek prostowniczy".

Chociaż nie są one w pełni idealne, na pewno są bliżej ideału niż zwykła dioda, z napięciem przewodzenia (a tym samym stratami mocy i rozpraszaniem ciepła) zwykle wynoszącym około 1/10 napięcia zwykłej diody.

Pomysł taki przykuł moją uwagę, ponieważ zdałem sobie sprawę, że pozwoli to budować urządzenia takie jak wzmacniacze mocy lub zasilacze, które działają wydajniej, dostarczając więcej mocy, ponieważ odznaczają się mniejszymi stratami w mostku. W mostkach prostowniczych stosowanych w dużych wzmacniaczach mocy konieczne jest stosowanie wielu radiatorów! Przy dużym obciążeniu mogą one rozpraszać dziesiątki watów.

Wszystko to zmienia się wraz z tym projektem, który stanowi bezpośredni zamiennik wielu istniejących mostków prostowniczych.

Projektując mój Inteligentny podwójny zasilacz hybrydowy (siliconchip.au/Series/377, luty i marzec 2022, oraz EdW listopad i grudzień 2024), żałowałem, że nie miałem czasu, aby zagłębić się w te aktywne mostki, ponieważ straty mocy w wysokoprądowym mostku zasilającym DC są również znaczące. Na przykład:

- Mostek prostowniczy PB1004 10 A (Altronics Cat Z0085) ma spadek napięcia w kierunku przewodzenia ponad 1 V przy 5 A lub 2 V na mostku. Oznacza to, że rozprasza moc 10 W przy 5 A.
- Mostek prostowniczy KBPC3510 35 A (Altronics Cat Z0091A) ma spadek napięcia 1 V przy 10 A, co skutkuje stratą 2 V na mostku i rozproszeniem 20 W przy 10 A.

Spadek napięcia o 2 V można opanować zwiększając napięcie transformatora, chociaż czasami bywa to kłopotliwe. Jednak transformatory często są dostarczane z napięciami nominalnymi zmieniającymi się co 5 V, a to oznacza to, że aby zrekompensować ten stosunkowo niewielki spadek napięcia, można marnować dużo energii.

Z drugiej strony, rozpraszanie 10 W...20 W jest kłopotliwe, ponieważ wymaga znacznego radiatora i wymusza podejmowanie określonych decyzji dotyczących fizycznego układu podzespołów na płytce.

Zalety i wady

Dla porównania, jeśli użyjemy sterownika „idealnego mostka" LT4320 i MOFET-ów mocy TK6R9P08QM, zaobserwujemy na tranzystorze maksymalny spadek 70 mV przy 10 A. Stanowi to łącznie 1,4 W lub około 1/10 ciepła wydzielanego w standardowym mostku prostowniczym!

Na czym więc polega haczyk i dlaczego nie są one używane wszędzie? Podejrzewam, że jest kilka powodów:

1. Jedną z komplikacji, z którą należy się uporać, jest generowanie napięcia V_{GS} dla tranzystora MOSFET z kanałem N. Do wysterowania bramki niezbędne jest napięcie znacznie przewyższające napięcie źródła.
2. W przypadku mostka potrzebne są cztery MOSFET-y mocy i sterownik, co zwiększa liczbę elementów i koszty.
3. Prawdziwe korzyści uzyskuje się podczas prostowania niższych napięć przy wysokich prądach lub gdy nie można pozwolić sobie na straty w systemie (lub gdy niezbędna jest wysoka wydajność).
4. Ze względu na sposób sterowania i przełączania, w najprostszym rozwiązaniu

Wnioski wyciągnięte podczas projektowania

Projekt opisanych w artykule modułów posłużył jako przypomnienie o potrzebie dbałości o szczegóły i wartości wzajemnej weryfikacji. Większość projektu PCB wykonałem, gdy byłem na wakacjach, a ponieważ było tylko siedem elementów, co mogło pójść nie tak? Jak się okazuje – mnóstwo.

Kiedy tworzyłem bibliotekę CAD dla układu scalonego LT4320, umieściłem „pin" oznaczający pad termiczny dla układu scalonego w niewłaściwym miejscu. Doprowadziło mnie to do założenia, że jest on podłączony do dodatniego wyprowadzenia, a nie ujemnego, czyli tego, do którego powinien być dołączony. Następnie zaprojektowałem siedem wariantów płytki na podstawie schematu, wszystkie płytki z padem termicznym podłączonym do niewłaściwego wyjścia.

Teraz już wiem, że LT4320 będzie działał przez kilka minut z padem termicznym podłączonym do niewłaściwego pinu, ale potem wybuchnie, wyrwie MOSFET-y i spowoduje zwarcie transformatora! Znalazłem błąd po przepaleniu wielu bezpieczników, części wartych 100 dolarów, zmarnowaniu kilku dni i całego mojego zasobu niezbyt ładnych słów. Jakby tego było mało musiałem ponownie wykonać płytki, to kolejna lekcja za 100 dolarów. Uaaa! Wszystko przez około 2 mm źle poprowadzonej ścieżki na PCB.

eprasa.pl 39e0ebb5e6

z półki, zasilacz z dwoma szynami (np. dla wzmacniacza mocy) wymagane są dwa mostki, z których każdy jest zasilany przez jedno z dwóch uzwojeń wtórnych.

5. Wyprostowane napięcie szyny wyjściowej musi utrzymywać się powyżej 9 V, w przeciwnym razie mogą występować niepożądane efekty (więcej na ten temat w dalszej części artykułu).

Najlepsze przypadki zastosowania idealnego prostownika z mostkiem diodowym to sytuacje, w których przestrzeń i zdolność do rozpraszania mocy są ograniczone, gdzie spadek napięcia z transformatora jest niepożądany i gdzie konieczne jest prostowanie niższych napięć przy wyższych prądach.

Jeśli chodzi o wykorzystanie tranzystorów MOSFET do zastąpienia diod, warto zauważyć rosnące wykorzystanie „synchronicznych" przetwornic impulsowych. W tym przypadku zwykłe diody Schottky'ego są zastępowane przez MOSFET-y mocy. Wiele synchronicznych przetwornic impulsowych zawiera wyjście do sterowania MOSFET-ami zastępującymi diody, co skutkuje zwiększoną wydajnością.

Podejście projektowe

Chcąc zbadać tę technologię, nasze wysiłki skupiły się na zintegrowanym rozwiązaniu. Zależało nam na opcji, która mogłaby zostać zastosowana w szeregu projektów i zaprezentować potencjał tej technologii, bez konieczności komplikowania konstrukcji, ani zwiększania kosztów urządzenia,

Przegląd idealnych układów scalonych sterowników diodowych pokazuje, że wiele z nich jest przeznaczonych do zastosowań hot-swap i redundantnych zasilaczy. W takim przypadku wiele zasilaczy jest połączonych w konfigurację „OR", dzięki czemu w przypadku awarii jednego zasilacza, drugi przejmuje obciążenie. W zastosowaniach serwerowych prądy zasilania mogą być bardzo duże, więc zmniejszenie strat diod ma kluczowe znaczenie.

Znaleźliśmy również kilka sterowników do zastosowań motoryzacyjnych, w alternatorach i zabezpieczeniach obwodów. Są one zazwyczaj przeznaczone do urządzeń z jedną linią zasilającą i nie nadają się do bardziej ogólnego prostowania prądu przemiennego. W szczególności, w większości z nich jest stosowana dioda do obsługi samego obwodu. Ogranicza to ich zastosowanie jako ogólnych zamienników diod.

Asortyment dostępnych elementów w tej dziedzinie stale rośnie, więc na rynku pojawiają się nowe układy scalone, które są przydatne w wielu zastosowaniach.

Jeden z naszych Idealnych mostków prostowniczych na płytce Inteligentnego podwójnego zasilacza hybrydowego. Rozwiązanie to zwiększa maksymalne napięcie wyjściowe o około 2 V przy pełnym obciążeniu, jednocześnie zwiększając wydajność i umożliwiając znacznie mniejszą temperaturę pracy pod obciążeniem!

W tym projekcie pokazujemy, jak wykorzystać najbardziej dostępny układ scalony sterownika i zbudować szereg „idealnych mostków diodowych", które mogą w różnych projektach zastąpić konwencjonalne mostki diodowe.

Sterownik, który wybraliśmy, to LT4320. Pozwala on na budowę prostych i kompaktowych płytek, począwszy od małych mostków opartych na tranzystorze MOSFET w obudowie SOT-23, poprzez DPAK (TO-252), aż po bardzo wysokoprądowe wersje TO-220 przeznaczone do montażu przewlekanego. Gdzie można wykorzystać każdy z nich?

- Mostek oparty na elementach w obudowie SOT-23 ma wymiary zaledwie 9 mm × 15 mm i może być stosowany bezpośrednio na zasilaniu DC urządzenia, może być też wlutowany zamiast małego mostka. Dzięki temu przewód zasilający urządzenia będzie niezależny od polaryzacji, bez zauważalnego wpływu na jego działanie.
- Nasze płytki wykorzystujące MOSFET-y SMD DPAK mogą zastąpić popularne mostki SIL 19 mm o rastrze 5 mm lub prostokątne mostki z narożnymi pinami lub złączami widełkowymi (zdjęcie powyżej) i obsługiwać duże prądy.
- Są również dwie „samodzielne" wersje będące w zasadzie tylko małymi płytkami, które można zamontować w obudowie, aby zapewnić funkcję prostowania. Jedna z nich wykorzystuje MOSFET-y w obudowach TO-220 oraz inne elementy przewlekane i może obsługiwać bardzo duże prądy, ograniczone głównie przez samą płytkę drukowaną!

Niestety, jest też kilka ograniczeń lub wymagań, z którymi musimy się zmierzyć, a które początkowo mogą wydawać się uciążliwe. Jednak w rzeczywistych zastosowaniach nie są one trudne do spełnienia:

- LT4320 działa tylko w konfiguracji „single-rail".
- W przypadku wzmacniacza audio należy niezależnie wyprostować wyjścia dwóch uzwojeń wtórnych. Następnie należy podłączyć ujemne wyjście z jednego mostka do dodatniego wyjścia z drugiego mostka, aby uzyskać rozdzielone zasilanie, zwykle na głównej baterii kondensatorów.
- Osiągnęliśmy kompatybilność pinów dla wszystkich większych typów mostków. Jednak mostki typu DIP-8 i W02/W04 są nieco za małe, abyśmy mogli je dopasować, więc jeśli wymieniasz jeden z nich, będziesz musiał zamontować wersję w obudowie SOT-23.
- Minimalne dozwolone napięcie wyjściowe wynosi 9 V DC, a maksymalne napięcie szczytowe to 72 V. Oznacza to, że aby zapewnić rozsądne marginesy bezpieczeństwa, powinniśmy ograniczyć napięcie wejściowe AC do 40 V RMS. Musimy zapewnić minimalne napięcie wyjściowe prostownika, które nie spadnie podczas pracy poniżej 9 V.

Zestawy Idealnych mostków prostowniczych

- SC6850 (30 USD) Wersja z konektorami faston 28 mm
- SC6851 (30 USD) Kwadratowa płytka drukowana 21 mm w wersji z pinami
- SC6852 (30 USD) Wersja SIL o rastrze 5 mm
- SC6853 (25 USD) wersja mini SOT-23
- SC6854 (35 USD) samodzielna wersja D2PAK SMD
- SC6855 (45 USD) samodzielna wersja TO-220 do montażu przewlekanego

eprasa.pl 39e0ebb5e6

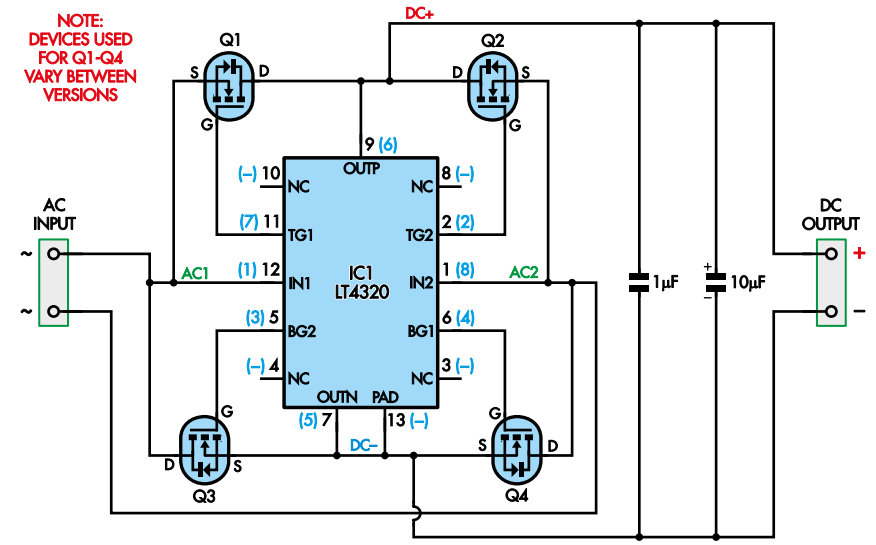
Zasada działania

Działanie układu jest podobne do mostka diodowego, ale z układem scalonym sterownika, który włącza MOSFET-y, gdy jest to wymagane, aby zminimalizować straty. Schemat układu jest przedstawiony na **rysunku 1**, a na **rysunku 2** przedstawiono przepływ prądu w dwóch głównych fazach, gdy mostek przewodzi.

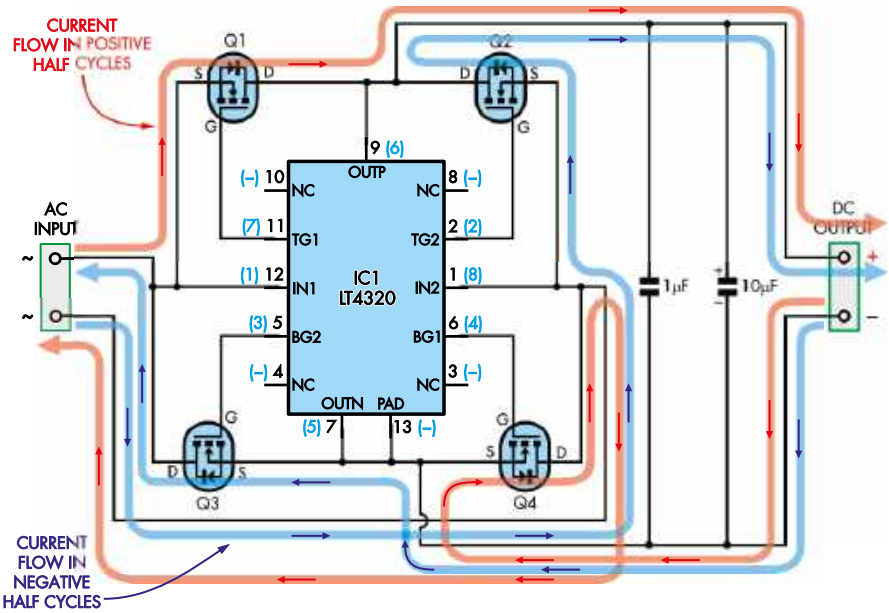
Klucze MOSFET są rozmieszczone tak, że prąd przepływa od ich źródła do drenu podczas normalnej pracy, w przeciwieństwie do standardowego zastosowania klucza MOSFET ze wspólnym źródłem. Dzięki temu prąd przepływa przez wewnętrzne diody MOSFET-a w kierunku przewodzenia.

W związku z tym, w przypadku braku sterownika, prąd płynąłby przez te diody. Występowałby jednak wysoki typowy spadek napięcia przy polaryzacji w kierunku przewodzenia wynoszący 1 V przy wysokich prądach, podobnie jak w przypadku krzemowej diody mocy.

Podczas pracy, LT4320 określa, które z napięć wejściowych (IN1 i IN2) jest na niższym potencjale i włącza Q3 lub Q4 w pełni, aby podłączyć zacisk wejściowy o niższym napięciu do szyny ujemnej, a tym samym do ujemnego wyjścia.



Rysunek 1. Układ jest nieco bardziej złożony niż konwencjonalny mostek prostowniczy. Numery pinów w kolorze czarnym są dla obudów MSOP-12, natomiast te w nawiasach w kolorze cyjanowym są dla DIP-8. Kreski w nawiasach oznaczają piny, które nie istnieją w obudowie DIP-8



Rysunek 2. Podczas części przebiegu sieciowego, gdy napięcie przy górnym wejściu AC jest wyższe niż przy dolnym, układ IC1 włącza tranzystory Q1 i Q4, a prąd płynie czerwonymi ścieżkami. W pozostałej części przebiegu, gdy napięcie przy górnym wejściu AC jest niższe, przewodzą Q2 i Q3, a prąd płynie niebieskimi ścieżkami

Sterownik włącza MOSFET Q1 lub Q2, gdy przepływa przez nie prąd, zmniejszając efektywne napięcie przewodzenia do około 20 mV. Spadek jest ustawiany przez sterownik. Jeśli LT4320 wykryje różnicę większą niż 20 mV między najwyższym napięciem wejściowym AC a zaciskiem wyjściowym, mocniej włączy właściwy MOSFET.

Jeśli MOSFET-y mają stosunkowo wysoką wartość $R_{DS(on)}$, co skutkuje napięciem większym niż 20 mV na tranzystorze MOSFET, zostanie on w pełni włączony, a różnica między wejściem a wyjściem będzie wyższa niż 20 mV.

Sterowanie bramki do MOSFET-ów nie jest bardzo „silne", ponieważ dostarczany jest dość mały prąd. Odzwierciedla to zastosowanie tego układu scalonego do pracy z niską częstotliwością (50/60 Hz) lub do pracy z MT4320-1 (do 600 Hz).

Przy napięciu wyjściowym 9 V DC górnego tranzystora MOSFET (Q1 lub Q2) V_{GS} wynoszącym 2 V, prąd podciągania wynosi zaledwie 500 µA. Zalecany przez nas MOSFET TK6R9P08QM w obudowie SMD DPAK ma pojemność wejściową 2,7 nF. Napięcie bramki będzie więc zmieniać się w tempie 180 mV/µs.

To bardzo wolno w porównaniu z większością zastosowań MOSFET-ów, ale dla częstotliwości sieciowej, jeśli każdy MOSFET jest włączony przez 10% cyklu, daje to 2 ms. Czas włączenia wynoszący około 20 µs to tylko 1% tego okresu. Straty są minimalne, ponieważ przełączanie następuje dokładnie w momencie przejścia cyklu sieciowego.

Kondensator ceramiczny 1 µF na wyprowadzeniach OUTP i OUTN jest ważny dla prawidłowego działania układu, ponieważ zapobiega zbyt szybkim zmianom napięcia wyjściowego. Powinien on znajdować się jak najbliżej układu LT4320.

Idealny mostek prostowniczy może pracować w zakresie 9 V...72 V. Jeśli wyprostowane napięcie wyjściowe spadnie poniżej 9 V, układ LT4320 nie będzie sterować bramek MOSFET-ów, a prostowanie powróci do wewnętrznych diod MOSFET-ów. Jest to dopuszczalne podczas uruchamiania, ale docelowo musimy zapewnić wyprostowane napięcie na szynie powyżej 9 V. Wrócimy do tego w dalszej części.

Podczas testów, do mostka było dołączone na tyle duże obciążenie, że napięcie wyjściowe spadło poniżej 9 V. Stwierdziliśmy, że MOSFET-y nagrzewały się bardziej niż się spodziewaliśmy. Jest to jednak dość nietypowa sytuacja dla prawdziwego mostka prostowniczego.

eprasa.pl 39e0ebb5e6

Wybór komponentów

Wybierając tranzystor MOSFET do projektu należało wziąć pod uwagę kilka kwestii. Przetestowaliśmy układy wyszczególnione w wykazie elementów oraz w sekcji „Płytki Idealnych mostków prostowniczych", ale sądzimy, że również wiele innych elementów działałoby prawidłowo. Oprócz tego, że muszą być w obudowach właściwych dla płytki drukowanej, muszą mieć także wystarczająco wysokie napięcie i duży prąd znamionowy, niską rezystancję włączenia (dla najwyższej wydajności) i napięcie progowe bramka-źródło w odpowiednim zakresie.

W tym drugim przypadku zaleca się, aby było to więcej niż 2 V. Jest to wymagane do zapewnienia dużej szybkości wyłączania MOSFET-a pozwalającej utrzymać wysoką wydajność.

Wiele nowoczesnych MOSFET-ów ma niski próg załączenia bramki pozwalający sterować nimi przez układy o niższym napięciu (często nazywane MOSFET-ami „poziomu logicznego"). Niestety, nie nadają się przez to do projektu. Czasami można je rozpoznać, ponieważ mają zwykle niższą maksymalną wartość znamionową V_{GS}, poniżej ±20 V do ±30 V. Jednak nadal istnieją MOSFET-y poziomu logicznego o wyższej wartości znamionowej V_{GS}, więc należy to uprzednio sprawdzić w nocie katalogowej.

Rozpatrując prąd znamionowy, należy wziąć pod uwagę, że w prostowniku mostkowym prąd płynie zwykle tylko podczas ładowania kondensatorów. W przypadku bardzo dużych baterii kondensatorów i transformatora o niskiej impedancji wewnętrznej, czas ten może być dość krótki, co skutkuje szczytowymi prądami ładowania znacznie większymi niż prąd średni (lub „DC") pobierany z zasilacza.

Zaleca się, aby MOSFET-y miały prąd znamionowy DC trzykrotnie wyższy od średniego prądu stałego. W związku z tym wybraliśmy MOSFET-y o wyższych prądach znamionowych niż można by się spodziewać.

Staraliśmy się jednak za bardzo nie przesadzić, ponieważ ultra wysokoprądowe MOSFET-y mają zwykle dużą pojemność bramki. Układ LT4320 nie zapewnia silnego sterowania bramki, więc spowolniłoby to włączanie i wyłączanie, co skutkowałoby zwiększonymi stratami.

Napięcie znamionowe $V_{DS(MAX)}$ powinno być znacznie wyższe od napięcia, przy którym ma pracować mostek, z odpowiednio dużym marginesem dopuszczającym występowanie dzwonienia i skoków napięcia. Znaleźliśmy tranzystor o minimalnym napięciu 80 V, chociaż nasza wersja SOT-23 jest ograniczona do 40 V.

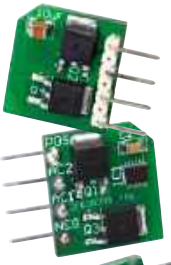
Nagrzewanie się MOSFET-ów zależy przede wszystkim od średniego prądu

Płytki Idealnych mostków prostowniczych:

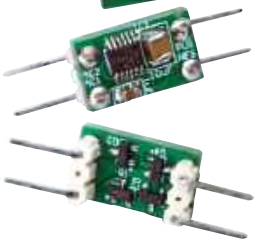
Aby zapewnić maksymalną elastyczność, zaprojektowaliśmy sześć różnych płytek drukowanych, które implementują zasadniczo ten sam układ:

#1 Kwadratowy metalowy mostek 28 mm ze złączami typu faston 6,3 mm
Kompatybilność z KBPC3504
Kod PCB: 18101241 (28 mm × 28 mm z centralnym otworem montażowym)
Prąd i napięcie: 10 A ciągły (20 A szczytowy), 72 V
Złącza: Końcówki faston, męskie, 6,3 mm, wysokość 18 mm
Obudowa IC1: MSOP-12 (SMD)
MOSFET-y: TK6R9P08QM,RQ (DPAK/TO-252 SMD)
Działa przy 10 A w trybie ciągłym i znacznie wyższych prądach w impulsie, ale będzie się nagrzewać. W długotrwałym teście 8 A osiągnął 79°C na wolnym powietrzu.

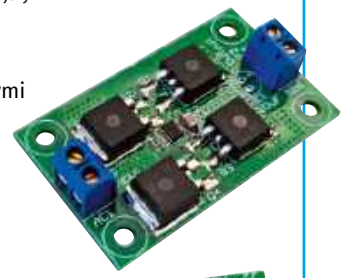
#2 Kwadratowy mostek prostowniczy 21 mm z pinami o rastrze 13 mm (typ PB1004)
Kompatybilny z PB1004
Kod PCB: 18101242 (22 mm × 22 mm z centralnym otworem montażowym)
Prąd i napięcie: 10 A ciągły (20 A szczytowy), 72 V
Złącza: lutowane piny o rastrze 14 mm (można je wygiąć do rastra 13 mm)
Obudowa IC1: MSOP-12 (SMD)
MOSFET-y: TK6R9P08QM,RQ (DPAK/TO-252 SMD)
Zamiennik mostka PB1004, zwykle o wydajności 5 A...10 A. Użyliśmy ich do modernizacji naszego Inteligentnego podwójnego zasilacza hybrydowego.



#3 Raster 5 mm SIL
Kompatybilny z KBL604
Kod PCB: 18101243 (23 mm × 20 mm)
Prąd i napięcie: 10 A ciągły (20 A szczytowy), 72 V
Złącza: lutowane styki o rozstawie 5 mm
Obudowa IC1: MSOP-12 (SMD)
MOSFET-y: TK6R9P08QM,RQ (DPAK/TO-252 SMD)
Moduł zamienny mostka prostowniczego SIL o rastrze 5 mm.



#4 Miniaturowy mostek liniowy
Szerokość W02/W04
Kod PCB: 18101244 (9 mm × 15 mm)
Prąd i napięcie: 2 A ciągłe, 40 V
Złącza: piny lutownicze oddalone od siebie o 5 mm na obu końcach
Obudowa IC1: MSOP-12 (SMD)
MOSFET-y: SI2318DS-GE3 (SOT-23 SMD)
Najmłodszy z rodziny, wersja oparta na układach w obudowie SOT-23, zoptymalizowana do umieszczenia w liniach z układami o niższej mocy. MOSFET-y mają napięcie znamionowe 40 V i natężenie 3,9 A, ale uważamy, że bezpieczniejszym limitem byłoby 1,5 A...2,0 A.



#5 Samodzielna wersja z elementami SMD
Kod PCB: 18101245 (59 mm × 36 mm z otworami montażowymi w prostokącie 49 mm × 26 mm)
Prąd i napięcie: 20 A ciągłe, 72 V
Złącza: Zaciski śrubowe 5 mm na obu końcach
Obudowa IC1: MSOP-12 (SMD)
MOSFET-y: IPB057N06NATMA1 (D2PAK/TO-263 SMD)
Wersja D2PAK, którą testowałem przez pół godziny przy 12 V AC i 8 A (z kondensatorze 35 mF z obciążeniem 2 Ω).

#6 Samodzielna wersja z elementami THT
Kod PCB: 18101246 (38 mm × 28 mm z miedzią o grubości 70 µm i otworami montażowymi oddalonymi od siebie o 29 mm)
Prąd i napięcie: 40 A ciągły, 72 V
Złącza: Końcówki faston, męskie, 6,3 mm, wysokość 18 mm
Obudowa: IC1: DIP-8 (THT)
MOSFET-y: TK5R3E08QM,S1X (TO-220 do montażu przewlekanego)
Wersja TO-220 jest trochę bestią i, wraz z wersją D2PAK pokazaną powyżej, z łatwością poradzi sobie z prądami 8 A...10 A RMS w sposób ciągły. Wykorzystuje układ scalony sterownika DIP-8 i pozwala na zamontowanie radiatora na MOSFET-ach, jeśli chcesz wyprostować duże prądy. Wszystkie przedstawione tu zdjęcia nie są pokazane w skali.

eprasa.pl 39e0ebb5e6

i rezystancji $R_{DS(ON)}$. W przypadku MOSFET-a TK6R9P08QM DPAK, którego używamy w wielu wersjach modułów, typowa rezystancja $R_{DS(ON)}$ jest określana na 5,5 mΩ dla V_{GS} > 10 V.

Układ LT4320 dostarcza do bramek około 11 V dla napięć powyżej 13 V. Dla średniego prądu 10 A, skutkuje to rozproszeniem mocy 550 mW w każdym przewodzącym tranzystorze MOSFET lub 275 mW na tranzystor MOSFET dla wejścia AC, co można łatwo kontrolować, a płytki tylko się nagrzewają.

Dla prądu o natężeniu 20 A, wydzielana moc wzrasta do około 1 W na MOSFET, co powoduje, że tranzystory mocno się grzeją. W takim przypadku należy rozważyć zastosowanie układów w obudowach TO-220.

Zalecany MOSFET w obudowie TO-220 ma $R_{DS(ON)}$ 4,2 mΩ przy pełnym wysterowaniu i przy 40 A spadek napięcia na nim będzie równy 160 mV. W zwykłym mostku przy takim prądzie byłoby to bliżej 1,2 V. Rozpraszanie mocy w każdym mosfecie wynosiłoby 3,5 W dla wejścia AC, co jest wartością znaczącą, ale możliwą do opanowania przy użyciu małych radiatorów. W tym przypadku zwykły mostek oparty na diodach stałby się bardzo gorący, ponieważ rozpraszałby 48 watów na diodę!

Układ scalony LT4320 jest dostępny w wersji SMD (MSOP-12) i przewlekanej (DIP-8). Układy te są w ofercie u wszystkich wiodących dostawców komponentów i zostaną dołączone do zestawów Silicon Chip.

W przypadku MOSFET-ów staraliśmy się wybierać standardowe elementy, przy czym preferujemy obudowy DPAK (TO-252), ponieważ są wystarczająco duże, aby poradzić sobie z dużym obciążeniem (~1 W), nie zajmując przy tym dużo miejsca na płytce. Inne MOSFET-y, których używaliśmy, są dostępne w obudowach TO-220 (do naprawdę wysokoprądowych zastosowań) i malutkich SOT-23 (gdy jest mało miejsca).

Trzymając się standardowych wymiarów, można w razie potrzeby użyć elementów alternatywnych.

Projekt płytki drukowanej

Aby zmieścić się w dostępnej przestrzeni, w większości prezentowanych przez nas modułów stosowane są elementy do montażu powierzchniowego. Postanowiliśmy ponadto umieścić komponenty po obu stronach płytki drukowanej, ponieważ było to niezbędne do dopasowania niektórych popularnych formatów mostków prostowniczych.

W przypadku modułów o wyższym natężeniu prądu, musimy być świadomi obciążalności prądowej ścieżek PCB. Dopasowanie elementów do płytki KBPC3504, wraz z bardzo szerokimi ścieżkami, które gwarantują prąd znamionowy 30 A...40 A, jest sporym wyzwaniem. W naszej wersji udało się zachować krótkie i grube ścieżki wysokoprądowe, ale wymusiło to nieco większy rozmiar niż w oryginalnym mostku.

Nie ma określonej „wartości znamionowej" dla ścieżek PCB. Istnieją wytyczne, ale występuje zbyt wiele zmiennych, aby realistycznie prosto określić dokładną szerokość ścieżki. Należy jednak wziąć pod uwagę spadek napięcia i nagrzewanie. W szczególnych warunkach ścieżki mogą się przepalić jak bezpiecznik.

Zastosowaliśmy PCB z miedzią o grubości 2oz (2 uncje – 70 µm) odpowiednią dla tranzystorów w obudowie TO-220. Jest to grubość dwukrotnie większa niż na standardowej płytce z miedzią o grubości 35 µm (1 uncja). Zmniejszy to o połowę straty rezystancyjne w płytce drukowanej za cenę tego, że będzie ona znacznie droższa i trudniejsza do lutowania ze względu na grubą miedź działającą jak radiator. Będzie to natomiast zaleta podczas pracy, gdyż ciepło będzie szybciej odprowadzane z komponentów.

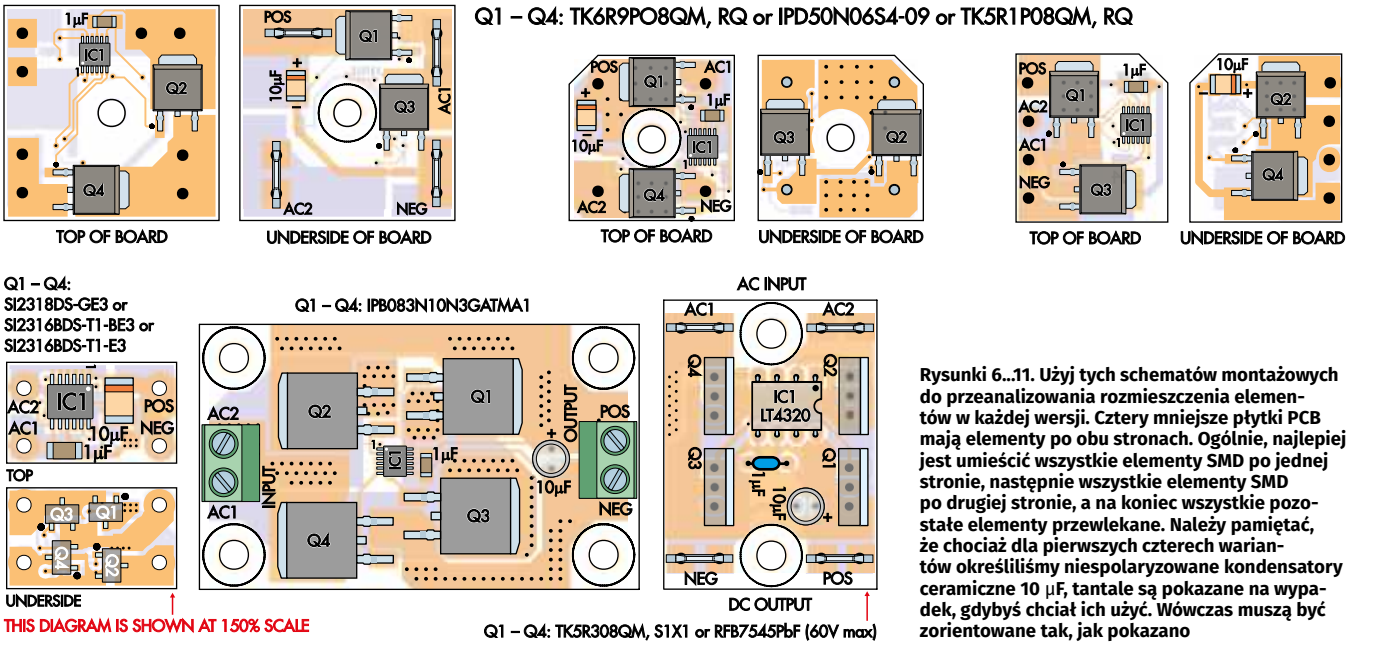
Oczywiste jest, że przy wysokich prądach nawet „idealna dioda" wymaga szczególnej uwagi w zakresie mocy znamionowej, strat i rozpraszania. Są one jednak zredukowane do poziomu, na którym można opracować praktyczne rozwiązanie. Jeśli używasz tego rozwiązania przy naprawdę dużych prądach, zalecamy zwrócenie szczególnej uwagi na straty i ciepło. Należy obowiązkowo sprawdzić, czy wybrany moduł nie nagrzewa

Rysunek 3. Cyjanowy przebieg to dodatni fragment wejściowego napięcia AC, żółty to przefiltrowany przebieg wyjściowy DC, a fioletowy to dodatni przebieg sterujący bramką MOSFET-a. Cyjanowy przebieg AC jest przesunięty o –2 V, w przeciwnym razie fioletowy przebieg zasłaniałby go przez większość czasu

Rysunek 4. Konfiguracja podobna do tej z rysunku 2, ale tym razem monitorujemy bramkę jednego z MOSFET-ów low-side (fioletowy). Widać, że jest on włączony z wypełnieniem zbliżonym do 50%, zsynchronizowanym z przejściami przez zero przebiegu AC

Rysunek 5. Te same przebiegi, co na rysunku 2, ale bez przesunięcia –2 V na wejściu AC. MOSFET-y IPP083N10N na tej płytce ustabilizowały się w temperaturze 38°C w laboratorium. Z drugiej strony sztuczne obciążenie mierzyło 130°C

eprasa.pl 39e0ebb5e6



Rysunki 6...11. Użyj tych schematów montażowych do przeanalizowania rozmieszczenia elementów w każdej wersji. Cztery mniejsze płytki PCB mają elementy po obu stronach. Ogólnie, najlepiej jest umieścić wszystkie elementy SMD po jednej stronie, następnie wszystkie elementy SMD po drugiej stronie, a na koniec wszystkie pozostałe elementy przewlekane. Należy pamiętać, że chociaż dla pierwszych czterech wariantów określiliśmy niespolaryzowane kondensatory ceramiczne 10 µF, tantale są pokazane na wypadek, gdybyś chciał ich użyć. Wówczas muszą być zorientowane tak, jak pokazano

się nadmiernie przy oczekiwanym maksymalnym poborze prądu.

Przebiegi w układzie i weryfikacja działania

Na **rysunkach 3** i **4** przedstawiono przebiegi na wejściu, wyjściu i na bramce dla Idealnego mostka prostowniczego działającego przy prądzie 4 A RMS. Należy zauważyć, że wejście AC jest przesunięte o –2 V, aby zapewnić lepszą widoczność wykresów – spadek napięcia na tranzystorze MOSFET jest tak mały, że przez większość czasu wyjście wizualnie „śledzi" wejściowy prąd przemienny. Bramka jest sterowana napięciem przekraczającym 10 V, więc MOSFET jest w pełni włączony.

Aby zilustrować niski spadek napięcia na tranzystorze mocy MOSFET nawet przy 4 A, na **rysunku 5** pokazano przebiegi wejściowe i wyjściowe bez przesunięcia.

Po zbudowaniu modułów zdecydowaliśmy się przeprowadzić kilka ekstremalnych testów, ponieważ nie chcieliśmy, aby nasi Czytelnicy złożyli je tylko po to, aby wybuchły! Obciążyliśmy 28-milimetrowy mostek (kompatybilny z KBPC3504) tak, aby pobierał z transformatora toroidalnego prąd 5 A RMS i pozostawiliśmy go w stanie włączonym na kilka godzin. Idealny mostek prostowniczy ustabilizował się w temperaturze 42°C. Zwiększenie prądu do 8 A doprowadziło do osiągnięcia temperatury 72°C, co jest zrozumiałe dla tego prądu.

Po zamianie na zwykły mostek KBPC3504 przy prądzie 4 A bez radiatora, po kilku minutach temperatura ustaliła się na 79°C.

Jak pokazaliśmy wcześniej, „ulepszyliśmy" nasz Inteligentny podwójny zasilacz

Wykaz elementów:

Części wspólne dla wersji #1 do #4 (od Mouser, DigiKey lub element14)

1 LT4320IMSE#TRPBF układ scalony kontrolera mostka idealnego, MSOP-12 (IC1)
1 1 µF 100 V X7R M3216 SMD kondensator ceramiczny [CL31B105KCHNNNE]
1 kondensator ceramiczny 10 µF 100 V X7S M3225 SMD [GRM32EC72A106KE5K]

#1 Wersja ze złączami typu faston 28 mm

1 dwustronna PCB kod 18101241, 28 mm × 28 mm
4 złącza pionowe faston, męskie, 6,3 mm do montażu na płytce drukowanej [Altronics H2094, opakowanie 10 sztuk]
4 TK6R9P08QM,RQ, IPD50N06S4-09 lub TK5R1P08QM,RQ MOSFET N-kanałowy, DPAK/TO-252 (Q1...Q4)

#2 21 mm wersja z kwadratowymi pinami PCB

1 dwustronna płytka kod 18101242, 22 mm × 22 mm
1 drut miedziany ocynowany o długości 10 cm i średnicy 1,5 mm
4 TK6R9P08QM,RQ, IPD50N06S4-09 lub TK5R1P08QM,RQ MOSFET N-kanałowy, DPAK/TO-252 (Q1...Q4)

#3 wersja SIL o rastrze 5 mm

1 dwustronna PCB kod 18101243, 23 mm × 20 mm
1 drut miedziany ocynowany o długości 10 cm i średnicy 1,5 mm
4 TK6R9P08QM,RQ, IPD50N06S4-09 lub TK5R1P08QM,RQ MOSFET N-kanałowy, DPAK/TO-252 (Q1...Q4)

#4 Wersja Mini SOT-23

1 dwustronna płytka kod 18101244, 9 mm × 15 mm
1 drut miedziany ocynowany o długości 10 cm i średnicy 0,7-1 mm
4 SI2318DS-GE3, SI2316BDS-T1-BE3 lub SI2316BDS-T1-E3 MOSFET-y z kanałem typu N, SOT-23 (Q1...Q4)

#5 Autonomiczna wersja D2PAK SMD

1 dwustronna płytka drukowana kod 18101245, 59 mm × 36 mm
2 mini poziome listwy zaciskowe o rozstawie 5 mm lub 5,08 mm
1 LT4320IMSE#TRPBF układ scalony kontrolera mostka idealnego, MSOP-12 (IC1)
1 1 µF 100 V X7R M3216 SMD kondensator ceramiczny [CL31B105KCHNNNE]
1 10 µF 100 V radialny kondensator elektrolityczny, raster 2,5 mm, średnica ≤ 6,3 mm [Kemet ESL106M100AE3AA]
4 IPB083N10N3GATMA1 MOSFET-y N-kanałowe, D2PAK/TO-263 (Q1...Q4) [ESL106M100AE3AA]

#6 Samodzielna wersja TO-220 do montażu przewlekanego

1 dwustronna PCB kod 18101246, 38 mm × 28 mm, z miedzią o grubości 70 µm
4 złącza pionowe faston, męskie, 6,3 mm do montażu na płytce drukowanej [Altronics H2094, opakowanie 10 sztuk]
1 LT4320IN8#PBF układ scalony kontrolera mostka idealnego, DIP-8 (IC1)
4 TK5R3E08QM,S1X (80 V) lub RFB7545PbF (60 V) MOSFET-y z kanałem typu N, TO-220 (Q1...Q4)
1 1 µF 100 V X7R radialny kondensator ceramiczny, raster 5 mm [RDER72A105K2M1H03A]
1 kondensator elektrolityczny radialny 10 µF 100 V, raster 2,5 mm, średnica ≤ 6,3 mm [Kemet ESL106M100AE3AA]

eprasa.pl 39e0ebb5e6

Moje prymitywne obciążenie nichromowe osiągnęło temperaturę 320°C, natomiast MOSFET-y w samodzielnym module D2PAK osiągnęły tylko 67°C

hybrydowy za pomocą Idealnych mostków prostowniczych, co pozwala zaoszczędzić 10 W ciepła na płytkę przy pełnej mocy wyjściowej lub 20 W łącznie. W tym celu użyliśmy modułów w formacie PB1004 i przylutowaliśmy je bezpośrednio do płytki drukowanej, ponieważ przy prądzie 5 A nie nagrzewają się na tyle, by wymagać radiatora.

Podczas testów korzystaliśmy z konfiguracji testowej z transformatorem wyjściowym 12 V AC, Idealnym mostkiem prostowniczym i kondensatorem 22 mF. Wszystko szło świetnie, dopóki nie zmniejszyliśmy rezystancji obciążenia do około 1 Ω, a napięcie wyjściowe spadło poniżej 9 V z powodu rozładowania kondensatora między cyklami.

Układ LT4320 przestał sterować MOSFETami i zamiast 20 mV na nich, nagle pojawiło się napięcie około 1 V na wewnętrznych diodach przy około 15 A. Z MOSFET-ów DPAK szybko wydostał się dym. Zalecamy unikanie takiej sytuacji.

Budowa

Przy tak niewielkiej liczbie elementów na płytce, konstrukcja jest prosta. Zapoznaj się ze schematem montażowym (schematami) dla dowolnej wersji, którą będziesz budować, pokazanymi na **rysunkach 6...11**.

Głównym wyzwaniem jest to, że we wszystkich wersjach oprócz tej, która zawiera tranzystory w obudowie TO-220, używamy układu scalonego LT4320 w obudowie MSOP-12 z padem termicznym na spodzie obudowy. Pad termiczny sprawia, że układ ten jest trudniejszy w lutowaniu niż popularny element w obudowie SOIC/SOP SMD. Istnieją dwie (lub trzy) praktyczne opcje lutowania:

1. Korzystanie z pieca rozpływowego. Jeśli posiadasz już taki piec, prawdopodobnie wiesz, jak zamontować element. Każdy piec ma swoje własne dziwactwa, więc ich zrozumienie pozostawimy Tobie.
2. Użyj opiekacza jako „prowizorki". Możesz przeczytać artykuły na temat przekształcania tostera w piec rozpływowy (kwiecień i maj 2020. siliconchip.au/Series/343), ale istnieje również „szybka i brudna" metoda, która sprawdzi się w praktyce.

   Kup tani toster i przymocuj termoparę typu K do płytki. Nałóż pastę lutowniczą na pady i ostrożnie umieść lutowane elementy na wierzchu. Rozgrzej płytkę PCB do 100°C w piekarniku, a następnie ustaw jego temperaturę na maksimum. Obserwuj uważnie wskazania, aż temperatura osiągnie 220°C. W tym momencie powinieneś zobaczyć rozpływ lutowia. Natychmiast wyłącz piekarnik i otwórz drzwiczki.
3. Użyj lutownicy hot-air. Korzystając z niej zbudowaliśmy wszystkie prototypy, aby przekonać się, że metoda ta sprawdzi się (patrz zdjęcie). Pomimo tego, że posiadamy piec rozpływowy, często używamy lutownicy na gorące powietrze, ponieważ montaż z użyciem tego narzędzia jest szybki i łatwy. Użyliśmy tej techniki tylko dla układu LT4320, pozostawiając łatwiejsze kondensatory i MOSFET-y do lutowania ręcznego. Kluczowe kroki to:
   a. Nałóż niewielką ilość pasty lutowniczej na każdy pad i centralny pad termiczny. Nie należy z tym przesadzać; wystarczy niewielka ilość. Używamy pasty lutowniczej cynowo-ołowiowej 60/40, ponieważ topi się ona w niższej temperaturze, dzięki czemu ogólnie łatwiej się z nią pracuje. Nic nie stoi na przeszkodzie, aby użyć lutu bezołowiowego, ale należy pamiętać, że wymaga on wyższych temperatur.
   b. Umieść układ LT4320 za pomocą pęsety. Powinno być wystarczająco dużo

Lutowanie układu scalonego MSOP-12 LT4320 przy użyciu taniej stacji lutowniczej na gorące powietrze. Jest ona nieoceniona przy różnego rodzaju pracach, szczególnie ułatwia rozlutowywanie układów SMD. W tym przypadku wymarzoną cechą jest możliwość podgrzania układu scalonego na tyle, aby przylutować jego termiczny pad do płytki

eprasa.pl 39e0ebb5e6

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

pasty lutowniczej, aby element pewnie przylutować na miejscu, ale nie tak dużo, aby się rozpływała.

c. Sprawdź bardzo dokładnie, czy układ LT4320 jest prawidłowo zamontowany. Jest to zdecydowanie najdroższy element w tym projekcie.
d. Umieść płytkę na powierzchni odpornej na ciepło, na przykład takiej jak odcięta płytka PCB. Nie kładź na biurku, ponieważ bardzo się ono nagrzeje!
e. Ustaw pistolet hot-air na około 300°C.
f. Ogrzewaj płytkę delikatnym ruchem falistym z odległości około 15 cm, tak aby płytka wokół układu scalonego była ogrzewana w miarę równomiernie. Chcemy podgrzać płytkę do temperatury około 100°C przez około minutę.
g. Gdy płytka jest już dobrze rozgrzana, zbliż dyszę hot-air na odległość około 5 cm...10 cm od płytki i ogrzewaj dookoła układ scalony. Miej pod ręką pincetę. Jeśli układ bardzo się poruszy, może być konieczne przesunięcie go z powrotem na miejsce. Mimo to, jeśli nadmuchujesz powietrze bezpośrednio z góry, napięcie powierzchniowe zazwyczaj przyciągnie układ na miejsce.
h. Obserwuj pastę lutowniczą. Gdy temperatura płyty zbliża się do 220°C, pasta zmienia się z matowej ziarnistej pasty w błyszczącą ciecz. Zmiana ta jest znacząca, więc trudno jej nie zauważyć.
i. Gdy lut się topi, wytwarza również duże napięcie powierzchniowe i przyciągnie układ scalony do odpowiedniej pozycji.
j. Nie należy przegrzewać płytki. Gdy cały lut się rozpłynie, odsuń dyszę.
k. Poczekaj, aż płytka ostygnie w naturalny sposób. Nie polewaj płytki żadnymi płynami, aby przyspieszyć chłodzenie.
l. Po zakończeniu lutowania możesz zaobserwować mostki na kilku pinach. Przyłóż do nich plecionkę lutowniczą i używając nagrzanego grota usuń mostek. Nadmiar lutowia powinien osadzić się na plecionce. Dodanie odrobiny topnika do mostka lutowniczego zazwyczaj pomaga. Przy odrobinie wprawy jest to działanie szybkie i łatwe.

W przypadku pozostałych elementów SMD dobrze sprawdzi się zwykła lutownica. Najczęściej lutujemy jedno z wyprowadzeń SMD i upewniamy się, że element jest ułożony prosto. W przypadku elementów pasywnych z dwoma wyprowadzeniami pozostaje przylutować to drugie.

W przypadku MOSFET-ów, przyłóż grot do źródła (główne wyprowadzenie) przy padzie na PCB. Umieść niewielką ilość lutowia między grotem a płytką i poczekaj, aż lutowie wypłynie.

Gdy zarówno pad, jak i wyprowadzenie elementu będą gorące, lut swobodnie rozpłynie się pod elementem. Następnie można przylutować pozostałe małe wyprowadzenia.

Złącza faston, męskie, 6,3 mm, złącza śrubowe lub przewody są elementami przewlekanymi, więc należy je lutować tradycyjną metodą.

Testowanie

Testowanie Idealnego mostka prostowniczego nie jest skomplikowane i można je przeprowadzić przy niskim poborze mocy.

Najpierw podłącz rezystor 220 Ω 1 W do wyjścia lub inny rezystor o mocy znamionowej, która będzie wystarczająca do tego, żeby rezystor nie uległ zniszczeniu przy napięciu DC, które zastosujemy w kolejnych krokach. Podłącz multimetr do rezystora testowego z dodatnią linią miernika do dodatniego wyjścia Idealnego mostka prostowniczego.

Podłącz zasilanie 12 V DC do wejścia Idealnego mostka prostowniczego i sprawdź, czy miernik napięcia wskazuje na wyjściu wartość +12 V. Sprawdź, czy spadek napięcia jest mniejszy niż 100 mV. Następnie zamień biegunowość napięcia wejściowego i sprawdź, czy wyjście nadal daje odczyt +12 V, a spadek napięcia jest nadal mniejszy niż 100 mV.

Jeśli pomiary wypadną negatywnie:

- Sprawdź wszystkie połączenia lutowane.
- Sprawdź kierunek montażu układu scalonego LT4320.
- W przypadku korzystania z MOSFET-ów w obudowach TO-220 sprawdź ich kierunek montażu.
- W przypadku montażu modułu w wersji THT należy sprawdzić polaryzację kondensatora elektrolitycznego.
- Sprawdź konfigurację testową, czy zasilacz ma ograniczenie prądowe? Sprawdź napięcie wejściowe.

Użytkowanie

Wśród sześciu różnych modułów prawdopodobnie znajdziesz rozwiązanie typu „drop in". Mostki SIL i 19 mm powinny być lutowane bezpośrednio do płytki drukowanej zaprojektowanej dla zwykłego mostka prostowniczego.

W przypadku wzmacniacza audio najlepiej byłoby zamontować dwie wersje autonomiczne w obudowie i do każdej z nich dołączyć osobne uzwojenia.

Należy pamiętać, że układ LT4320 działa w zakresie od 9 V do 72 V. Jeśli napięcie wyjściowe spadnie poniżej tego zakresu, układ LT4320 nie będzie sterował MOSFET-ami, a mostek będzie działał tylko przy użyciu diod wewnętrznych. Jest to dopuszczalne przy uruchamianiu układu, ale przy dużych prądach wydzielana moc może być duża.

Stanowi to problem tylko wtedy, gdy projekt wykorzystuje niskie napięcia szyn, w przeciwnym razie prawdopodobnie zrobisz coś tak głupiego jak my i wysterujesz prostownik tak mocno, że kondensator rozładuje się w pełni między cyklami 50 Hz. Nie zdarzy się to w typowym zasilaczu lub wzmacniaczu mocy.

Wnioski

Idealny mostek prostowniczy może znacznie poprawić wydajność niemal każdego układu, który wymaga prostownika, i to przy zaledwie niewielkim wzroście całkowitego kosztu urządzenia.

Co najważniejsze, w przypadku urządzeń takich jak zasilacze i wzmacniacze audio, można uzyskać jeszcze większe napięcie wyjściowe lub moc, niż w przypadku standardowego prostownika diodowego.

Nie należy jednak zapominać, że w przypadku zastosowań takich jak wzmacniacz audio z dzielonymi szynami (dodatnią i ujemną), w przeciwieństwie do prostownika opartego na diodach, potrzebne będą dwa takie urządzenia, po jednym dla każdej szyny zasilającej. Transformator również musi mieć dwa oddzielne uzwojenia wtórne. Wynika to z faktu, że układ sterujący monitoruje tylko napięcie na dwóch górnych MOSFET-ach.

Dzięki sześciu różnym konstrukcjom w różnych rozmiarach, wartościach znamionowych prądu i napięcia, z pewnością znajdziesz taki, który będzie właściwy do Twojej aplikacji. ■

Phil Prosser

Materiały dodatkowe dostępne są na stronie Silicon Chip:
https://www.siliconchip.com.au/Shop/8/6843

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

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

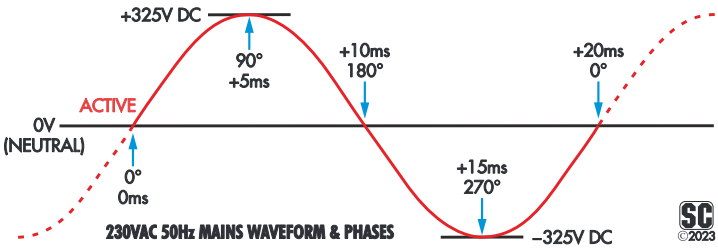
eprasa.pl 39e0ebb5e6

Aktywny „miękki start” do obciążeń sieciowych, część 1

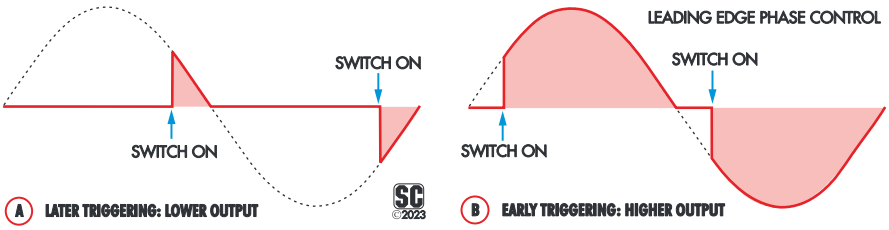
Zasilane z sieci energetycznej urządzenia o dużym prądzie rozruchowym mogą przy pierwszym załączeniu powodować różnego rodzaju problemy – uszkodzenia, zaniki napięcia w sieci, wyłączanie bezpiecznika. Prezentowany układ „miękkiego startu” zapobiega silnemu udarowi prądowemu, zastępując go powolnym narastaniem prądu i zmniejszając „szarpnięcie”, które towarzyszy załączaniu wielu urządzeń.

Czy używaliście kiedyś elektronarzędzia, które przy załączeniu wyrywało się z ręki? A może macie zestaw komputerowy, elektroakustyczny lub inny, który cały chcecie zasilić z jednego gniazda? Może się zdarzyć, że podczas włączania tego zestawu zadziała bezpiecznik automatyczny, co będzie Was zmuszało do pofatygowania się do skrzynki z bezpiecznikami.

Zasilane z sieci narzędzia wyposażone w silnik – pilarki tarczowe, piły tarczowe,



Rysunek 1. Napięcie sieci jest sinusoidą o częstotliwości 50 Hz. Jest dodatnie przez jedną połowę okresu i ujemne przez drugą



Rysunek 2. W tradycyjnym sterowaniu fazą wiodącą, moment załączenia jest zmienny, ale wyłączenie odbywa się zawsze przy przejściu napięcia przez zero. Im wcześniej odbędzie się załączenie, tym więcej mocy będzie dostarczane do obciążenia

...ciąg dalszy obok

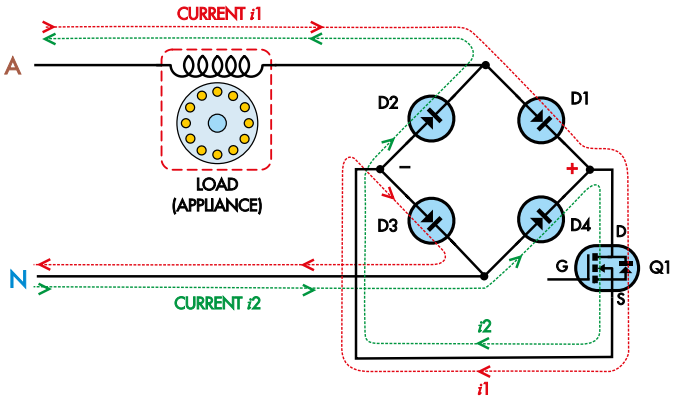
eprasa.pl 39e0ebb5e6

Parametry układu „miękkiego startu”:

- Jest przeznaczony do elektronarzędzi stacjonarnych i przenośnych o mocy do 750 W
- Nadaje się również do wzmacniaczy, komputerów i innych urządzeń o dużym prądzie rozruchowym
- Znamionowy prąd ciągły: 10 A
- Wykorzystuje sterowanie fazą nadążną
- Załączanie: po stronie sieci zasilającej lub przełącznikiem w dołączonym urządzeniu
- Po zakończeniu rozruchu obwód „miękkiego startu” jest zwierany przekaźnikiem, co minimalizuje straty mocy
- Sześć stopni czasu rozruchu – od pół sekundy do 10 sekund
- Wskaźniki: zasilania, przebiegu rozruchu i zakończenia rozruchu

Uwaga: napięcie sieci!

W całym układzie „miękkiego startu” występują potencjały sieci energetycznej 230 V. Kontakt z punktami układu może mieć śmiertelny skutek. Izolacja różnych części układu względem siebie bynajmniej nie oznacza, że niektórych miejsc można bezpiecznie dotykać. NIE MOŻNA! Izolowanie od siebie fragmentów układu wynika z różnych potencjałów tych fragmentów i nie ma na celu zapewnienia bezpieczeństwa!



Rysunek 3. W układzie „miękkiego startu” MOSFET z kanałem N jest podłączony przez mostek diodowy, więc prąd płynie zawsze od drenu do źródła. Pasożytnicza dioda MOSFETa nigdy nie jest spolaryzowana w kierunku przewodzenia. Kierunki prądu: (i1) gdy napięcie przewodu fazowego sieci jest bardziej dodatnie niż przewodu neutralnego; (i2) gdy napięcie przewodu fazowego jest ujemne w stosunku do neutralnego

szlifierki ręczne, frezarki – mogą wykonać raptowny ruch, gdy podczas rozruchu silnika moment obrotowy obróci narzędziem. Ruch ten może być niebezpieczny. W przypadku piły, wiertarki czy frezarki może on spowodować przemieszczenie się elementu tnącego z pozycji roboczej i uszkodzenie obrabianego elementu.

Podczas załączania można nieraz usłyszeć nieprzyjemne „plaśnięcie” dobiegające z przełącznika lub wtyczki, wskazujące, że element ten został przeciążony dużym prądem rozruchowym.

Wszystkie te problemy rozwiązują układy tzw. „miękkiego startu” – takie jak ten opisany w tym artykule.

Oprócz urządzeń z mocnymi silnikami, dużym prądem rozruchowym charakteryzują się układy zawierające transformatory toroidalne czy zasilacze impulsowe, w których wyprostowane napięcie sieciowe ładuje duży kondensator lub baterię kondensatorów. Ich pojemność stanowi zwarcie w momencie pierwszego załączania zasilania, wywołując ogromny prąd udarowy.

Opisywany układ aktywnego „miękkiego startu” znacznie zmniejsza prądy rozruchowe pobierane z sieci energetycznej, rozwiązując opisane powyżej problemy. Jest przeznaczony do urządzeń, które są załączane i wyłączane wielokrotnie z dużą częstością (jak np. elektronarzędzia), a jego działanie nie pogorszy się, a on sam się nie przegrzeje przy wielokrotnych uruchomieniach, o ile jest używany w swoim dopuszczalnym zakresie.

Układ może być używany z narzędziami silnikowymi o mocy do 750 W oraz do zasilaczy z dużymi pojemnościami.

Dwa sposoby używania

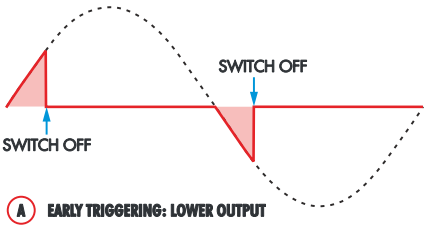
Jednym ze sposobów używania „miękkiego startu” jest podłączenie do niego zasilanego urządzenia i załączenie na stałe jego wyłącznika. Zasilanie będziemy wtedy załączać po stronie sieci. Rozwiązanie to nadaje się, gdy chcemy zasilić z jednego gniazda kilka urządzeń. W takim przypadku proces łagodnego rozruchu rozpoczyna się po załączeniu sieci zasilającej. Po zakończeniu rozruchu układ „miękkiego startu” dostarcza pełne napięcie sieciowe.

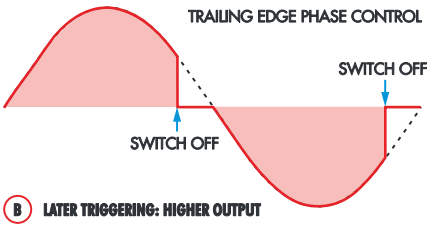
Drugą metodą jest zasilenie układu „miękkiego startu” na stałe i włączanie/wyłączanie zasilanego z niego urządzenia jego własnym przełącznikiem. Ta metoda jest odpowiednia do elektronarzędzi.

W obu przypadkach układ „miękkiego startu” wykrywa, kiedy urządzenie jest załączane i wyłączane, monitorując prąd obciążenia. „Miękki start” rozpoczyna się dopiero po wykryciu przepływu prądu. Po wyłączeniu urządzenia przepływ prądu ustaje, a układ jest gotowy do następnego łagodnego rozruchu.

Moc znamionowa 750 W

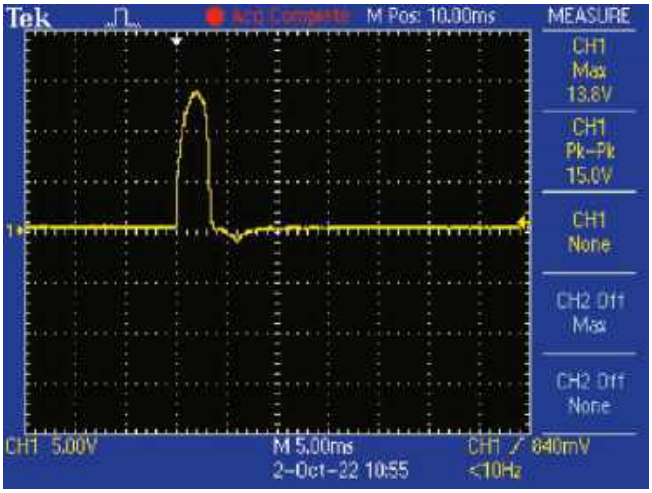
Przetestowaliśmy układ „miękkiego startu” z różnymi obciążeniami i elektronarzędziami. Stwierdziliśmy, że działa poprawnie z odbiornikami o mocy do 750 W. Przy większej mocy niektóre części nieprzyjemnie się nagrzewały – nie mówiąc o tym, że parametry niektórych elementów układu nie dopuszczają przeciążenia. W przypadku sprzętu takiego jak komputery i wzmacniacze, czasy rozruchu są krótkie.



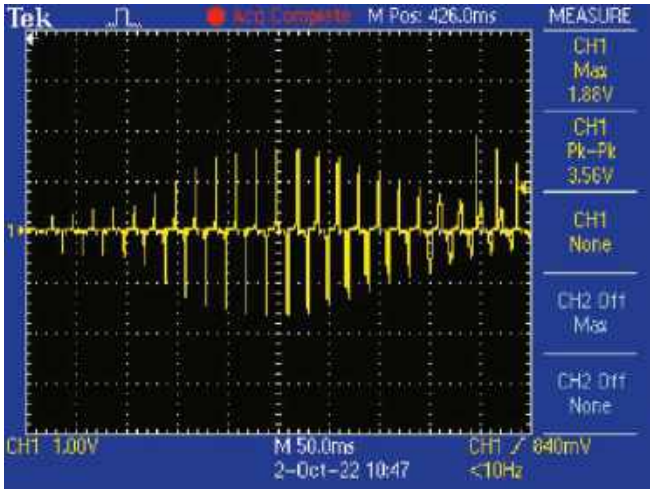


W sterowaniu fazą nadążną jest podobnie, tyle że przy przejściu przez zero obciążenie jest załączane, natomiast wyłączane – w pewnym momencie później. Im później, tym większa moc będzie dostarczana do obciążenia

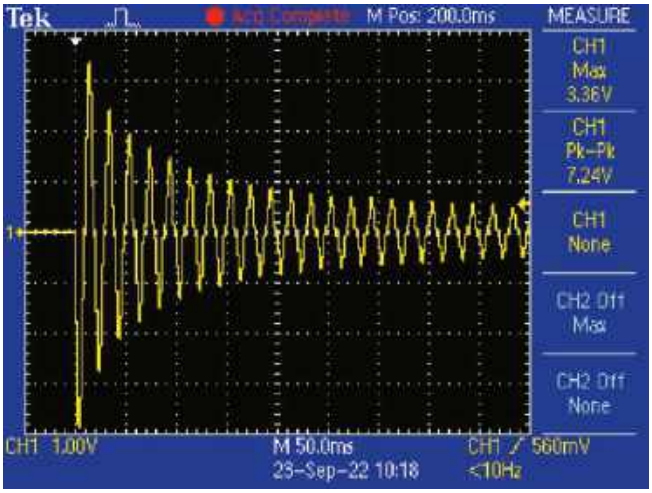
eprasa.pl 39e0ebb5e6



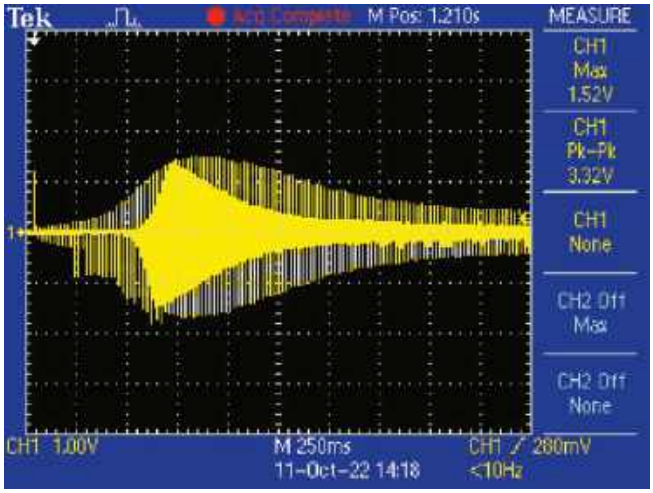
Oscylogram 1. Załączenie zestawu wzmacniaczy. Prąd osiąga wartość szczytową 138 A; po 6 ms następuje wyłączenie bezpiecznika



Oscylogram 2. Dzięki układowi „miękkiego startu" zestaw wzmacniaczy może być załączany bez reakcji bezpiecznika



Oscylogram 3. Szlifierka kątowa 750 W pobiera w pierwszym półokresie napięcia zasilania 40 A. Prąd spada do 6 A dopiero po pół sekundzie



Oscylogram 4. Z „miękkim startem" szlifierka kątowa rozpędza się cztery razy wolniej i już nie szarpie przy starcie

Wtedy można załączać moce znacznie wyższe, sięgające nawet 2,3 kW (prąd 10 A).

Chcąc używać elektronarzędzi o mocy powyżej 750 W warto rozważyć zbudowanie naszego udoskonalonego dwupołówkowego regulatora prędkości obrotowej silnika, wyposażonego w funkcję miękkiego rozruchu (Silicon Chip, kwiecień 2021 r.; www.siliconchip.au/Article/14814). Regulator jest przystosowany do prądu 10 A, a zatem powinien obsłużyć każde elektronarzędzie podłączane do standardowego gniazdka sieciowego. Można go na stałe ustawić na pełną prędkość i korzystać wyłącznie z jego funkcji łagodnego rozruchu.

Prezentacja

Układ aktywnego „miękkiego startu" został umieszczony w zwartej plastikowej obudowie z wejściowym złączem sieciowym IEC z jednej strony i gniazdem do urządzenia z drugiej. Na górze znajdują się trzy wskaźniki neonowe. Jeden sygnalizuje obecność zasilania wejściowego. Drugi pokazuje powolny wzrost napięcia na wyjściu do urządzenia. Trzeci zapala się po zakończeniu fazy miękkiego rozruchu.

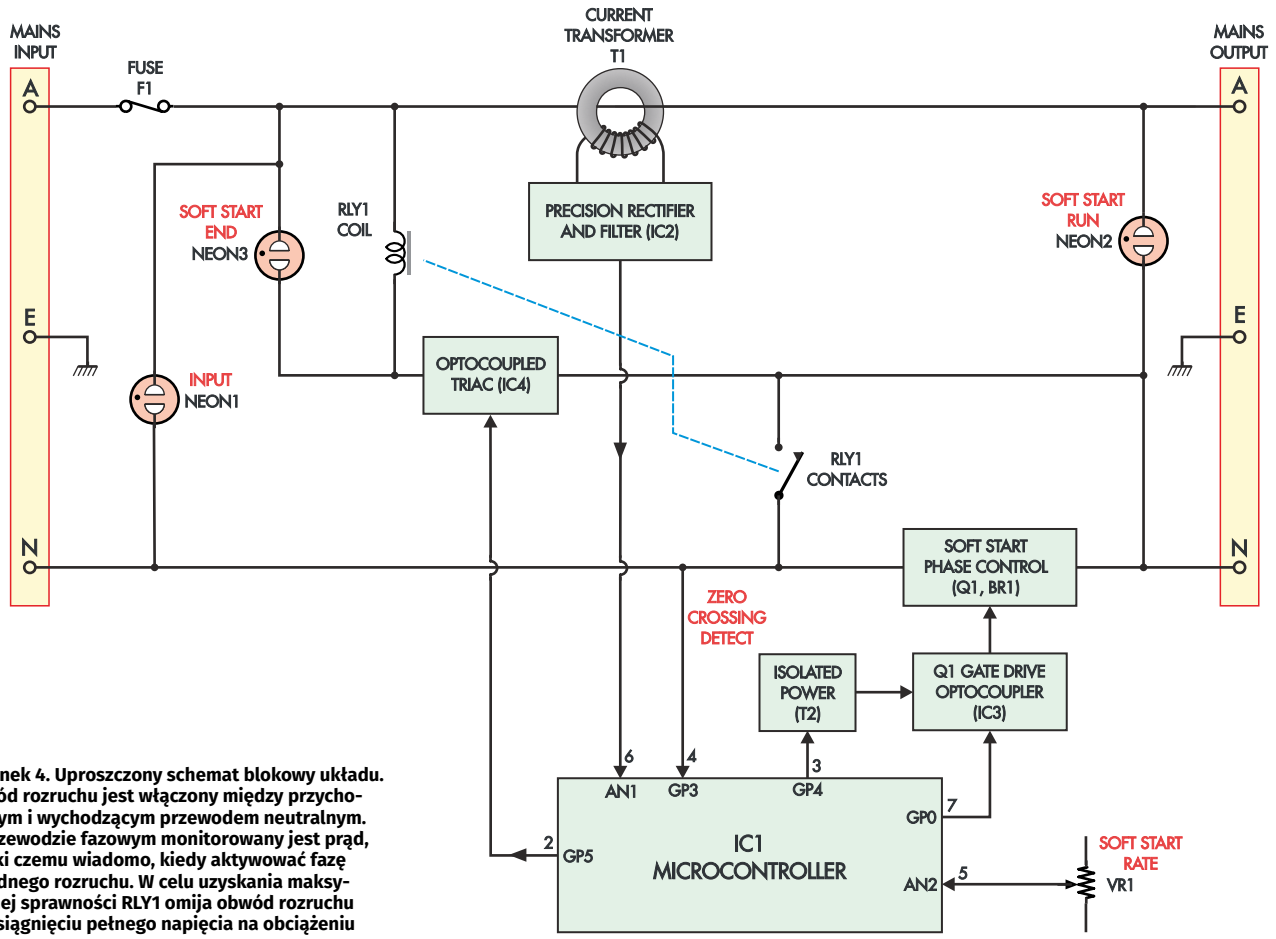
Neonówki są bardzo czułe i świecą już przy małym natężeniu prądu, więc nie obrazują w pełni przebiegu „miękkiego startu". Pomagają jednak zorientować się, co układ robi w danej chwili.

Sposoby „miękkiego startu"

Standardową metodą zredukowania prądu udarowego jest włączenie rezystancji w szereg z linią zasilania, co powoduje ograniczenie maksymalnego prądu. W Silicon Chip opublikowaliśmy dotychczas dwa układy „miękkiego startu" wykorzystujące ten sposób – jeden w kwietniu 2012 roku (www.siliconchip.au/Article/705), a drugi w lipcu 2012 roku (www.siliconchip.au/Article/601). W obu projektach zastosowano termistory o ujemnym współczynniku temperaturowym (NTC). Element taki działa jak rezystor, który zmniejsza swoją rezystancję, gdy nagrzewa się od przepływającego przez niego prądu. Gdy termistor jest zimny, jego rezystancja jest stosunkowo duża, więc prąd jest ograniczony. W trakcie, gdy termistor się nagrzewa, jego rezystancja spada i pozwala na przepływ większego prądu. W obu układach po pewnym czasie termistor jest zwierany przez styki przekaźnika, dzięki czemu do dołączonego urządzenia doprowadzane jest pełne napięcie zasilania. Ominięcie termistora po zakończeniu „miękkiego startu" zapobiega dalszemu grzaniu się tego elementu i pozwala mu ostygnąć, dzięki czemu jest on gotowy do kolejnego „miękkiego startu".

Jeśli jednak urządzenie jest załączane wielokrotnie w krótkich odstępach czasu, termistor nie ma czasu na ostygnięcie, więc będzie się utrzymywać jego mała rezystancja. W takich przypadkach układ „miękkiego startu" nie jest zbyt skuteczny.

eprasa.pl 39e0ebb5e6



Rysunek 4. Uproszczony schemat blokowy układu. Obwód rozruchu jest włączony między przychodzącym i wychodzącym przewodem neutralnym. W przewodzie fazowym monitorowany jest prąd, dzięki czemu wiadomo, kiedy aktywować fazę łagodnego rozruchu. W celu uzyskania maksymalnej sprawności RLY1 omija obwód rozruchu po osiągnięciu pełnego napięcia na obciążeniu

Inną kwestią jest to, czy termistor NTC przetrwa długotrwałe użytkowanie, pracując z urządzeniem, które przy załączaniu pobiera znaczny prąd. Jeśli zasilanie zostaje załączone w chwili maksimum fali napięcia sieciowego, prąd początkowy może być bardzo wysoki, zwłaszcza jeśli termistor jest nadal gorący. Z czasem może to spowodować degradację parametrów termistora czy nawet jego uszkodzenie.

Układ prezentowany w tym artykule zawiera termistor, jednakże wykorzystuje też sterowanie fazowe napięcia sieciowego. Początkowo do obciążenia przepuszczana jest niewielka część przebiegu. Z biegiem czasu proporcja przebiegu napięcia sieci przyłożonego do obciążenia wzrasta, aż do osiągnięcia pełnego cyklu. Wtedy załącza się styk przekaźnika i obwód „miękkiego startu" zostaje ominięty. Dzięki tym środkom nagrzewanie się termistora jest minimalne, wielokrotne uruchamianie nie stanowi problemu, a cały układ jest bardzo niezawodny.

Sterowanie fazy zawsze rozpoczyna się na początku okresu, gdy napięcie sieci jest bliskie zeru. Stosowany tutaj typ sterowania nazywany jest sterowaniem fazą nadążną, w przeciwieństwie do często stosowanej metody sterowania fazą wiodącą.

Zbocze narastające kontra opadające

Rysunek 1 przedstawia kształt napięcia sieci zasilającej, a **rysunek 2** obydwa typy sterowania zasilaniem. Napięcie w naszej sieci zasilającej (o wartości skutecznej standardowo 230 V) jest sinusoidą, powtarzającą się 50 razy na sekundę, tj. z częstotliwością 50 Hz. W przypadku sterowania fazowego moc jest przekazywana przez część każdej połowy okresu. Przebiegi oznaczone na rysunku 2 jako „A" ilustrują sytuację, w której do obciążenia jest przekazywane tylko napięcie odpowiadające małemu kątowi fazowemu fali sinusoidalnej. W przebiegu „A" po lewej stronie przekazywanie napięcia odbywa się między końcową częścią półokresu a przejściem przez zero. W prawym przebiegu „A" przekazywanie napięcia zaczyna się w chwili przejścia przez zero i kończy chwilę później. Na obydwu wykresach „A" pola kolorowych fragmentów są takie same, a więc oba przebiegi mają taką samą wartość skuteczną. Różnica polega na tym, że jeden z nich załącza się pod koniec półokresu (sterowanie fazą wiodącą), a drugi na początku półokresu (sterowanie fazą nadążną).

Sterowanie fazą wiodącą było przez ostatnie 50 lat szeroko stosowane, głównie w ściemniaczach oświetlenia opartego na żarówkach z żarnikiem. Wynika to z faktu, że sterowanie takie można zrealizować w prostym układzie z triakiem. Jest to element półprzewodnikowy, który można załączyć, puszczając prąd przez jego bramkę, natomiast wyłączyć bramką go nie można. Triak wyłącza się, gdy prąd przez niego płynący spada do wartości bliskiej zeru.

Sterowanie fazą wiodącą nie nadaje się jednak do łagodnego rozruchu układów, w których występuje ładowanie kondensatora. Jeśli do tego typu układu zostanie nagle przyłożone napięcie, wywoła to zawsze wielki prąd udarowy – nawet wtedy, gdy kąt fazowy, przy którym nastąpiło włączenie, był bardzo mały (przypis redaktora: lewy przebieg „A" na rysunku 2). Tutaj właściwym rozwiązaniem będzie sterowanie fazą nadążną. Układ włącza się teraz przy przejściu napięcia sieci przez zero, czyli gdy różnica potencjałów między przewodami sieciowymi jest niewielka lub nie ma jej wcale (przypis redaktora: przebiegi „A" i „B" po prawej na rysunku 2). Następnie napięcie rośnie stosunkowo powoli – zgodnie z kształtem fali sinusoidalnej – ładując pojemność. Obwód ładowania kondensatora musi oczywiście

eprasa.pl 39e0ebb5e6

zawierać prostownik. Prąd jest pobierany z sieci w impulsach, ale znacznie łagodniejszych i niepowodujących złych skutków.

Przeprowadzając „miękki start" stopniowo zwiększamy czas trwania fali przekazywanej do obciążenia. Kondensator ładuje się w małych przyrostach. W każdym kolejnym cyklu faza trochę się wydłuża, a zatem napięcie szczytowe jest nieco wyższe. Kondensator zostaje w pełni naładowany, choć trwa to dłużej niż w przypadku pełnego włączenia zasilania.

Nawiasem mówiąc, sterowanie fazą wiodącą jest używane również w ściemniaczach oświetlenia LEDowego, ponieważ LEDy są zwykle zasilane z zasilacza impulsowego z kondensatorem na wejściu (SMPS). Jeśli chcecie dowiedzieć się więcej na ten temat – w lipcu 2017 roku w Silicon Chip Leo Simpson opublikował artykuł o ściemniaczach z fazą wiodącą i nadążną (www.siliconchip.au/Article/10712).

Wadą sterowania fazą nadążną jest to, że nie można użyć triaka. Potrzebny jest element przełączający, który można wyłączyć w dowolnej części okresu napięcia sieci.

Uproszczony schemat sposobu sterowania fazą nadążną, jaki stosujemy w tym projekcie, przedstawiono na **rysunku 3**. Użyliśmy tranzystora polowego z izolowaną bramką (MOSFET) i mostka prostowniczego. Dzięki temu, że MOSFET jest włączony poprzez mostek prostowniczy, prąd płynie zawsze od drenu do źródła. Na rysunku pokazano przepływ prądu: i1, gdy napięcie w przewodzie A sieci jest bardziej dodatnie niż w N, oraz i2, gdy napięcie A jest ujemne w stosunku do N. MOSFET pozwala nam załączać i wyłączać obciążenie w dowolnych momentach okresu napięcia sieci.

Wykaz elementów:

1 × dwustronna metalizowana płytka drukowana; kod 10110221, 159 × 109 mm
1 × obudowa; 171 × 121 × 55 mm z poliwęglanu lub ABS [Altronics H0478, Jaycar HB6218].
1 × nalepka na panel; 153 × 107 mm
1 × gniazdo sieciowe IEC na panel; 10 A; z wbudowanym bezpiecznikiem
1 × kabel sieciowy IEC 10 A
1 × gniazdo sieciowe
1 × przekładnik prądowy Talema AX1000 lub AC1010 10 A (T1)
1 × przekaźnik na panel Hongfa HF105F-4/240A1HSTF 30 A 240 V AC, cewka 240 V AC (RLY1)
1 × termistor NTC SL32 10015 15 A 265 V AC (NTC1)
3 × neonowy wskaźnik sieciowy w obudowie z tworzywa sztucznego (NEON1-NEON3); opcjonalnie
1 × bezpiecznik szybki 10 A M205 (F1)
4 × podwójny złącze śrubowe 15 A 300 V (CON1-CON4)
1 × potencjometr liniowy 100 kΩ do montażu na PCB (VR1)
1 × 8-pinowa podstawka DIL do układów scalonych (do IC1)
1 × ferrytowy rdzeń toroidalny 18 × 10 × 6 mm (do T2)

Sprzęt i przewody

1 × miedziany drut nawojowy emaliowany o długości 1,25 m i średnicy 0,25 mm (dla T2)
2 × izolowana zaciskana końcówka żeńska 4,8 mm
1 × przewód sieciowy na 7,5 A niebiesko-brązowy o długości 350 mm
1 × przewód sieciowy 10 A niebieski o długości 200 mm
1 × przewód sieciowy 10 A brązowy o długości 250 mm
1 × przewód sieciowy 10 A w zielono-żółte paski o długości 150 mm
1 × rurka termokurczliwa o długości 75 mm i średnicy 10 mm
1 × rurka termokurczliwa o długości 20 mm i średnicy 5 mm (niebieska, czerwona i zielona; ew. czarna)
1 × rurka termokurczliwa o długości 20 mm i średnicy 3 mm (niebiesko-czerwona; ew. czarna)
1 × kawałek taśmy termoprzewodzącej 20 × 15 mm
2 × nylonowa śruba z łbem stożkowym M3 × 10 mm
2 × śruba z łbem walcowym M3 × 15 mm
4 × śruba z łbem walcowym M3 × 6 mm
4 × nakrętka sześciokątna M3
17 × opaska kablowa 100 mm

Półprzewodniki

1 × mikrokontroler 8-bitowy PIC12F617-I/P w obudowie DIP-8, zaprogramowany kodem 1011022A.hex (IC1)
1 × podwójny wzmacniacz operacyjny rail-to-rail MCP6272T-E/SN w obudowie SOIC-8 (IC2)
1 × transoptor 4N28 lub 4N25 w obudowie DIP-6 (IC3)
1 × optotriak MOC3042M lub MOC3043M w obudowie DIP-6 (IC4)
1 × MOSFET N-kanałowy SIHS36N50D-GE3 36 A 500 V w obudowie TO-247 (Q1)
1 × mostek prostowniczy PB5006 45 A 600 V (BR1)
1 × dioda Zenera 6,2 V 1 W, np. 1N4735 (ZD1)
2 × dioda Zenera 15 V 1 W, np. 1N4742 (ZD2, ZD3)
1 × dwukierunkowy element antyprzepięciowy (TVS) 4KE15CA, 400 W, napięcie znamionowe 12,8 V (TVS1)
1 × dwukierunkowy element antyprzepięciowy (TVS) 1.5KE400CA, 1500 W, napięcie znamionowe 342 V (TVS2)
1 × dwukierunkowy element antyprzepięciowy (TVS) 4KE400CA, 400 W, napięcie znamionowe 342 V (TVS3)
1 × dioda 1N4004, 400 V 1 A (D1)
2 × dioda 1N4148 75 V 200 mA (D2, D3)

Kondensatory

1 × polipropylenowy metalizowany (PP) 22 nF, klasa X2
1 × polipropylenowy metalizowany (PP) 220 nF, klasa X2
1 × polipropylenowy metalizowany (PP) 470 nF, klasa X2
1 × poliestrowy MKT 4,7 nF 63 V lub 100 V
4 × poliestrowy MKT 100 nF 63 V lub 100 V
1 × ceramiczny wielowarstwowy 1 µF 50 V
2 × elektrolityczny 10 µF 16 V
1 × elektrolityczny 470 µF 16 V

Rezystory (wszystkie o mocy 1/2 W, metalizowane, ±1%, o ile nie zaznaczono inaczej)

2 × 47 Ω	1 × 100 Ω	1 × 150 Ω 1 W ±5%	1 × 330 Ω
1 × 470 Ω 1 W ±5%	1 × 1 kΩ 5 W ±5% drutowy	1 × 1,5 kΩ	1 × 2,2 kΩ
2 × 10 kΩ	1 × 15 kΩ	1 × 18 kΩ	1 × 20 kΩ
1 × 22 kΩ	1 × 30 kΩ	1 × 330 kΩ 1 W ±5%	3 × 1 MΩ 1 W ±5%

Wyniki

Zmierzyliśmy prąd rozruchowy zestawu wzmacniaczy, który podczas normalnego załączania wyłączyłby bezpiecznik automatyczny. Przeprowadziliśmy również testy ze szlifierką kątową o mocy 750 W.

W przypadku wzmacniaczy, obciążeniem przy rozruchu jest zasadniczo blok kondensatorów ładujących się podczas włączania zasilania. Gdy są rozładowane, reprezentują zwarcie, powodując przy pierwszym załączeniu zasilania przepływ ogromnego prądu. Pokazuje to **oscylogram 1**. Skala pionowa to 50 A na działkę. Prąd rozruchowy osiągnął wartość szczytową około 138 A, po czym zadziałał bezpiecznik. Czas reakcji bezpiecznika był krótszy niż półokres napięcia sieci wynoszący 10 ms (od początku narastania prądu do małego impulsu ujemnego zmierzyliśmy 6 ms).

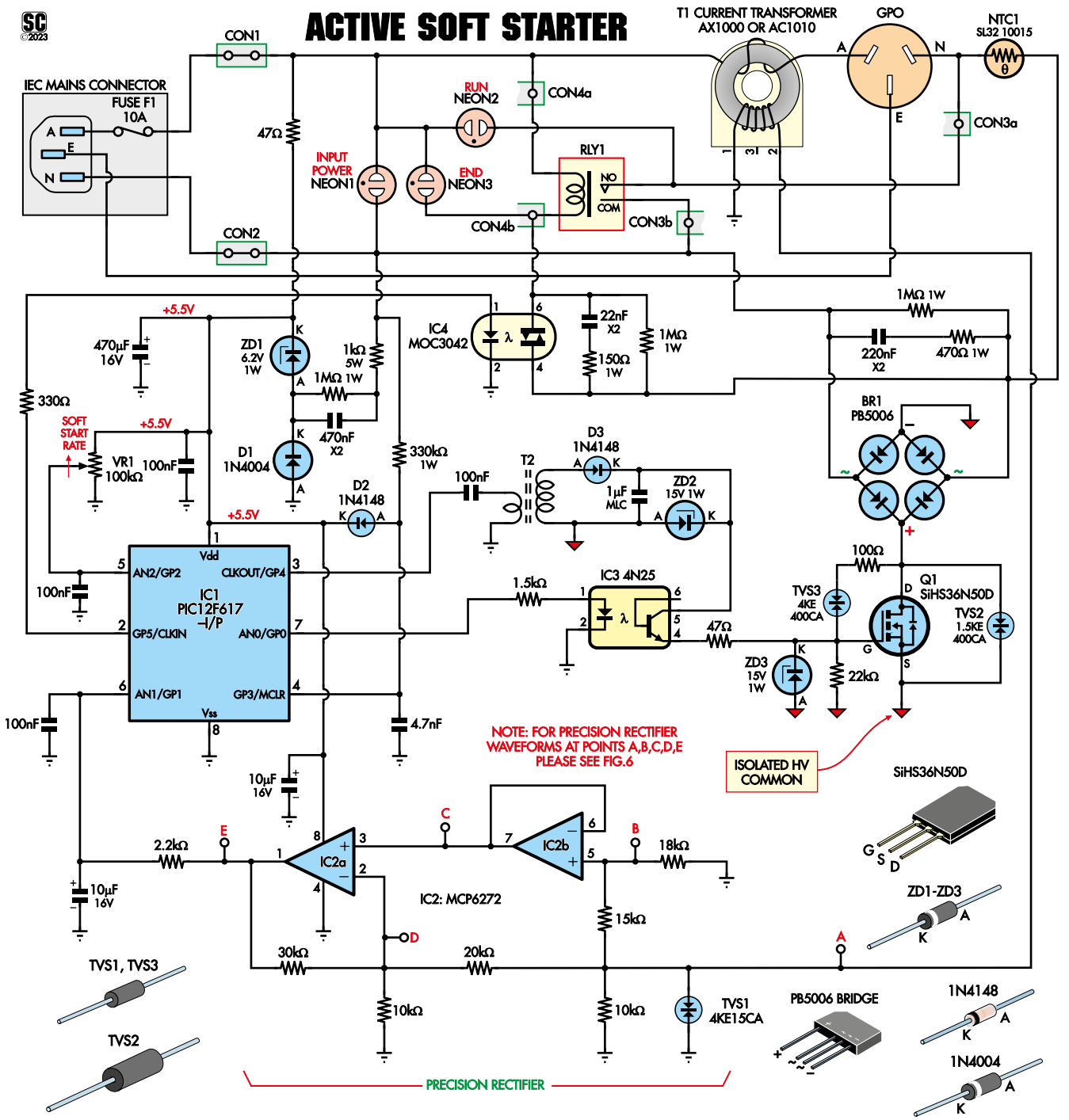
Oscylogram 2 przedstawia prąd rozruchowy tego samego obciążenia podłączonego przez aktywny „miękki start". Oscylogram obejmuje teraz dłuższy okres – podstawa czasu wynosi 50 ms a nie 5 ms. Prąd został znacznie ograniczony; ma niewielkie maksima sięgające około 17 A. Kondensatory wzmacniacza zostają w pełni naładowane w ciągu około 500 ms, dlatego po tym czasie następuje spadek pobieranego prądu.

W przypadku szlifierki kątowej 750 W prąd rozruchowy (**oscylogram 3**) osiąga wartość szczytową prawie 40 A w kierunku ujemnym, a następnie około 34 A w kierunku dodatnim, po czym zmniejsza się po 450 ms do wartości około 6 A. Po dołączeniu „miękkiego startu" (**oscylogram 4**, ponownie z dłuższą podstawą czasu) prąd na początku jest niewielki i wzrasta w ciągu 750 ms do około 13 A, po czym przez dwie sekundy spada do około 5 A. „Rozkręcanie się" szlifierki trwa znacznie dłużej, a to oznacza, że daje ona znacznie mniejszego „kopa".

Schemat blokowy

Rysunek 4 przedstawia schemat blokowy układu aktywnego „miękkiego startu". Prąd z sieci zasilającej (A) przechodzi przez bezpiecznik i trafia do gniazda wyjściowego, do którego podłączamy zasilane urządzenie. Przepływ prądu jest monitorowany przez przekładnik prądowy T1. Przewód neutralny sieci (N) nie jest dołączony do wyjścia bezpośrednio, lecz przechodzi przez

eprasa.pl 39e0ebb5e6



Rysunek 5. Układem sterującym jest mikrokontroler PIC (IC1). Wytwarza on izolowane napięcie zasilania bramki MOSFETa, podając przebieg prostokątny o dużej częstotliwości na transformator T2. Steruje bramką MOSFETa poprzez transoptor IC3. Monitoruje prąd obciążenia, mierząc napięcie wyjściowe z przekładnika prądowego T1, wyprostowane dwupołówkowo w prostowniku na podwójnym wzmacniaczu operacyjnym IC2. MOSFET chronią przed przepięciami dwa elementy antyprzepięciowe i dioda Zenera

obwód „miękkiego startu", składający się z MOSFETa Q1 i mostka prostowniczego BR1. Po zakończeniu „miękkiego startu" obwód ten jest omijany stykami przekaźnika.

Przewód fazowy sieci (A) dwukrotnie przechodzi przez środek przekładnika prądowego T1, tworząc jego uzwojenie pierwotne. W odizolowanym uzwojeniu wtórnym powstaje napięcie proporcjonalne do prądu obciążenia. Jest ono prostowane w precyzyjnym prostowniku dwupołówkowym i filtrowane dolnoprzepustowo. Powstające w ten sposób wygładzone napięcie stałe jest podawane na wejście analogowe AN1 mikrokontrolera IC1.

Pomiar prądu służy do dwóch celów. Pierwszym z nich jest monitorowanie momentu załączenia obciążenia w celu zainicjowania miękkiego rozruchu. Drugim celem jest wykrycie, że obciążenie zostało wyłączone, aby przygotować układ do następnego załączenia.

Mikrokontroler IC1 steruje wszystkimi funkcjami „miękkiego startu". Monitoruje prąd obciążenia, steruje bramkę MOSFETa, cewkę przekaźnika, odczytuje położenie potencjometru nastawiającego szybkość

eprasa.pl 39e0ebb5e6

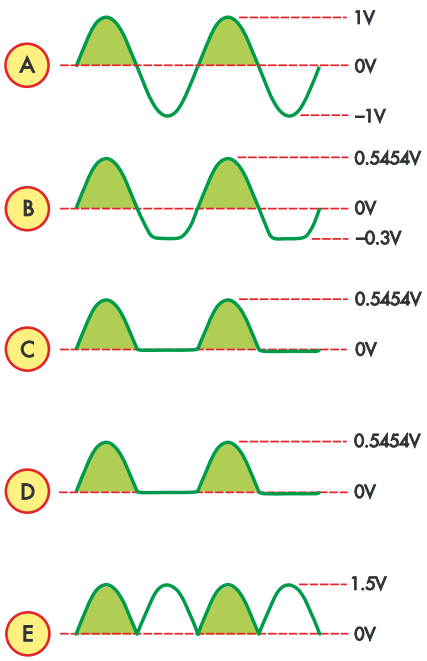
rozruchu, a także wykrywa moment przejścia napięcia sieci przez zero.

Sterowanie bramki MOSFETa musi być odniesione do ujemnego bieguna mostka prostowniczego. Nie jest to potencjał ani przewodu neutralnego (N), ani fazowego (A). Aby IC1 mógł sterować MOSFETem, musi występować izolacja elektryczna między IC1a bramką Q1. Jest ona zrealizowana poprzez izolowane zasilanie i sterowanie obwodu bramki.

Izolowane zasilanie jest wytwarzane przez cyfrowe wyjście GP4 układu IC1, które dostarcza falę prostokątną o częstotliwości 1 MHz i amplitudzie 5,5 V. Przebieg ten jest podwyższany i izolowany przez transformator T2. Po wyprostowaniu i filtrowaniu uzyskuje się napięcie stałe odpowiednie do załączania bramki Q1.

Bramka jest sterowana z wyjścia cyfrowego GP0 układu IC1. Wyjście to steruje transoptor IC3, zawierający podczerwoną diodę LED elektrycznie izolowaną od przełączanego optycznie tranzystora. Tranzystor steruje napięciem na bramce MOSFETa Q1.

Sterowanie cewki przekaźnika również jest elektrycznie izolowane. Odbywa się za pośrednictwem optotriaka (IC4). Cewka przekaźnika jest na napięcie zmienne 230 V. Górny zacisk cewki jest dołączony do przewodu fazowego (A), a optotriak dołącza jej dolny zacisk do przewodu neutralnego. Optotriak IC4 ma wewnątrz diodę LED, która wyzwala triak optycznie. Użyty typ MOC3042 jest zwykle używany do sterowania bramki mocniejszego triaka, ale w naszym układzie używamy go tylko do załączania cewki przekaźnika.



Rysunek 6. Przebiegi ilustrujące, jak działa precyzyjny prostownik aktywny używany w układzie monitorowania prądu. Odpowiadają one typowym przebiegom w punktach A...E przy założeniu, że w punkcie A występuje sinusoida o wartości międzyszczytowej 2 V, odpowiadająca prądowi o wartości skutecznej około 88 mA, płynącemu przez obciążenie rezystancyjne

Na rysunku 4 nie pokazano zasilania mikrokontrolera IC1. Zasilanie tego układu jest czerpane z sieci przez kondensator szeregowy, który działa jako ogranicznik prądu dla diody Zenera. W ten sposób powstaje napięcie zasilania 5,5 V. Plus tego zasilania jest na potencjale przewodu fazowego sieci.

Do regulacji czasu łagodnego rozruchu służy potencjometr VR1. Jest on dołączony do zasilania 5,5 V i podaje regulowane napięcie na wejście analogowe AN2 mikrokontrolera.

Wskaźniki neonowe

NEON1 świeci, gdy na wejściu sieciowym jest zasilanie. NEON2 jest podłączony na wyjściu do obciążenia, więc w trakcie łagodnego rozruchu jest początkowo zgaszony, a po zakończeniu rozruchu osiąga pełną jasność. Nazwaliśmy go „Run" (w wolnym tłumaczeniu „praca"; przypis redaktora). I wreszcie NEON3 – zapala się po zakończeniu łagodnego rozruchu, gdy jest już załączony przekaźnik. Został nazwany „End" („koniec"; przypis redaktora).

Szczegóły układu

Schemat ideowy układu pokazano na **rysunku 5**. Wiele elementów zostało już wyjaśnionych w oparciu o schemat blokowy. Kilka fragmentów nie zostało jednak opisanych szczegółowo.

Jak już wspomniano, cewką przekaźnika steruje optotriak IC4. Użyliśmy układu MOC3042 z funkcją wykrywania przejścia napięcia przez zero, więc wbudowany triak zawsze włącza się w zerze napięcia zasilania. Dla naszego układu nie jest to absolutnie konieczne, ale na pewno nie szkodzi. Wbudowany triak zostaje załączony, gdy przez wewnętrzną podczerwoną diodę LED przepływa prąd co najmniej 10 mA. Na zaciskach triaka znajduje się kondensator „sieciowy" 22 nF X2 w szeregu z rezystorem 150 Ω (tzw. „snubber"; przypis redaktora). Obwód ten ogranicza prędkość narastania napięcia, dzięki czemu triak nie załącza się samoczynnie po pierwszym podłączeniu zasilania do układu. Rezystor 1 MΩ dla bezpieczeństwa rozładowuje kondensator, gdy zasilanie jest wyłączone.

„Snubber" ogranicza nagłe zmiany napięcia na triaku dzięki ładowaniu się kondensatora przez rezystor. Zapobiega to wzrostowi napięcia szybszemu niż 1000 V/µs, co stanowi maksymalną wartość dV/dt dla wewnętrznego triaka w MOC3042. Nieprzekraczanie tej wartości gwarantuje, że triak nie załączy się sam.

Innym środkiem zapobiegawczym jest dołączenie jednego z zacisków triaka do przewodu neutralnego po stronie obciążenia, a nie po stronie wejścia z sieci zasilającej. Dzięki temu po pierwszym podłączeniu zasilania na triaku nie ma napięcia. Gdy rozpoczyna się proces łagodnego rozruchu, napięcie na triaku rośnie w kontrolowanym tempie.

Zabezpieczenie MOSFETa

Podobnie jak w przypadku optotriaka IC4, na zaciskach wejściowych mostka prostowniczego BR1 również znajduje się „snubber" – 220 nF/470 Ω, który zmniejsza prędkość skoków napięcia na MOSFEcie Q1. Do tego obwodu też jest dołączony rezystor 1 MΩ, zapobiegający porażeniu napięciem pozostającym w kondensatorze. „Snubber" sprawia, że przez obciążenie płynie niewielki prąd zanim jeszcze rozpocznie się „miękki start". Prąd ten jest wystarczający do wykrycia załączenia obciążenia i zainicjowania łagodnego rozruchu.

Q1 jest chroniony przed przepięciami, które mogłyby go uszkodzić. Maksymalna dopuszczalna wartość napięcia dren-źródło wynosi dla niego 500 V. Przekroczeniu tej wartości zapobiegają dwa elementy antyprzepięciowe (TVS).

TVS2 jest podłączony bezpośrednio między drenem a źródłem MOSFETa i zaczyna przewodzić, gdy napięcie przekroczy 400 V (napięcie zmienne 255 V daje po wyprostowaniu napięcie stałe około 360 V). Element ten może jednak ulec uszkodzeniu, jeśli przepięcie będzie miało zbyt dużą energię.

Dlatego zastosowano też drugą „linię obrony". Między drenem a bramką MOSFETa umieszczony jest TVS3, połączony w szereg z rezystorem 100 Ω. Jeśli napięcie drenu wzrośnie zbyt wysoko, TVS3 załączy się i spowoduje wzrost napięcia na bramce MOSFETa. Wtedy MOSFET zacznie przewodzić i sam zbocznikuje skok napięcia dren-źródło.

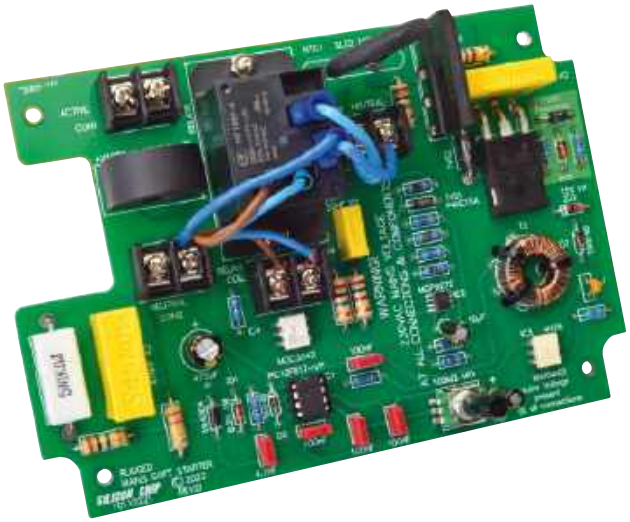
Dioda Zenera ZD3 zapobiega w takim przypadku wzrostowi napięcia bramki powyżej 15 V, co mogłoby spowodować uszkodzenie MOSFETa. Rezystor 100 Ω ogranicza prąd diody Zenera do bezpiecznego poziomu.

Wykrywanie prądu

W uzwojeniu wtórnym przekładnika prądowego T1 powstaje prąd, który jest proporcjonalny do prądu płynącego przez przewód fazowy. Z jednym zwojem przewodu fazowego przełożonym przez rdzeń przekładnika prądowego i rezystorem obciążającym 10 kΩ,

eprasa.pl 39e0ebb5e6

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



Rzut oka na zmontowaną płytkę drukowaną układu. Szczegóły konstrukcyjne zostaną zaprezentowane w przyszłym odcinku

na wyjściu przekładnika występowałoby napięcie zmienne około 4 V przy prądzie w przewodzie fazowym 1 A. W uzwojeniu pierwotnym stosujemy dwa zwoje, co daje około 4 V przy prądzie 500 mA. Daliśmy stosunkowo dużą rezystancję obciążenia – 10 kΩ – by uzyskać dobrą czułość, aczkolwiek konwersja prądu wejściowego na napięcie wyjściowe zrobiła się przez to trochę nieliniowa. Z rezystorem obciążającym 100 Ω możliwy byłby w tym układzie dokładniejszy, bardziej liniowy pomiar prądu. Czułość spadłaby jednak znacznie, a napięcie wyjściowe wynosiłoby tylko 1 V przy prądzie w przewodzie fazowym 10 A.

Prostowanie napięcia z przekładnika prądowego

Napięcie wyjściowe z przekładnika T1 ogranicza jeszcze jeden element antyprzepięciowy (TVS1). Redukuje to prąd wpływający do wejść wzmacniacza operacyjnego do bezpiecznej wartości.

Aby napięcie wyjściowe z T1 nadawało się do monitorowania przez mikrokontroler, musi zostać wyprostowane. Zastosowano precyzyjny prostownik dwupołówkowy w układzie z podwójnym wzmacniaczem operacyjnym IC2 i rezystorami. Wzmocnienie prostownika wynosi 1,5.

Zwróćmy uwagę, że w układzie nie ma diod. Wyprostowanie napięcia zmiennego bez diod może się wydawać niemożliwe. Jest jednak możliwe – pod warunkiem, że wzmacniacz operacyjny ma określoną charakterystykę. Musi być on w stanie pracować przy napięciu wejściowym niższym od potencjału ujemnej linii zasilania, a jego wyjście musi być w stanie osiągnąć napięcie bliskie napięciu tej linii.

Użyliśmy tutaj podwójnego wzmacniacza operacyjnego MCP6272 (IC2). Jeden stopień (IC2b) jest buforem o wzmocnieniu jeden, natomiast drugi (IC2 a) daje 1,5-krotne wzmocnienie.

Aby zrozumieć, jak działa prostowanie, spójrzmy na **rysunek 6**. Wykresy A do E odpowiadają przebiegom w identycznie oznaczonych częściach układu z rysunku 5. Wykres A to przykładowy przebieg z przekładnika: sinusoida o wartości międzyszczytowej 2 V.

W ujemnej połowie okresu sygnał podany przez rezystor 15 kΩ na wejście nieodwracające układu IC2b (punkt B) zostaje obcięty na poziomie około –0,3 V przez wewnętrzną diodę zabezpieczającą wejście wzmacniacza. Wyjście IC2b (punkt C) znajduje się wówczas na poziomie 0 V, ponieważ ujemna linia zasilania wzmacniacza ma potencjał 0 V, a wyjście nie może zejść poniżej tej wartości.

Wzmacniacz IC2 a reguluje swoje wyjście (punkt E) tak, aby napięcie na jego wejściu odwracającym (pin 2; punkt D) było równe napięciu na wejściu nieodwracającym (pin 3; punkt C). Ponieważ między punktem D a masą nie ma napięcia, przez rezystor 10 kΩ nie płynie prąd, a więc podczas ujemnej części okresu rezystor ten nie ma wpływu na działanie układu. IC2 a pracuje więc wtedy jako standardowy wzmacniacz odwracający. Jego obydwa wejścia (punkty C i D) są na potencjale 0 V. Wzmocnienie wynosi 30 kΩ podzielone przez 20 kΩ i ma znak minus, czyli jest równe –1,5. Ujemny szczyt fali o wartości –1 V jest wzmacniany i odwracany, a w punkcie E powstaje napięcie +1,5 V.

Przy dodatnim napięciu na wejściu (punkt A) sposób działania układu jest bardziej skomplikowany. Po pierwsze, napięcie w punkcie B jest zredukowaną wersją napięcia wejściowego, które ma wartość szczytową 1 V. Sprawia to dzielnik utworzony przez rezystory 15 kΩ i 18 kΩ. Napięcie szczytowe w punkcie B wyniesie 0,5454 V=1 V·15 kΩ/(15 kΩ+18 kΩ). W punkcie C wartość szczytowa również osiąga 0,5454 V, ponieważ IC2b działa jako bufor o wzmocnieniu jednostkowym, a na jego wyjściu jest takie samo napięcie, jak na wejściu nieodwracającym. Wzmacniacz operacyjny IC2 a znów ustawia swoje napięcie wyjściowe (punkt E) tak, by napięcie na wejściu odwracającym (punkt D) odpowiadało napięciu na wejściu nieodwracającym (punkt C).

Żeby wyznaczyć napięcie wynikowe, musimy obliczyć prądy płynące przez rezystory łączące się w punkcie D z wejściem odwracającym IC2a.

Prąd płynący przez rezystor 10 kΩ to napięcie przebiegu w punkcie D podzielone przez 10 kΩ. Wartość szczytowa tego prądu wynosi 54,54 μA=0,5454 V/10 kΩ.

Prąd płynący przez rezystor 20 kΩ: przy napięciu szczytowym 1 V na wejściu (punkt A) będzie to 22,73 μA=(1 V [punkt A]–0,54 V [punkt D])/20 kΩ.

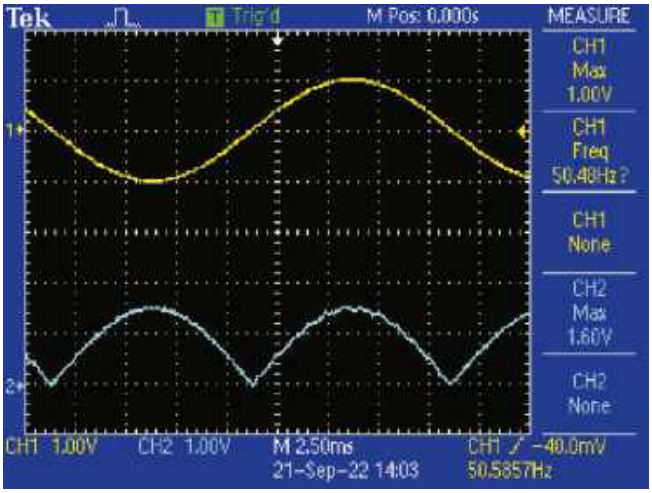
Mamy więc 22,73 μA wpływające do węzła w punkcie D przez rezystor 20 kΩ oraz 54,54 μA wypływające z tego węzła przez rezystor 10 kΩ. Przez rezystor 30 kΩ musi przepływać prąd, który zrównoważy prądy w węźle D. Wyniesie on 31,81 μA (54,54 μA – 22,73 μA). Biorąc pod uwagę, że napięcie w punkcie D osiąga wartość szczytową 0,54 V, stwierdzamy, że napięcie w punkcie E musi wynosić 1,5 V (31,81 μA·30 kΩ+0,54 V).

Cały układ działa więc jako prostownik dwupołówkowy o wzmocnieniu 1,5. Stopień dokładności zależy od parametrów wzmacniacza operacyjnego i tolerancji rezystorów. Im niższe napięcie niezrównoważenia wzmacniacza i im niższy jego prąd polaryzacji wejściowej, tym prostowanie będzie dokładniejsze, szczególnie przy niskich poziomach sygnału. Na szczęście w tym projekcie nie zależy nam na wysokiej dokładności. Potrzebujemy jedynie dwupołówkowego prostowania przebiegu zmiennego z przekładnika prądowego.

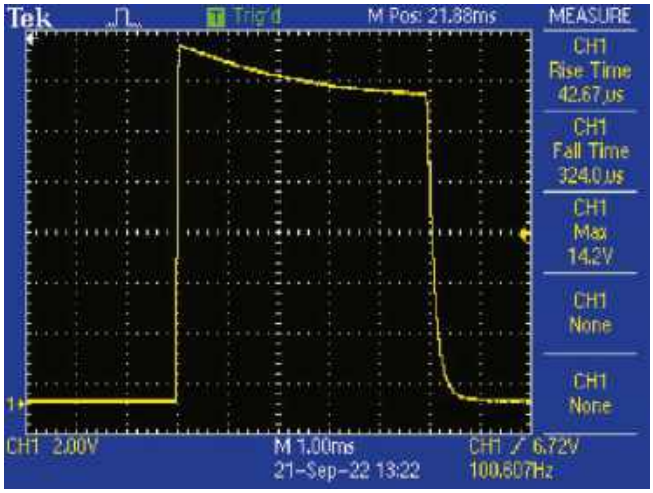
Oscylogram 5 pokazuje na kanale 1 (żółtym) napięcie sinusoidalne na wejściu prostownika dwupołówkowego (punkt A) o wartości szczytowej 1 V. Poniżej, w kolorze niebieskim, mamy przebieg wyprostowany (punkt E).

Wyprostowany przebieg filtrują rezystor 2,2 kΩ i kondensator 10 μF , tworząc wygładzone napięcie stałe na wejściu analogowym AN1 mikrokontrolera, nadające się do monitorowania przez wewnętrzny przetwornik analogowo-cyfrowy (ADC).

eprasa.pl 39e0ebb5e6



Oscylogram 5. U góry: przebieg wejściowy prostownika aktywnego (punkt A). U dołu: wyjście prostownika (punkt E). Zwróćcie uwagę na wzmocnienie



Oscylogram 6. Izolowany przebieg sterujący na bramce MOSFETa. Załączanie jest szybsze od wyłączania ze względu na konfigurację układu

Wykrywanie przejścia napięcia sieci przez zero

Mikrokontroler wykrywa przejście przez zero napięcia na przewodzie neutralnym sieci na wejściu cyfrowym GP3 (pin 4), dołączonym poprzez rezystor 330 kΩ 1 W. Napięcie, filtrowane kondensatorem 4,7 nF, odpowiada niskiemu stanowi logicznemu, gdy napięcie sieci jest bliskie zeru. Mikrokontroler wykrywa, kiedy napięcie sieci zmienia się z dodatniego na zerowe lub ujemne i odwrotnie.

Podczas ujemnego półokresu napięcia sieci napięcie na pinie 4 jest obcinane do –0,3 V przez wewnętrzną diodę zabezpieczającą. Podczas półokresu dodatniego dioda D2 ogranicza napięcie na pinie do około 0,6 V powyżej zasilania 5,5 V, czyli do poziomu około 6 V. Zewnętrzna dioda jest wymagana, ponieważ w układzie scalonym pin 4 nie jest zabezpieczony wewnętrzną diodą do plusa zasilania. Pin ten może być bowiem używany do programowania mikrokontrolera, a wtedy napięcie na nim przekracza napięcie zasilania.

Sterowanie bramki MOSFETa

Do sterowania bramką MOSFETa potrzebne jest izolowane stałe napięcie zasilające oraz jakiś sposób dołączania i odłączania tego napięcia do/od bramki. Jak wspominaliśmy, obwody te muszą być galwanicznie odizolowane od mikrokontrolera.

Izolowane zasilanie pochodzi z transformatora wielkiej częstotliwości T2, którego uzwojenie pierwotne jest taktowane przebiegiem prostokątnym 1 MHz z wyjścia zegarowego GP4 (pin 3) mikrokontrolera. Jest to ¼ częstotliwości wewnętrznego oscylatora 4 MHz. Uzwojenie pierwotne transformatora ma 10 zwojów, a wtórne 48, co daje przełożenie napięcia 1:4,8.

Ponieważ napięcie prostokątne na uzwojeniu pierwotnym ma wartość międzyszczytową 5,5 V, można się spodziewać, że napięcie prostokątne po stronie wtórnej będzie miało 5,5 V·4,8=26,4 V wartości międzyszczytowej. Po prostowaniu półokresowym przez diodę D3 i filtrowaniu w kondensatorze 1 µF otrzymujemy jednak jedynie 13,2 V napięcia stałego. Dioda Zenera ZD2 na 15 V ogranicza napięcie do poziomu dopuszczalnego dla bramki MOSFETa.

Bramkę załącza tranzystor transoptora IC3. Transoptor jest sterowany z cyfrowego wyjścia GP0 (pin 7) mikrokontrolera. Gdy stan wyjścia jest wysoki (5,5 V), wewnętrzna podczerwona dioda LED transoptora zostaje załączona poprzez rezystor 1,5 kΩ ograniczający prąd. Tranzystor wyjściowy w IC3 dołącza przez rezystor 47 Ω zasilanie 13,2 V do bramki MOSFETa.

Gdy wyjście GP0 przechodzi w stan niski (0 V), dioda LED transoptora IC3 wyłącza się, napięcie bramki Q1 jest sprowadzane do 0 V rezystorem 22 kΩ, a MOSFET zostaje wyłączony.

Oscylogram 6 przedstawia sterowanie bramki MOSFETa, załączanego na 5 ms z częstotliwością 100 Hz. Po załączeniu napięcie bramki wynosi początkowo 14,3 V i w ciągu 5 ms spada do 12,3 V. Spadek ten jest spowodowany obciążeniem kondensatora 1 µF przez rezystor 22 kΩ w obwodzie bramki.

Czas narastania napięcia na bramce wynosi około 43 µs. Czas opadania wynosi 324 µs – jest dłuższy ze względu na to, że rezystor rozładowujący 22 kΩ ma większą rezystancję niż załączający bramkę tranzystor wyjściowy transoptora z rezystorem 47 Ω.

Zasilanie

Zasilanie mikrokontrolera IC1 i wzmacniacza operacyjnego IC2 jest doprowadzane bezpośrednio z sieci energetycznej poprzez „sieciowy" kondensator 470 nF X2. Układ działa poprzez pompowanie ładunku do kondensatora 470 µF przez diodę Zenera ZD1 i diodę D1.

Podczas dodatniej półfali napięcia sieciowego dioda D1 jest polaryzowana wstecznie, a dioda ZD1 – w kierunku przewodzenia. Do kondensatora filtrującego 470 µF jest przenoszony ładunek z kondensatora 470 nF. Podczas drugiej półfali sieci dioda D1 jest spolaryzowana w kierunku przewodzenia, a dioda Zenera ogranicza napięcie między linią zasilania +5,5 V a katodą diody D1 do 6,2 V. Napięcie przewodzenia diody D1 to około 0,7 V, więc wypadkowe napięcie na kondensatorze 470 µF wynosi 5,5 V=6,2 V–0,7 V.

Za miesiąc

Drugi odcinek artykułu będzie zawierał wszystkie szczegóły konstrukcyjne układu aktywnego „miękkiego startu", opis procedury testowej oraz instrukcję użytkowania.

John Clarke

Materiały dodatkowe dostępne są na stronie Silicon Chip:
https://www.siliconchip.com.au/Shop/8/6582

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

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

eprasa.pl 39e0ebb5e6

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

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

BESTSELLERY sklepu AVT – sklep.avt.pl

Mikroskopy cyfrowe dla elektroników

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

-3%

Rabat dla Prenumeratorów EdW
przy zakupie podaj numer prenumeraty

-6%

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

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

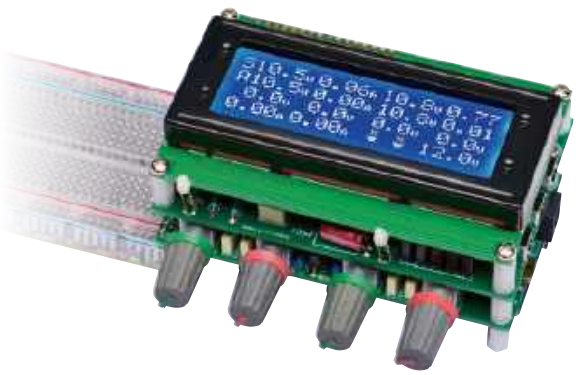
AT-AD249S-M
Mikroskop cyfrowy 10 cali
z powiększeniem:
60...240×, 18...720×, 1560...2040×
ANDONSTAR AD249S-M

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

Dwukanałowy zasilacz do płytek stykowych, część 2

Moduł wyświetlacza

Opublikowany w ubiegłym miesiącu dwukanałowy zasilacz do płytek prototypowych ma kompaktową budowę i jest bardzo poręczny. Nadaje się świetnie do uruchamiania prototypów. Można go podłączyć bezpośrednio do szyn zasilających płytki stykowej i zasilać z zasilacza lub portu USB. Moduł wyświetlacza jest podłączany do dwukanałowego zasilacza do płytek stykowych i prezentuje wiele przydatnych informacji, takich jak ustawione i rzeczywiste napięcia oraz prądy. Dodatkowo posiada nadmiarowe kanały woltomierza i amperomierza, które pomagają analizować prototyp!



Dwukanałowy zasilacz do płytek stykowych zapewnia dwie szyny zasilające o regulowanym napięciu, każdą z możliwością ograniczenia prądu. Jest to przydatne narzędzie do prototypowania i testowania, ale samo w sobie nie pozwala sprawdzić, jakie napięcia zostały ustawione ani jaki prąd jest pobierany.

Przedstawiony moduł rozszerzający rozwiązuje ten problem, zapewniając odczyty wartości zadanej oraz wartości rzeczywistego napięcia i prądu dla każdego kanału. Ponieważ jest w nim zastosowany mikrokontroler z wieloma wejściami analogowymi, dodaliśmy dodatkowe kanały monitorowania napięcia i prądu zapewniające dużą elastyczność.

Dodaliśmy również parę dwukolorowych diod LED do wskazywania stanu oraz brzęczyk piezoelektryczny (buzzer) do sygnalizacji dźwiękowej. Moduł oblicza nawet szacunkową moc wydzielaną w tranzystorach Dwukanałowego zasilacza do płytek stykowych, co pozwala uniknąć ich przepalenia.

Moduł wyświetlacza do dwukanałowego zasilacza do płytek stykowych jest montowany bezpośrednio nad tym zasilaczem i nie zajmuje dodatkowego miejsca na stole roboczym.

Moduł wyświetlacza

Podczas projektowania dwukanałowego zasilacza do płytek stykowych zdaliśmy sobie sprawę, że umieszczanie dodatkowych układów do monitorowania jego działania będzie dość proste. Jest to jeden z powodów, dla których dwukanałowy zasilacz do płytek stykowych posiada tak wiele złączy. Do pinów tych złączy podawane są napięcia proporcjonalne do napięć i prądów w układzie, co ułatwia monitorowanie stanu przez płytkę rozszerzającą.

Na **rysunku 3** przedstawiono schemat Modułu wyświetlacza. Nie będzie on działał bez dwukanałowego zasilacza do płytek stykowych, dlatego elementy zostały ponumerowane zgodnie z tym układem, z wyjątkiem CON5...CON9, które tworzą połączenia między płytkami i są wspólne dla obu płytek.

Będziemy również odnosić się do elementów dwukanałowego zasilacza do płytek stykowych, więc warto mieć pod ręką pierwszą część artykułu (z ubiegłego miesiąca).

Zasilanie Modułu wyświetlacza doprowadzane jest przez złącze oznaczone jako CON7, które ma połączenia z masą, szyną 15 V oraz szyną 5 V zasilacza. Złącze to łączy także obwody wejściowe ze złączami CON1 i CON2 na tej płytce.

Moduł wyświetlacza potrzebuje do działania tylko szyny 5 V, więc REG2 jest liniowym stabilizatorem 5 V typu 7805 z kondensatorami wejściowymi i wyjściowymi 100 µF. Większy stabilizator w obudowie TO-220 został wybrany głównie w celu zapewnienia wyższego prądu potrzebnego do zasilania podświetlenia wyświetlacza LED.

Zworka JP3 umożliwia zasilanie z REG2 lub złącza USB, ale zalecamy ustawienie jej w pozycji REG. Wynika to z faktu, że wyjście stabilizatora będzie znacznie dokładniejsze i bardziej stabilne niż zasilanie z USB.

IC4 to 44-pinowy mikrokontroler PIC16F18877, wybrany ze względu na dużą liczbę wejść/wyjść (I/O). To w zasadzie ten sam element, który zastosowano w testerze kabli USB opublikowanym w listopadzie i grudniu 2021 r. w Silicon Chip (przedruk w EdW z maja i czerwca 2024 r.), lecz w kompaktowej obudowie TQFP, co pozwala zaoszczędzić sporo miejsca na płytce.

IC4 ma dwa połączenia 5 V i dwa połączenia masy, z których każda para jest filtrowana kondensatorami 100 nF. Piny programowania szeregowego w układzie (ICSP) są podłączone do CON13 w celu programowania mikrokontrolera i debugowania oprogramowania układowego. Jeśli masz

Cechy i specyfikacje:

- Użycie popularnego wyświetlacza LCD o rozdzielczości 20×4 znaków z podświetlaniem
- Wyświetlanie 11 wskazań
- Wyświetlanie czterech niezależnych napięć i dwóch prądów
- Rozdzielczość napięcia 100 mV, rozdzielczość prądu 10 mA
- Typowa dokładność 1%, możliwość kalibracji
- Użycie diod LED i buzzera ostrzegającego o przekroczeniu dopuszczonego obciążenia
- Wyświetlanie szacunkowej mocy wydzielanej w tranzystorach zasilacza
- Możliwość umieszczenia na Dwukanałowym zasilaczu do płytek stykowych bez stosowania dodatkowych kabli i połączeń

eprasa.pl 39e0ebb5e6

wstępnie zaprogramowany mikrokontroler, złącze CON13 nie musi być montowane. Do pinu MCLR układu IC4 jest również dołączony rezystor podciągający 10 kΩ, który zapobiega fałszywym resetom.

Jedną z największych zalet układu PIC16F18877 jest wysoka wymienność portów i pinów. Chociaż może wydawać się, że jest to układ skomplikowany, z wieloma pinami, większość ścieżek PCB po prostu rozchodzi się w wymaganym kierunku do najbliższego punktu połączenia.

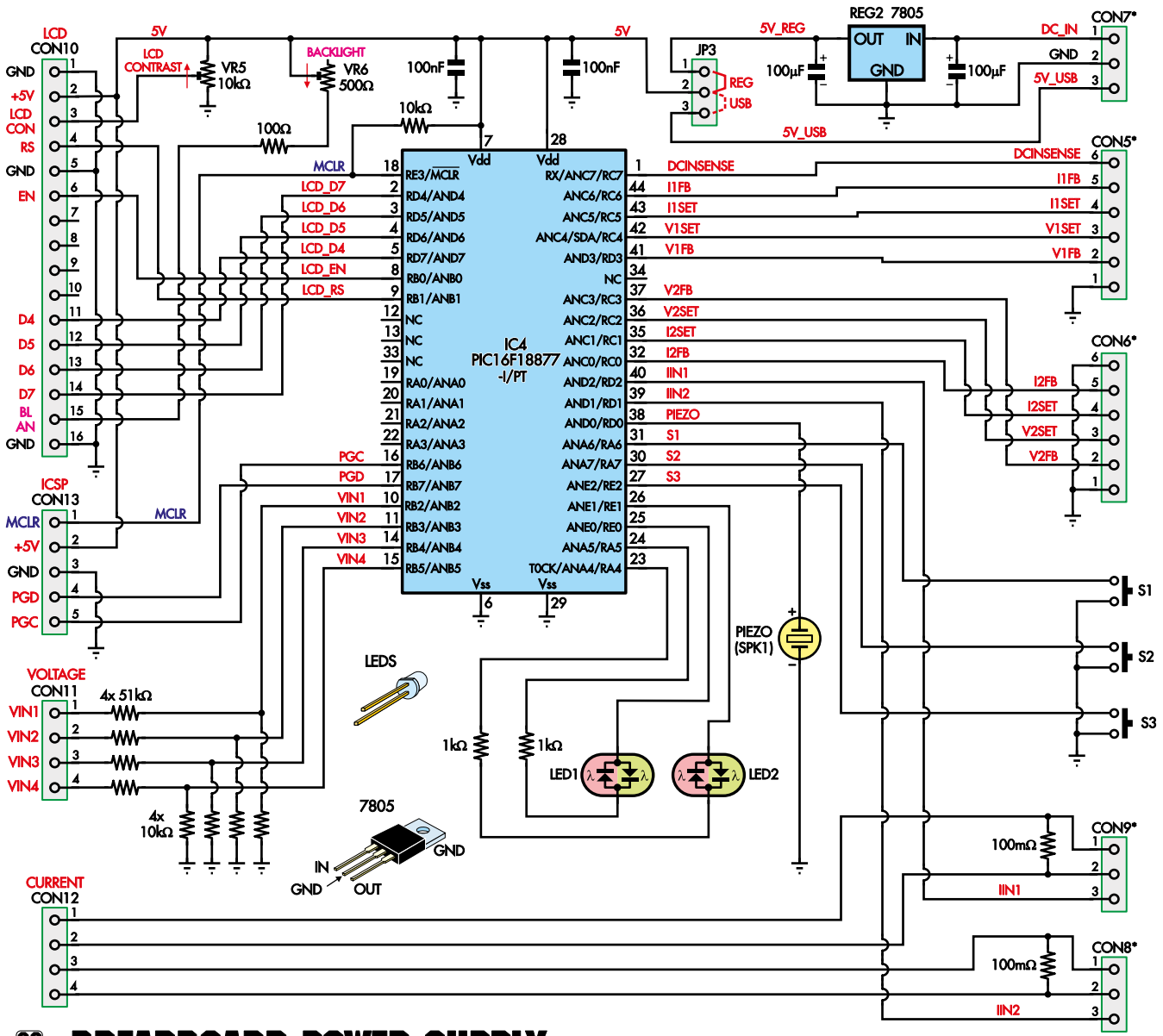
Praktycznie wszystkie piny wejścia/wyjścia są wewnętrznie połączone z układem ADC (przetwornikiem analogowo-cyfrowym) mikrokontrolera, dzięki czemu można ich używać do odczytu i monitorowania napięć zewnętrznych.

Dziewięć takich napięć dostarczane jest z dwukanałowego zasilacza do płytek stykowych za pomocą złączy CON5 i CON6. Osiem z nich odpowiada rzeczywistym i zadanym (docelowym) napięciom prądu i napięcia każdego z dwóch kanałów zasilacza.

Innym monitorowanym parametrem jest obniżone (podzielone) napięcie szyny 15 V. Jest ono istotne, ponieważ zasila wyjścia zasilacza prądem stałym i wpływa między innymi na maksymalną wartość napięcia wyjściowego. Warto je obserwować zwłaszcza wtedy, gdy dwukanałowy zasilacz do płytek stykowych pracuje zasilany z baterii – pozwala to ocenić, czy bateria nie jest bliska rozładowania.

Odczyt ten jest również wykorzystywany w obliczeniach służących do określenia rozpraszania mocy w tranzystorach mocy dwukanałowego zasilacza do płytek stykowych.

Zasilanie z baterii to prosty sposób na uzyskanie zasilania odseparowanego od uziemienia (tj. niepołączonego z siecią), czego nie da się osiągnąć w przypadku programowalnego zasilacza Arduino bez podłączenia go do laptopa zasilanego z własnej baterii.

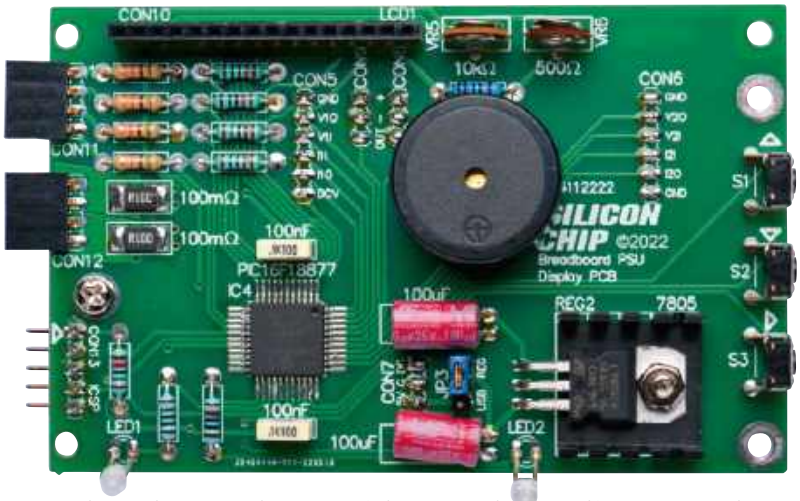


BREADBOARD POWER SUPPLY DISPLAY BOARD CIRCUIT

* NOTE: ALL CONNECTORS WITH A LABEL ENDING IN AN ASTERISK MATE WITH THE CONNECTOR ON THE MAIN BOARD WITH THE SAME LABEL.

Rysunek 3. Przedstawiony schemat łączy się z układem Dwukanałowego zasilacza do płytek stykowych poprzez złącza CON5...CON9. Złącze CON7 zasila Moduł wyświetlacza, natomiast złącza CON5 i CON6 dostarczają napięcia mierzone przez mikrokontroler IC4. Złącza CON8 i CON9 dostarczają dwa dodatkowe kanały pomiaru prądu, które mogą być mierzone między dwiema płytkami drukowanymi

eprasa.pl 39e0ebb5e6



Podczas montażu płytki drukowanej modułu wyświetlacza należy sprawdzić, czy elementy nie stykają się z wyświetlaczem LCD

Przydatne wejścia dodatkowe

Monitorowane są cztery dodatkowe napięcia analogowe pochodzące z czterech dzielników napięcia 51 kΩ/10 kΩ podłączonych do czteropinowego złącza CON11. Dla tych wejść obowiązują te same współczynniki stosowane w dwukanałowym zasilaczu do płytek stykowych, dające tę samą nominalną skalę 30,5 V w odniesieniu do napięcia odniesienia 5 V. Te cztery niezależne kanały napięciowe można wykorzystać do sprawdzania i monitorowania prototypu na płytce stykowej.

Zastosowanie jednakowych współczynników podziału pozwala użyć jednego (nominalnego) współczynnika kalibracji dla wszystkich wejść napięciowych. Impedancja wejściowa tych pinów jest wprawdzie znacznie niższa niż w multimetrze, lecz wciąż są one wygodne, gdy trzeba jednocześnie zmierzyć wiele napięć w obwodzie.

CON12 to kolejne czterodrożne złącze, które umożliwia monitorowanie dwóch prądów w obwodzie. Każde z nich wymaga dwóch połączeń, ponieważ prąd musi wpłynąć, przejść przez rezystor pomiarowy i wrócić do testowanego obwodu.

Układ jest taki sam, jak w przypadku monitorowania prądów wyjściowych dwukanałowego zasilacza do płytek stykowych. Napięcie pojawia się na rezystorze pomiarowym 100 mΩ w każdym kanale, gdy przepływa przez nie prąd. Napięcie to jest wzmacniane przez układ scalony IC1 na płytce drukowanej dwukanałowego zasilacza do płytek stykowych i wraca do Modułu wyświetlacza przez trzecie piny CON8 i CON9, gdzie jest odczytywane przez kolejne dwa wejścia przetwornika analogowo-cyfrowego (ADC).

Jest to możliwe, ponieważ IC1 jest układem czterokanałowym, a tylko dwa z jego kanałów są wykorzystywane przez dwukanałowy zasilacz do płytek stykowych.

Napięcia na wejściach monitora prądu INA4180 nie mogą przekraczać jego wartości granicznej 26 V. Wydaje się to mało prawdopodobne, biorąc pod uwagę, że układ na płytce prototypowej jest prawdopodobnie zasilany maksymalnym napięciem 15 V z dwukanałowego zasilacza do płytek stykowych.

20-kolumnowy, czterowierszowy wyświetlacz alfanumeryczny LCD jest podłączany do układu za pomocą złącza CON10. Potencjometr VR5 10 kΩ, połączony jako dzielnik napięcia, dostarcza napięcie sterujące kontrastem do wyprowadzenia 3 wyświetlacza LCD.

Potencjometr VR6 500 Ω umożliwia regulację jasności podświetlenia LED. Pozwala to oszczędzać energię poprzez przyciemnianie podświetlenia podczas pracy z baterii.

Sterowanie modułem LCD przebiega w trybie czterobitowym za pomocą sześciu sygnałów sterujących pomiędzy złączem CON10 oraz układem IC4. Przesyłanie danych i poleceń do wyświetlacza LCD odbywa się za pośrednictwem wyjść cyfrowych układu IC4.

CON10 zapewnia również zasilanie sterownika LCD i diody LED podświetlenia, napięcie kontrastu generowane przez VR5 oraz połączenie obniżające stan pinu RD/WR. Mikrokontroler nie odczytuje danych ze sterownika wyświetlacza, co pozwala zaoszczędzić piny wejścia/wyjścia.

Kolejne cztery cyfrowe piny wyjściowe mikrokontrolera sterują dwukolorowymi diodami LED (LED1 i LED2) poprzez rezystory 1 kΩ obniżające napięcie. Każda dioda LED zajmuje dwa piny wejścia/wyjścia i w zależności od tego, który z nich ma stan wysoki, a który niski, świeci się czerwony lub zielony element diody LED (lub żaden z nich).

Kolejne wyjście cyfrowe służy do sterowania sygnalizatorem piezoelektrycznym SPK1.

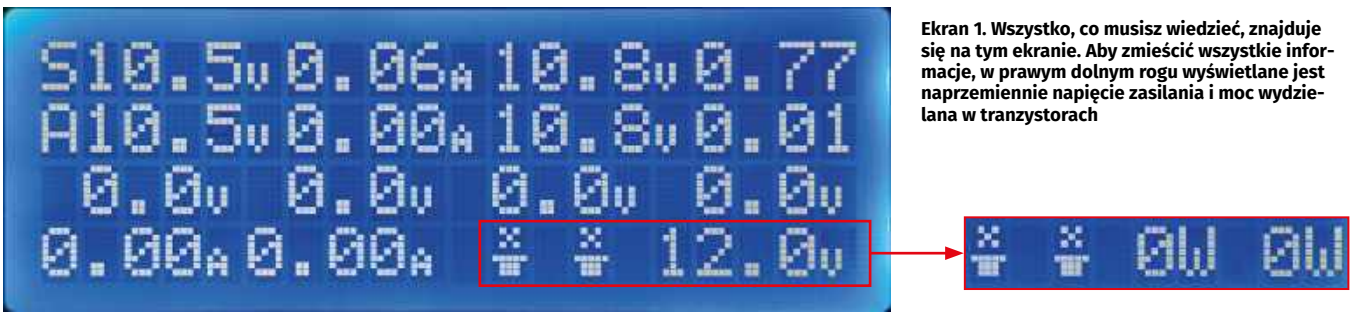
Oprogramowanie układowe

Głównym zadaniem mikrokontrolera IC4 jest odczyt surowych napięć analogowych na różnych pinach, skalowanie ich zgodnie ze współczynnikiem kalibracji i pokazywanie ich na wyświetlaczu LCD. Przykładowy stan wyświetlacza pokazano na ekranie 1.

Pierwsza linia zawiera parametry ustawione za pomocą potencjometrów na płytce Dwukanałowego zasilacza do płytek stykowych, oznaczone literą „S". Są to wartości docelowe napięcia CON3 (ustawione za pomocą VR1), prądu CON3 (VR3), napięcia CON4 (VR2) i prądu CON4 (VR4).

Ponieważ obwód ograniczający prąd w Dwukanałowym zasilaczu do płytek stykowych obniża napięcia odniesienia za pomocą Q2 i Q4, wyświetlane napięcie może nieznacznie spaść (do około 0,2 V) przy aktywnym ograniczeniu prądu.

Wartość rezystorów 100 kΩ podłączonych do suwaków VR1 i VR2 stanowi kompromis między tym efektem ubocznym a zapewnieniem



Ekran 1. Wszystko, co musisz wiedzieć, znajduje się na tym ekranie. Aby zmieścić wszystkie informacje, w prawym dolnym rogu wyświetlane jest naprzemiennie napięcie zasilania i moc wydzielana w tranzystorach

eprasa.pl 39e0ebb5e6

ścieżki o niskiej impedancji dla napięcia sterującego. Należy więc uważać, aby nie ustawiać tych napięć podczas działania ograniczenia prądu.

Pamiętajmy, że litera „A" (oznaczająca ampery) na końcu pierwszego wiersza jest domyślna ze względu na miejsce potrzebne na literę „S" na początku. Użyliśmy również niestandardowych wąskich znaków dla jednostek, aby zapewnić wizualne oddzielenie. Znaki te używają generatora znaków zawartego w pamięci RAM wyświetlacza.

Druga linia zawiera odpowiednie wartości zmierzone, oznaczone literą „A" dla „actual" (aktualne). W większości przypadków napięcia powinny odpowiadać wartościom zadanym, z wyjątkiem sytuacji, gdy aktywne jest ograniczenie prądu. W tym przypadku prąd powinien odpowiadać wartości zadanej.

W trzecim wierszu zawarto „dodatkowe" odczyty napięcia z CON11, natomiast pierwsze dwa odczyty w czwartym wierszu to prądy zmierzone na CON12.

Małe ikony znajdujące się poniżej wskazują, czy alarmy dźwiękowe są aktywne odpowiednio dla wyjść CON3 i CON4.

Pozostałe trzy statystyki zajmują pięć ostatnich miejsc w prawym dolnym rogu wyświetlacza. Moc w każdym głównym tranzystorze stabilizatora jest obliczana jako napięcie wyjściowe CON3 lub CON4 pomniejszone o napięcie szyny 15 V pomnożone przez odpowiedni prąd.

Wyświetlacz co dwie sekundy przełącza się między pokazywaniem napięcia szyny 15 V (które niekoniecznie będzie równa 15 V) a dwoma obliczonymi wartościami mocy wydzielanej w tranzystorach Q1 i Q3 Dwukanałowego zasilacza do płytek stykowych.

Jest to możliwe, ponieważ rozpraszanie energii powinno mieścić się w zakresie jednocyfrowym (0...9) watów, dzięki czemu można je wyświetlać w bardzo zwartej formie. Można to zobaczyć na ekranie 1. Jeśli odczyt przekracza 9 W, dla uproszczenia jest on ograniczany do 9 W.

Oprócz sterowania wyświetlaczem, co zajmuje większość czasu mikrokontrolera, monitoruje on również przełączniki przyciskowe S1... S3 i zapala diody LED1 i LED2 w zależności od panujących warunków.

Zastosowanie tych przełączników i diod LED zostanie opisane w dalszej części artykułu. Krótko mówiąc, przyciski umożliwiają włączenie alarmu dźwiękowego dla dowolnego kanału oraz kalibrację wszystkich wyświetlanych wartości. Diody LED sygnalizują, kiedy któryś z kanałów jest ograniczony prądowo lub z innych powodów nie może osiągnąć żądanego napięcia.

Konstrukcja

Rozpocznij od zamontowania płytki drukowanej Modułu wyświetlacza o wymiarach 99 mm × 63 mm, opisanej kodem 04112222, zgodnie z schematem montażowym przedstawionym na **rysunku 4**.

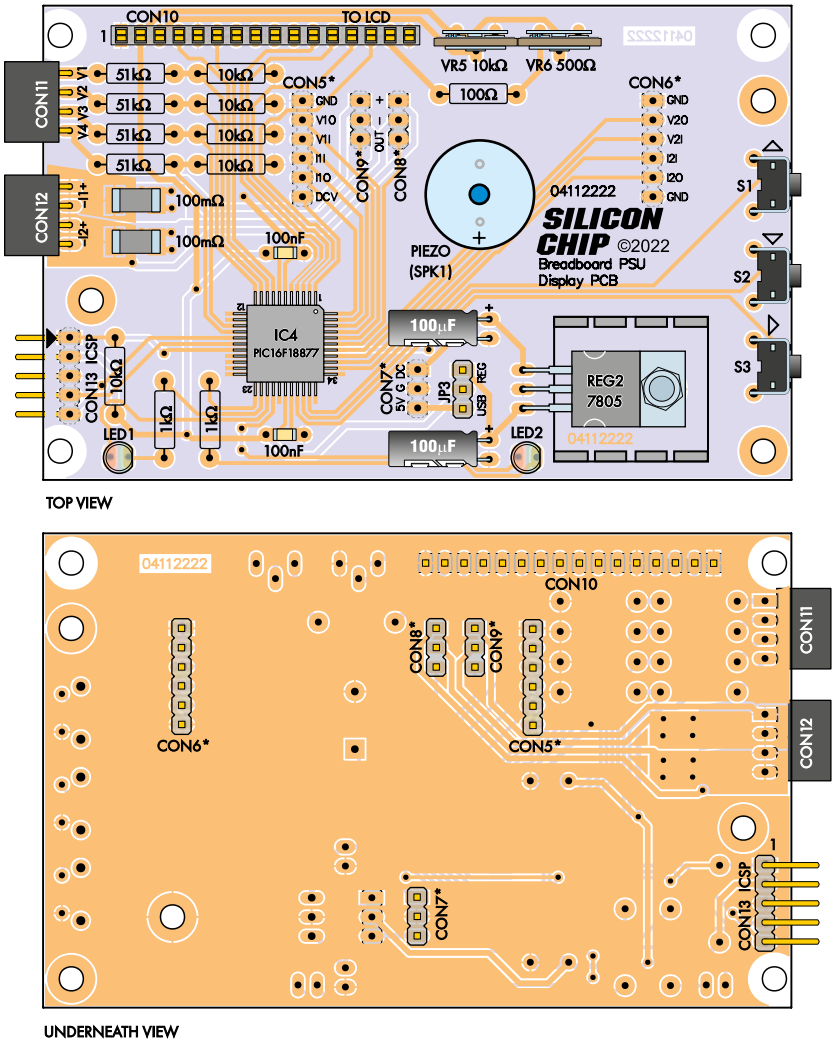
Na płytce znajduje się pięć elementów przeznaczonych do montażu powierzchniowego, ale żaden z nich nie jest trudny w lutowaniu. Powinieneś mieć przynajmniej topnik i plecionkę lutowniczą, gdyż nóżki układu IC4 są rozmieszczone dość blisko siebie. Topnik pomoże rozgrzanej cynie płynąć w odpowiednim kierunku, a plecionka pomoże go usunąć, jeśli dostanie się tam, gdzie nie powinien.

Zalecamy również zaopatrzenie się w pęsetę, lutownicę z cienkim grotem, dobre oświetlenie i lupę, które ułatwią sprawdzenie jakości lutowania.

Zacznij od przylutowania mikrokontrolera IC4. Nałóż trochę topnika na pady i wyrównaj go ze wszystkich czterech stron. Element w obudowie TQFP jest nieco bardziej skomplikowany niż np. w obudowie SOIC, która ma piny tylko wzdłuż dwóch boków.

Wyrównaj ten element względem padów i sprawdź, czy kropka na pinie 1 pokrywa się z nadrukiem na płytce drukowanej. Przylutuj jeden pin i sprawdź, czy jest płaski i czy wszystkie piny znajdują się nad odpowiednimi padami. Jeśli nie, podgrzej przylutowane piny i delikatnie wyreguluj położenie układu za pomocą pęsety, aż wszystkie piny będą idealnie wyrównane.

W przypadku elementów takich jak ten, które mają blisko rozmieszczone piny, staraj się trzymać lutownicę z dala od górnej części pinów i pracuj w miejscu, gdzie pin



Rysunek 4. Moduł wyświetlacza ma mniej więcej taki sam rozmiar jak moduł LCD umieszczony nad nim. Złącza szpilkowe CON5...CON9 są umieszczone poniżej tej płytki drukowanej w celu podłączenia do dwukanałowego zasilacza do płytek stykowych. Zalecamy również umieszczenie złącza ICSP (jeśli potrzebne) pod płytką drukowaną, aby zapewnić wystarczającą przestrzeń dla wyświetlacza LCD. Diody LED są instalowane jako ostatnie, co pozwala wyrównać je z górną krawędzią wyświetlacza LCD, natomiast potencjometry i buzzer należy sprawdzić pod kątem wystarczającej przestrzeni poniżej wyświetlacza LCD

eprasa.pl 39e0ebb5e6

styka się z padem na PCB. Pomaga to uniknąć tworzenia się mostków lutowniczych między pinami.

Po wyrównaniu obróć płytkę w poziomie i przylutuj każdy pin, zaczynając od strony przeciwnej do pinów, które przylutowałeś jako pierwsze. Na koniec, jeśli to konieczne, popraw pierwsze piny. Następnie użyj lutownicy, aby usunąć wszelkie potencjalnie stworzone mostki. Dodatkowa ilość topnika i delikatne dotknięcie lutownicą powinny pomóc poprawić wszelkie połączenia, które nie wyglądają prawidłowo.

Następnie zamontuj dwa niespolaryzowane kondensatory 100 nF w pobliżu IC4.

Rezystory pomiarowe są kolejnymi elementami do montażu powierzchniowego; będą one znacznie łatwiejsze do zamontowania ze względu na większy rozmiar. Należy zastosować podobną technikę lutowania jednego wyprowadzenia, sprawdzając wyrównanie, a następnie lutując drugą stronę.

Po zamontowaniu wszystkich elementów SMD usuń wszelkie pozostałości topnika za pomocą środka do usuwania topnika lub alkoholu (np. izopropylowego lub metylowego) i niestrzępiącej się szmatki i/lub nylonowej szczotki. Przed kontynuowaniem prac poczekaj, aż płytka całkowicie wyschnie.

Następnie można zamontować rezystory przewlekane. Istnieją cztery różne wartości, więc należy sprawdzić każdy element multimetrem i porównać z nadrukiem na płytce drukowanej, pilnując, by właściwa wartość znalazła się we właściwym miejscu. Większość tych elementów ma wartości będące potęgami dziesięciu, więc ich oznaczenia będą podobne, ale można je łatwo rozróżnić właśnie za pomocą multimetru.

Dwa kondensatory 100 µF w pobliżu REG2 są spolaryzowane. Dłuższe (dodatnie) wyprowadzenia muszą trafić do otworów oznaczonych znakiem „+”. Kondensatory muszą być zamontowane na leżąco, aby pozostawić wystarczającą przestrzeń na umieszczenie wyświetlacza LCD powyżej. Najłatwiej jest wygiąć ich wyprowadzenia przed lutowaniem. Sprawdź, w którą stronę będą skierowane (na podstawie polaryzacji), umieść je na miejscu i przed lutowaniem upewnij się, że oznaczenie dodatnie jest wyrównane z dłuższym wyprowadzeniem.

Chociaż dwukanałowy zasilacz do płytek stykowych nie będzie narażony na duże ruchy, warto przymocować korpusy kondensatorów do płytki drukowanej niewielką ilością silikonu.

REG2 jest montowany podobnie jak tranzystory na płytce drukowanej dwukanałowego zasilacza do płytek stykowych. Wygnij wyprowadzenia o 90° w odległości około 7 mm od korpusu stabilizatora, wsuń je w otwory w płytce drukowanej, a następnie wsuń radiator pod spód. Przedłuż śrubę od dołu i luźno zamocuj ją za pomocą podkładki i nakrętki.

Umieść stabilizator i radiator tak, aby były ustawione prostopadle i znajdowały się w obrębie oznaczeń na warstwie opisowej, a następnie dokręć nakrętkę, uważając, aby nie przekręcić stabilizatora. Wyprowadzenia można teraz przylutować i przyciąć.

Przylutuj teraz trójdrożne złącze JP3, a następnie umieść zworkę w pozycji REG (między dwoma górnymi pinami), chyba że skonfigurowałeś dwukanałowy zasilacz do płytek stykowych do zasilania z USB.

Przełączniki kątowe S1...S3 będą pasowały tylko w jednym położeniu, z przyciskami skierowanymi na zewnątrz płytki drukowanej. Przed lutowaniem należy sprawdzić, czy są one ustawione równo.

Następnie można przylutować CON11, CON12 i CON13 (jeśli są potrzebne). Do CON11 i CON12 użyliśmy złączy kątowych żeńskich, ponieważ umożliwiają one podłączenie przewodów połączeniowych do prototypowania. Jeśli nie można uzyskać złączy kątowych (są one dołączone do naszego zestawu), przed lutowaniem można ostrożnie wygiąć piny złączy pionowych.

Pod płytką drukowaną Modułu wyświetlacza zainstalowaliśmy CON13, ponieważ takie rozwiązanie zapewnia najlepszy prześwit do sąsiedniego dystansu używanego do podłączenia programatora. Na zdjęciach można zobaczyć, jak CON11, CON12 i CON13 wyglądają w naszym prototypie.

Montaż końcowy

Odkręć śruby i dystanse z dwukanałowego zasilacza do płytek stykowych, a następnie zamontuj dystanse do modułu LCD, aby można było użyć ich do wyrównania i sprawdzenia kolejnych etapów montażu.

Ustaw moduł LCD tak, aby 16-pinowe złącze znajdowało się w lewym górnym rogu, a wyświetlacz był skierowany do góry. Jeśli na pinach znajdują się etykiety tekstowe, powinny być skierowane w odpowiednim kierunku. Jest to normalna orientacja modułu LCD, zgodnie z opisem montażu poniżej.

Przekładki gwintowane wzdłuż lewej (górnej i dolnej) oraz prawej górnej krawędzi modułu LCD należy przymocować za pomocą krótkich (5 mm...6 mm) śrub maszynowych. Przekładka w prawym dolnym rogu jest przymocowana za pomocą śruby maszynowej 32 mm...35 mm, ponieważ stanowi ona górną część stosu trzech przekładek.

Zamontuj potencjometry w podobny sposób jak przełączniki. Należy je mocno docisnąć do płytki drukowanej, aby nie kolidowały z modułem LCD umieszczonym powyżej. Można to sprawdzić, tymczasowo wsuwając moduł LCD powyżej i używając dłuższej śruby do wyrównania.

Następnie zamontuj brzęczyk piezoelektryczny, zwracając uwagę na oznaczenia biegunowości. Niektóre brzęczyki są dość

Wykaz elementów:
1 dwustronna płytka drukowana oznaczona kodem 04112222, o wymiarach 99 mm × 63 mm
1 alfanumeryczny wyświetlacz LCD 20×4 z podświetleniem (LCD1)
1 buzzer z wbudowanym generatorem (SPK1)
1 potencjometr montażowy 10 kΩ z regulacją boczną (VR5) [Jaycar RT4016]
1 potencjometr montażowy 500 Ω z regulacją boczną (VR6) [Jaycar RT4008]
3 przyciski dotykowe SPST montowane pod kątem prostym (S1...S3)
2 6-pinowe złącza szpilkowe (CON5, CON6)
4 3-pinowe złącza szpilkowe (CON7...CON9, JP3)
1 zworka (JP3)
1 16-pinowe listwa żeńska (CON10; dla LCD1)
1 16-pinowe listwa (dla LCD1)
2 4-pinowe złącza żeńskie kątowe (CON11, CON12)
1 5-pinowe złącze kątowe (CON13; opcjonalnie, dla ICSP)
1 mały radiator żebrowany TO-220
7 tulei dystansowych z gwintem M3 o długości 12 mm
1 śruba z łbem walcowym M3 × 32 mm...35 mm [Jaycar HP0418]
1 śruba z łbem walcowym M3 × 20 mm...25 mm [Jaycar HP0414]
7 śrub z łbem walcowym M3 × 5 mm...6 mm
1 podkładka sprężysta M3
1 nakrętka sześciokątna M3

Półprzewodniki
1 mikrokontroler 8-bitowy PIC16F18877-I/PT zaprogramowany z 0411222B.HEX, TQFP-44 (IC4)
1 stabilizator liniowy 7805 5 V 1 A, TO-220 (REG2)
2 dwukolorowe czerwono-zielone diody LED 3 mm (LED1, LED2) [Jaycar ZD0248]

Kondensatory
2 100 µF 25 V elektrolityczne radialne
2 100 nF 25 V M3216/1206 X5R/X7R ceramiczne, ceramiczne promieniowe lub MKT

Rezystory (wszystkie 1/4 W 1% osiowe, chyba że zaznaczono inaczej)
4 51 kΩ 5 10 kΩ 2 1 kΩ 1 100 Ω
2 100 mΩ M6432/2512 1 W SMD

eprasa.pl 39e0ebb5e6

wysokie, więc sprawdź również prześwit w tym miejscu.

Jeśli nie zamontowałeś jeszcze 16-stykowego złącza do modułu LCD, należy to zrobić teraz. Można go następnie użyć do wyrównania 16-stykowego złącza żeńskiego przymocowanego do płytki drukowanej modułu wyświetlacza, która łączy się z modułem LCD. Przylutuj złącze żeńskie do płytki drukowanej modułu wyświetlacza, a następnie oddziel obie płytki.

Tymczasowo zamontuj trzy gwintowane dystanse nad płytką drukowaną Dwukanałowego zasilacza do płytek stykowych, używając krótkich śrub od spodu. Umożliwi to wyrównanie złączy z płytką Modułu wyświetlacza.

Jeśli na płytce drukowanej dwukanałowego zasilacza do płytek stykowych nie są jeszcze zamontowane złącza CON5...CON9, należy to zrobić w pierwszej kolejności. Następnie wsuń odpowiednie złącza w górną część płytki, umieść płytkę drukowaną modułu wyświetlacza na nich i przylutuj, upewniając się, że wszystko jest wyrównane.

Oddziel dwie płytki drukowane i usuń tymczasowe dystanse z płytki drukowanej dwukanałowego zasilacza do płytek stykowych.

Ostatnimi elementami, które należy przylutować do płytki drukowanej modułu wyświetlacza, są dwie diody LED. Należy je umieścić tak, aby wystawały ponad górną część płytki drukowanej modułu LCD, dzięki czemu są widoczne tuż pod wyświetlaczem. Zamontujemy je więc po umieszczeniu modułu LCD na płytce drukowanej modułu wyświetlacza.

Na tym etapie płytka drukowana modułu wyświetlacza powinna mieć sześć wolnych otworów montażowych M3. Cztery w rogach są przeznaczone dla wyświetlacza LCD, więc pozostaw je wolne.

W pozostałe dwa „zapasowe" otwory montażowe wkręć gwintowane tuleje dystansowe. Podkładkę z gwintem umieść pod tą, która znajduje się po lewej stronie (między CON12 a CON13) i przykręć ją od góry krótką śrubą. Otwór w prawym górnym rogu (obok S1) należy zamontować za pomocą śruby 20...25 mm i zabezpieczyć gwintowaną podkładką dystansową od spodu.

Zamocuj moduł LCD do płytki drukowanej modułu wyświetlacza i przytwierdź go trzema krótkimi śrubami maszynowymi do gwintowanych tulei dystansowych wkręcając krótkie śruby na ich przeciwległych końcach. W prawym dolnym rogu można umieścić kolejną gwintowaną tuleję dystansową, nakręcając ją na zamontowaną śrubę 32 mm...35 mm.

Zamontuj diody LED tak, aby świeciły na czerwono, gdy lewe wyprowadzenie ma wyższy potencjał niż prawe. Można to sprawdzić za pomocą multimetru w trybie testowania diod, a następnie przylutować diody LED tak, aby wystawały nieco ponad moduł LCD.

Teraz od spodu zamontuj płytkę drukowaną dwukanałowego zasilacza do płytek stykowych. Sprawdź odstępy i przytnij te wyprowadzenia, które mogłyby zakłócać działanie innych elementów. Jeśli elementy nadal są zbyt blisko siebie, możesz dodać między nimi materiał izolacyjny.

Płytkę drukowaną dwukanałowego zasilacza do płytek stykowych zamocuj z lewej strony (od strony płytki stykowej) śrubą wkręconą w spód gwintowanego dystansu. Po prawej stronie zamontuj dwa ostatnie dystanse, które zakryją wystające końcówki śrub i jednocześnie posłużą jako nóżki – tak jak w samym dwukanałowym zasilaczu do płytek stykowych. W ten sposób unieruchomisz drugi koniec stosu płytek i zakończysz montaż.

Włączanie zasilania

Jeśli chcesz zachować ostrożność podczas pierwszego podłączenia zasilania, użyj zasilacza z ograniczeniem prądu ustawionym na około 100 mA lub skorzystaj z baterii 9 V. Upewnij się, że do CON3 lub CON4 nie jest podłączone żadne urządzenie.

Podświetlenie wyświetlacza LCD powinno się włączyć, ale do uzyskania wyraźnego odczytu może być konieczna regulacja nastawy potencjometru VR5. Stan wyświetlacza powinien być zbliżony do przedstawionego na **ekranie 1**, chociaż prawdopodobnie będą widoczne inne wartości.

Sprawdź, czy napięcie w prawym dolnym rogu jest o około pół wolta niższe od napięcia zasilania na CON1. Przy braku podłączonych urządzeń powinno ono zmieniać się między napięciem wejściowym a „0 W 0 W".

Naciśnięcie przycisku S1 lub S2 powinno spowodować przełączenie ikon alarmów w prawym dolnym rogu. Jeśli jedna z diod LED świeci się na czerwono, buzzer piezoelektryczny powinien zabrzmieć po wyłączeniu alarmu. Jeśli tak się nie stanie, diody LED mogą być odwrócone.

Aby to sprawdzić, ustaw ograniczenie prądu na około połowę zakresu. Na górnej linii powinien pojawić się stan około 1,25 A. Ustaw napięcia na minimalne wartości. Powinno to spowodować, że diody LED będą świecić na zielono.

Najprostszym sposobem na wymuszenie stanu alarmowego czerwonej diody LED jest ustawienie potencjometrów napięcia na maksimum, a ograniczenia prądu na minimum.

Moduł wyświetlacza jest montowany nad Dwukanałowym zasilaczem do płytek stykowych, tworząc poręczne urządzenie, które wystarczy podłączyć do szyn zasilających płytki stykowej. Jest to konstrukcja znacznie bardziej kompaktowa niż standardowy podwójny zasilacz laboratoryjny, pomaga uporządkować plątaninę przewodów i nie wymaga odwracania wzroku podczas testowania prototypu

W tym przypadku również powinien uruchomić się alarm dźwiękowy z buzzera piezoelektrycznego, jeśli alarm nie jest wyciszony.

Na koniec można sprawdzić, czy cykliczne naciskanie S3 powoduje przechodzenie przez różne ekrany kalibracji. Jeśli tak jest, to moduł wyświetlacza działa zgodnie z oczekiwaniami. Jeśli diody LED świecą się niewłaściwym kolorem, należy je odlutować i zamienić miejscami ich wyprowadzenia.

Kalibracja

Podczas normalnego użytkowania wszystkie istotne informacje są wyświetlane na jednym ekranie (wcześniej były pokazane na **ekranie 1**). Ekran ten pojawia się po włączeniu zasilania, dzięki czemu można korzystać z modułu wyświetlacza bez naciskania żadnych przycisków.

Jeśli odczyty wyświetlane przez moduł wyświetlacza różnią się o więcej niż 5%, zalecamy sprawdzenie konstrukcji, ponieważ bez kalibracji powinny być one bliższe tej wartości. Zacznij od sprawdzenia wszystkich rezystorów dzielnika.

Podane elementy o tolerancji 1% będą wystarczające do większości zastosowań i mieszczą się w zakresie rozdzielczości wyświetlanych wartości, więc kalibracja jest opcjonalna.

Naciśnięcie przycisku S3 powoduje wyświetlenie współczynników kalibracji dla wszystkich wyświetlanych parametrów, z wyjątkiem mocy wydzielanej w tranzystorach, które są ustawiane przez napięcia i prądy składowe. Każde naciśnięcie przycisku S3 powoduje przechodzenie kolejno przez wszystkie parametry, aż do powrotu do ekranu 1.

Ekran 2 przedstawia typową stronę kalibracji. Współczynniki kalibracji są wyświetlane

eprasa.pl 39e0ebb5e6

w tej samej kolejności, co na ekranie głównym, ale w drugim wierszu tekstu znajduje się również opis parametru.

W trzecim wierszu widoczna jest obliczona wartość tego parametru przy użyciu aktualnego współczynnika kalibracji, który znajduje się w wierszu poniżej. Współczynnik kalibracji jest zmieniany za pomocą przycisków S1 i S2 zwiększających lub zmniejszających wartość.

Najprostszym sposobem kalibracji jest zatem zmierzenie parametru (napięcia lub prądu) za pomocą multimetru, a następnie dostosowanie współczynnika kalibracji, aż wartości będą zgodne.

Ponieważ wszystkie napięcia są mierzone z zastosowaniem takich samych dzielników 51 kΩ/10 kΩ, ich domyślne współczynniki kalibracji są również jednakowe. Podobnie wszystkie prądy mają różne współczynniki kalibracji.

Za pomocą multimetru odczytaj napięcie lub prąd, który chcesz skalibrować. Pamiętaj, że w przypadku prądów konieczne będzie zastosowanie obciążenia i do sprawdzenia wartości zadanych upewnij się, że ograniczenie prądu jest aktywne.

Wybierz odpowiedni ekran, a następnie dostosuj współczynnik kalibracji w górę lub w dół za pomocą przycisków S1 i S2, aż odczyt multimetru będzie zgodny z odczytem wyświetlanym na ekranie.

Upewnij się, że masz właściwy ekran, ponieważ istnieje wiele różnych parametrów. Następnie wróć do ekranu głównego i sprawdź, czy wyświetlane wartości są spójne.

Ostatnia strona kalibracji (**ekran 3**) umożliwia zapisanie współczynników kalibracji w pamięci EEPROM, co oznacza, że zostaną one zachowane na stałe do wykorzystania w przyszłości. Aby trwale zapisać dane, wystarczy nacisnąć jednocześnie przyciski S1 i S2 na tej stronie. Wykonanie tej czynności zostanie potwierdzone odpowiednim komunikatem.

Ekran 2. Wszystkie główne parametry wyświetlane na ekranie głównym można skalibrować za pomocą tych ekranów. Wystarczy odczytać rzeczywiste napięcie za pomocą multimetru i użyć przycisków S1 i S2, aby dostosować wyświetlane napięcie, aż będzie zgodne z rzeczywistym

Ekran 3. Współczynniki kalibracji można zapisać w nieulotnej pamięci EEPROM, naciskając jednocześnie przyciski S1 i S2 na tej stronie

Użytkowanie

Od tej pory Moduł wyświetlacza po prostu wyświetla różne napięcia i prądy ustawione i używane przez dwukanałowy zasilacz do płytek stykowych. Alarmy można wyciszyć i włączyć za pomocą przycisków S1 i S2.

Wskaźnik mocy w prawym dolnym rogu, który zmienia się wraz z napięciem zasilania, ostrzega o warunkach, które mogą spowodować przegrzanie tranzystorów dwukanałowego zasilacza do płytek stykowych. Wyświetlacz pokazuje wartości od 0 W do 9 W dla każdego kanału, ponieważ jest to maksymalna wartość, jaką można wyświetlić w dostępnej przestrzeni. Konstrukcja jest przystosowana do pracy ciągłej z obciążeniem do 3 W i krótkotrwałym obciążeniem do 5 W.

Jeśli wartości te wzrosną powyżej tego poziomu, należy wyłączyć układ, aby uniknąć uszkodzenia dwukanałowego zasilacza do płytek stykowych.

Po skonfigurowaniu wszystkich parametrów i opcji nie powinno być konieczne wykonywanie żadnych czynności związanych z modułem wyświetlacza, poza odczytywaniem wyświetlanych informacji.

Alarmy dźwiękowe dla wyjść CON3 i CON4 są włączane lub wyłączane na ekranie głównym przyciskami S1 i S2. Ikona głośnika ze znakiem „x" oznacza, że alarm jest wyciszony, co jest ustawieniem domyślnym po włączeniu zasilania.

Ponieważ dioda LED1 znajduje się nad VR1, a dioda LED2 nad VR2, każda dioda LED odpowiada jednemu kanałowi dwukanałowego zasilacza do płytek stykowych. Zazwyczaj dla każdego kanału świeci się zielona dioda LED. Jeśli układ IC4 wykryje, że rzeczywiste napięcie nie jest zbliżone do napięcia zadanego, zmienia kolor diody LED na czerwony. W praktyce oznacza to, że uruchomienie ograniczenia prądowego, chociaż może się to również zdarzyć, jeśli potencjometry napięcia są ustawione powyżej napięcia wejściowego prądu stałego.

Jeśli alarm dla odpowiedniego kanału nie jest wyciszony, w chwili, gdy odpowiednia dioda LED świeci się na czerwono, buzzer emituje krótkie sygnały dźwiękowe. Powinno to zwrócić uwagę bez irytowania tak bardzo, jak w przypadku ciągłego dźwięku.

Chociaż dwukanałowy zasilacz do płytek stykowych nie ma przełącznika załącz/wyłącz ani odłączania obciążenia, można dość łatwo wyciągnąć wtyk zasilacza. Dobrze jest to zrobić natychmiast, jeśli zauważysz, że w tranzystorach jest wydzielana zbyt duża moc lub niepokoją Cię inne wskazania. ■

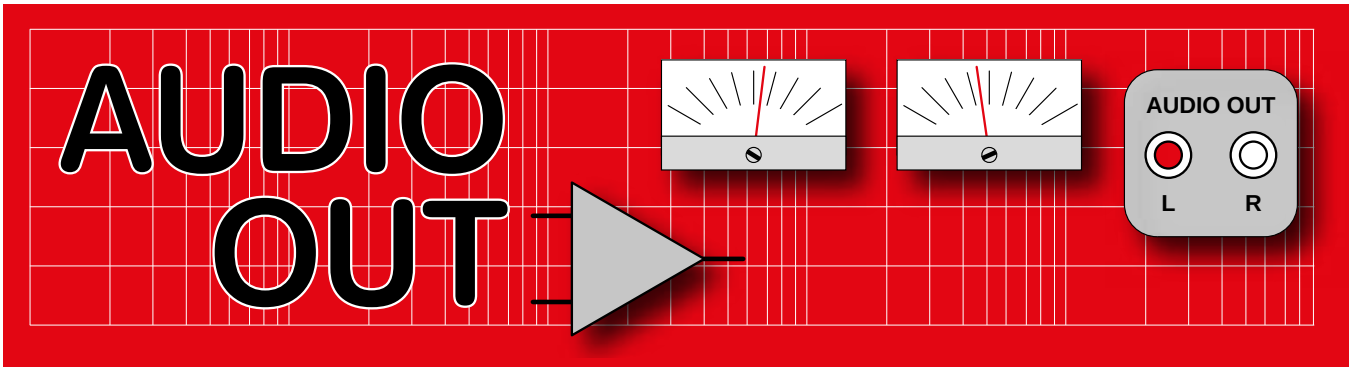
Tim Blythman

Materiały dodatkowe dostępne są na stronie Silicon Chip:
https://www.siliconchip.com.au/Shop/8/6569

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

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

eprasa.pl 39e0ebb5e6



Transformatory w elektroakustyce, część 4

Podobnie jak wiele innych elementów indukcyjnych, transformatory elektroakustyczne to podzespoły nieco nietypowe. W wielu przypadkach są nawijane na zamówienie. W tym miesiącu w cyklu Audio Out przedstawię obszerną listę najczęściej spotykanych gotowych transformatorów, z którymi zetknąłem się w trakcie ponad 40-letniej praktyki, wraz z ich specyfikacjami i przykładami zastosowań.

Pamiętajmy, że niektóre firmy wymienione na liście – np. Repanco – już nie istnieją. Dane ich produktów zostały podane w celach historycznych oraz dla ułatwienia Czytelnikowi postępowania ze starym sprzętem. Większość pozycji wymienionych w podanych tabelach jest jednak dostępna w sklepach internetowych.

Zanim przejdziemy dalej, przypomnijmy sobie najważniejszą cechę transformatora elektroakustycznego, czyli zależność między przekładnią (N) a stosunkiem impedancji, i odwrotnie:

$$N^2 = \frac{Z_p}{Z_s}$$

czyli

$$N = \sqrt{\frac{Z_p}{Z_s}}$$

Na przykład dla transformatora o impedancjach 10 kΩ / 3 Ω:

$$N = \sqrt{\frac{10000}{3}} = 58$$

Transformator ten ma zatem przekładnię 58:1. W drugą stronę mamy:

$$Z_p = N^2 \cdot Z_s$$

Zatem przy przekładni 58:1

$$Z_p = (58^2) \cdot 3 = 3364 \cdot 3 = 10092\Omega$$

Z przodu i z tyłu

Transformator może być zwykle używany również „od tyłu" – po zamianie uzwojenia wtórnego z pierwotnym. Terminy „pierwotny" i „wtórny" są jedynie umowne, a podstawowe równania transformatora działają w obie strony. Na przykład transformator głośnikowy LT700 może skutecznie działać w roli transformatora podwyższającego napięcie głośnika używanego jako mikrofon w interkomie.

W niektórych kartach katalogowych zauważyłem, że podawane stosunki ilości zwojów i impedancje transformatorów nie są ze sobą zgodne. Może to być spowodowane tym, że podawane są tam impedancje źródła i obciążenia dla uzyskania optymalnie płaskiej odpowiedzi częstotliwościowej. Ponadto w przypadku istnienia podwójnych uzwojeń wtórnych, np. w T/T3 (przekładnia 3,6:1+1), podana impedancja może odnosić się do tylko jednego uzwojenia wtórnego. Czasami dochodzi do nieporozumień związanych z odczepami w uzwojeniach. Uzwojenie pierwotne o impedancji 8000 Ω z odczepem w środku bywa opisywane jako 2000 Ω + 2000 Ω. Wynika to z faktu, że jeśli dwa identyczne uzwojenia są połączone szeregowo, to ich rezystancja stałoprądowa jest większa dwukrotnie, ale impedancja – czterokrotnie. Natomiast jeśli dwa jednakowe uzwojenia są połączone równolegle, to rezystancja stałoprądowa zmniejsza się o połowę, ale impedancja pozostaje taka sama. Skutek połączenia równoległego uzwojeń jest bowiem taki, jakby liczba zwojów pozostała ta sama, a podwojeniu uległa średnica drutu.

Przewodnik *Audio Out* po transformatorach elektroakustycznych

Pierwsza lista (**tabela 1**) dotyczy starych transformatorów pochodzących z ery tranzystorów germanowych (1954–1978). Były one pierwotnie używane w radiach tranzystorowych i innych konsumenckich produktach audio. Gwiazdka (*) oznacza, że transformator jest nadal produkowany.

Następnie, w **tabeli 2**, mamy transformatory ze średniej półki cenowej, od producentów takich jak Gardeners, Hammond, Sescom, Triad i Vigortonix. Są to elementy nadające się do standardowych urządzeń Hi-Fi oraz sprzętu studyjnego. W dobrze zaprojektowanych układach mogą dać doskonałe rezultaty.

Firmy Belclere, OEP (Oxford Electrical Products), STC/ESD i Vigortronix produkują szereg transformatorów elektroakustycznych ogólnego zastosowania, wśród których takie same modele noszą różne numery (patrz seria VTX-A w tabeli 2). W układach Steve'a Dove'a z rysunku 20 (druga część artykułu) i rysunku 25 (trzecia część artykułu) można użyć typów Vigotronix VTX-101-003, Belclare/OEP A 262 A3E, RS 210-6426 lub STC/ESD 66122X. Transformatory te są jednakowe. Jeśli ma być używane zasilanie

eprasa.pl 39e0ebb5e6

Tabela 1. Transformatory elektroakustyczne „na początek" (* – nadal w produkcji)

Oznaczenie	Producent	Zastosowanie	Stosunek ilości zwojów	Stosunek impedancji
LT700*	Eagle i inni	Wyjście przeciwsobne 200 mW lub w klasie A w radioodbiornikach dla początkujących	20:1	1,2 kΩ:3 Ω
LT44*	Eagle i inni	Stopień sterujący układu przeciwsobnego. Często używany jako cewka o dużej indukcyjności – 5,8H do 9H	4,5:1	20 kΩ:1 kΩ
LT717	Eagle	Wejściowy stopień podwyższający. Sterowanie tranzystora bipolarnego	12:1	150 kΩ:1 kΩ
LT722	Eagle	Stopień sterujący układu przeciwsobnego we wzmacniaczu mocy	1,4:1	2 kΩ:1 kΩ
LT726	Eagle Jaycar MM-2530	Wyjście przeciwsobne 200 mW	12,5:1 (3,2 Ω) lub 7,9:1 (8 Ω)	500 Ω:3,2 Ω lub 500 Ω:8 Ω
LT730	Eagle	Wyjście przeciwsobne 500 mW	12,5:1 lub 7,9:1 (8 Ω)	500 Ω:3,2 Ω lub 500 Ω:8 Ω
T/T1, E187A 217-624*	Repanco/OEP/RS Jaycar MM-2532	Stopień sterujący układu przeciwsobnego; prąd stały 1 mA; 2 mW	1:1	800 Ω:800 Ω
T/T2	Repanco	Wyjście przeciwsobne 200 mW we wzmacniaczu niskonapięciowym OC72 4,5 V/6 V	6,6:1	130 Ω:3 Ω
T/T3 lub E187B 217-646*	Repanco/OEP/RS	Stopień z podwójnym uzwojeniem wtórnym; mały wzmacniacz Ravensbrook 5 mW	3,6:1+1	3 kΩ:250 Ω+250 Ω
T/T4	Repanco	Wyjście głośnikowe z jednym elementem aktywnym; 50 mW; prąd stały 20 mA	9:1	243 Ω:3 Ω
T/T6	Repanco	Stopień sterujący układu przeciwsobnego	2,8:1	7,8 kΩ:1 kΩ
T/T7	Repanco	Wyjście przeciwsobne 1 W, 9 V, 2 × OC81	9,2:1	250 Ω:3 Ω
T/T12	Repanco	Wyjście radia samochodowego klasy A 3 W; prąd stały 400 mA; rdzeń ze szczeliną	2,9:1	28 Ω:3 Ω
T/T23	Repanco	Stopień sterujący układu przeciwsobnego wzmacniacza 10 W; OC25; prąd stały 80 mA	2:1	
T/T24	Repanco	Stopień sterujący układu przeciwsobnego wzmacniacza 10 W; OC25. Może zastąpić transformator wyjściowy we wzmacniaczu klasy A Mullard 5 W PT1, dając słabszy bas (indukcyjność uzwojenia pierwotnego to 30mH zamiast 1H)	1,35+1,35:1+1	22 Ω:15 Ω (uzwojenia wtórne połączone szeregowo) 22 Ω:3 Ω (uzwojenia wtórne połączone równolegle)
X7920	Greenweld	Międzystopniowy	4,5:1	6 kΩ:300 Ω
GR51135	Gardeners	Wyjście symetryczne o małej impedancji	1,35+1,35:1+1	22 Ω:15 Ω (uzwojenia wtórne połączone szeregowo) 22 Ω:3 Ω (uzwojenia wtórne połączone równolegle)
Wyjście wokodera *Practical Electronics*			1:1	150 Ω:150 Ω
250P*	Triad Magnetics (dystrybucja: Mouser)	Uzwojenie wtórne z odczepem do sterowania stopni przeciwsobnych (odpowiednie dla małych mocy jak Ravensbourne na rysunku 14 a)	2:1+1	1000 Ω:250 Ω+250 Ω
42TU048-RC*	Xicon (dystrybucja: Mouser)	Wyjście przeciwsobne 1 W. Do wzmacniaczy niskonapięciowych	2,45:1 (8 Ω)	48 Ω:3,2 Ω lub 48 Ω:8 Ω
42TU120-RC*	Xicon	Wyjście przeciwsobne 1 W (zamiennik do radia Bush TR130)	3,9:1 (8 Ω)	120 Ω:3,2 Ω lub 120 Ω:8 Ω
42TU200-RC*	Xicon (Mouser)	Wyjście przeciwsobne 1 W (wzmacniacz Deacy)	5:1 (8 Ω)	200 Ω:3,2 Ω lub 200 Ω:8 Ω
42TU400-RC*	Xicon (Mouser)	Wyjście przeciwsobne 1 W	7,9:1 (8 Ω)	500 Ω:3,2 Ω lub 500 Ω:8 Ω
42TU003-RC*	Xicon (Mouser)	Wyjście przeciwsobne 1 W do głośnika ze wzmacniacza operacyjnego	12.2:1 (8 Ω)	1,2 kΩ:3,2 Ω lub 1,2 kΩ:8 Ω
42TU400-RC*	Xicon (Mouser)	Wyjście przeciwsobne 1 W	7,9:1 (8 Ω)	500 Ω:3,2 Ω lub 500 Ω:8 Ω

eprasa.pl 39e0ebb5e6

Tabela 2. Transformatory elektroakustyczne ze średniej półki cenowej				
Oznaczenie	**Producent**	**Zastosowanie**	**Stosunek ilości zwojów**	**Stosunek impedancji**
VTX-101-001* A262A1E 88-2100	Vigortronix Belclere RS	Wyjście głośnikowe lub słuchawkowe o małej impedancji Seria A	6.3+6.3:1+1	150 Ω+150 Ω:3,75 Ω+3,75 Ω. W połączeniu szeregowym 600 Ω:15 Ω
VTX-101-002* A262A2E 88-2102 66120D	Vigortronix OEP/ Belclere RS ESD	Międzystopniowy Seria A	1+1:2+2	150 Ω+150 Ω:600 Ω+600 Ω
VTX-101-003* A262A3E/ EN6423 88-2104	Vigortronix OEP/ Belclere RS	Wejście mikrofonowe Seria A	1+1:6,45+6,45	w szereg: 600 Ω: 25 kΩ; równolegle: 150 Ω:6,45 kΩ
VTX-101-006* A262A6E 88-2106	Vigortronix OEP/ Belclere RS	Symetryczne wyjście liniowe Seria A	1+1:1+1	150 Ω+150 Ω:150 Ω+150 Ω; w połączeniu szeregowym 600 Ω
VTX-101-007* A262A7E 88-2108	Vigortronix OEP/ Belclere RS	Symetryczne wyjście liniowe o większej impedancji. Poziom 6 V_{pp} przy 30 Hz Seria A	1+1:1+1	600 Ω+600 Ω:600 Ω+600 Ω; w połączeniu szeregowym 2,4 kΩ
VTX-101-3001* Z3001	Vigortronix OEP	Symetryczne wyjście liniowe we wzmacniaczu mikrofonowym. 10,6 V_{pp} przy 30 Hz	1:1	600 Ω:600 Ω
VTX-101-3002*	Vigortronix	Symetryczne wyjście liniowe. Wysoki poziom: 37Vpp przy 30 Hz. Rdzeń SiFe	1:1+1	600 Ω:600 Ω+600 Ω
76825D8380MO1	Generic/surplus	Transformator do modemów z rdzeniem z mumetalu. Pasmo 300 Hz...20 k. Używany w aktywnych zwrotnicach na wyjściu do głośnika wysokotonowego.	1:1	600 Ω:600 Ω
MI-81	Sescom	Rozdzielone poczwórne wyjście liniowe	1+1:1+1+1+1	600 Ω/150 Ω

„fantom", to oba uzwojenia pierwotne powinny być połączone szeregowo (zasilanie należy podłączyć do wspólnego punktu uzwojeń). W przypadku stosowania mikrofonu z ruchomą cewką – uzwojenia łączymy równolegle. W obu konfiguracjach stosunek zwojów pozostaje taki sam. Najtańszym dostawcą tych transformatorów jest Vigortronix. Warto wiedzieć, że firma ta wykonuje również „specjalne" elementy indukcyjne na zamówienie, w tym sieciowe transformatory toroidalne.

I wreszcie w **tabeli 3** przechodzimy do transformatorów audio wysokiej klasy. Najlepsze transformatory produkują wytwórcy CineMag, Audionote, Gardeners, Jensen, Sowter, Partridge, Lundahl, Stevens & Billington i BBC. W transformatorach Audionote, przeznaczonych dla zastosowań Hi-Fi z najwyższej półki, gdzie cena gra rolę drugorzędną, używany jest nawet srebrny drut. Chociaż ja sam nie jestem przekonany, czy ma to fizyczne uzasadnienie. Są to jednak idealne transformatory do wzmacniaczy triodowych „single-ended" (z pojedynczą lampą w stopniu końcowym, pracującą w klasie A; przypis redaktora). A jedną z istotnych cech drogich transformatorów jest to, że do zapewnienia dobrych wyników z zasady nie wymagają wyspecjalizowanych układów sterujących.

W profesjonalnym urządzeniu elektroakustycznym transformator audio stanowi nierzadko najdroższy element, droższy nawet

Tabela 3. Transformatory wysokiej klasy (drogie)				
Oznaczenie	**Producent**	**Zastosowanie**	**Stosunek ilości zwojów**	**Stosunek impedancji**
LL/76MPC	BBC	Rdzeń z mumetalu, małosygnałowy, 6 V_{pp} przy 30 Hz	1:1	600 Ω:600 Ω
LL/942PU	BBC	Rdzeń z mumetalu, wielkosygnałowy, +20 dBu	1:1	600 Ω:600 Ω
CMOQ-2 HiNi*	CineMag	Rdzeń z mumetalu, wielkosygnałowy, +22 dBu	1:1	600 Ω:600 Ω
JE-11BMCF*	Jensen	Rdzeń z mumetalu, wielkosygnałowy, +26 dBu	1:1	600 Ω:600 Ω
JE-16A*	Jensen	Przedwzmacniacz mikrofonowy 990 ze wzmacniaczem operacyjnym na elementach dyskretnych	1:2	150 Ω:600 Ω
LL 1530*	Lundahl	Rdzeń z mumetalu, do przedwzmacniacza mikrofonowego na układzie 5534	1+1:3,5+3,5	600 Ω:7,35 kΩ (połączenie szeregowe)
3785*	Sowter	Wejściowy transformator separujący, wielkosygnałowy, +26 dBu przy 50 Hz	1:1	10k:10k
5069	Sowter	Rdzeń łączony (mumetal/M6), wielkosygnałowy, +25 dBu przy 50 Hz	1:1	600 Ω:600 Ω
Neve LO1166; Sowter 1717 jest zamiennikiem*	St Ives Windings (obecnie Carnhill), Sowter (obecnie Carnhill)	Rdzeń SiFe/M6 ze szczeliną, wielkosygnałowy, do wzmacniacza BA283, prąd stały 85 mA, +26 dBu przy 50 Hz	1:1,67 (połączenie szeregowe)	150 Ω:600 Ω (połączenie szeregowe)
Uwaga: firmy Sowter i OEP zostały przejęte przez Carnhill Transformers (https://carnhill.co.uk)				

eprasa.pl 39e0ebb5e6

Rysunek 37. Wzmacniacz do monitorów studyjnych z transformatorami wyjściowymi Sowter 5069 Mumetal/M6. Obwód Zobla to 22 nF i 1,5 kΩ. Jest to ten sam transformator, który omawialiśmy w części 2, rysunek 30

Rysunek 38. Transformatory wyjściowe Jensen, wykonane na zamówienie (u dołu po lewej) w analizatorze Audio Precision SYS-2712. Symetryczne wyjście z transformatora ma najniższe zniekształcenia, z jakimi kiedykolwiek się spotkałem. Musi mieć takie, ponieważ jest to system do mierzenia zniekształceń innych wzmacniaczy

niż toroidalny transformator sieciowy. Według wielu użytkowników i projektantów transformatory takie są absolutnie warte swej ceny, ponieważ dobrze brzmią, są całkowicie niezawodne i stanowią jedyny sposób na odseparowanie mas i zmniejszenie zakłóceń.

A są drogie, ponieważ stanowią elementy niszowe, robione ręcznie. Jak obejrzycie wideo firmy CineMag z gatunku „jak to jest robione" (https://youtu.be/TqOSfW5tqBA), to zobaczycie armię wykwalifikowanych ludzi wykonujących ręcznie różne czynności z użyciem drutu i taśmy klejącej. Nawet blachy rdzenia są najwyraźniej wstawiane ręcznie jedna po drugiej. Podobnie to wyglądało, gdy niedawno odwiedziłem firmę ICW Capacitors, która produkuje specjalne kondensatory do zwrotnic głośnikowych KEF.

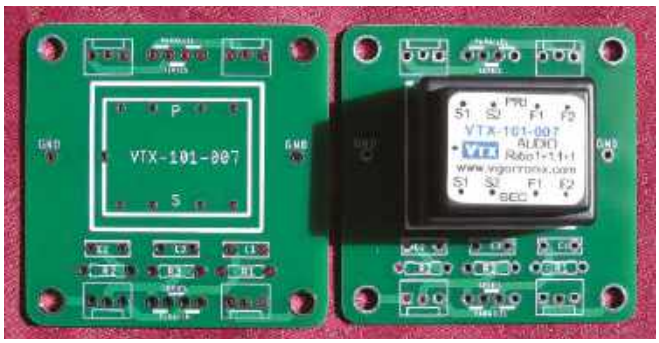
Wśród transformatorów najwyższej jakości najlepszy stosunek jakości do ceny mają produkty firmy Sowter. Na **rysunku 37** widać kilka transformatorów wyjściowych Sowter 5069 we wnętrzu wzmacniacza sterującego do monitorów studyjnych. Nie kto inny jak dr Sowter przeprowadzał zasadnicze badania nad transformatorami elektroakustycznymi z rdzeniem niklowym w ramach swojej pracy doktorskiej na Uniwersytecie Londyńskim w 1945 roku. Wart przeczytania jest jego przełomowy artykuł z październikowego wydania Journal of the Audio Engineering Society z 1987 roku. Można go znaleźć na stronie internetowej Sowter: https://www.sowter.co.uk/pdf/GAVS.pdf.

Jeszcze dalej poszła firma Jensen, która robi transformatory audio chyba najlepsze na rynku. W całej mojej karierze widziałem na własne oczy tylko dwa produkty Jensena – transformatory wyjściowe w analizatorze zniekształceń Audio Precision pokazanym na **rysunku 38**. Sterowane ze wzmacniacza o ujemnej rezystancji, zapewniają zniekształcenia poniżej 0,0002% w całym paśmie akustycznym. Podobne parametry pozwala uzyskać transformator wyjściowy Jensen JE-11BMCF. Zapewnia współczynnik zniekształceń harmonicznych (THD) na poziomie 0,002% przy wysterowaniu na poziomie +26 dBu (15,46 V_{RMS} czyli 43 V_{PP}) ze źródła o zerowej rezystancji wewnętrznej. Z odpowiednim wzmacniaczem transformator ten powinien zbliżyć się do poziomu zniekształceń reprezentowanego przez Audio Precision. Tylko jak miałbym to zmierzyć? Spodziewam się, że cena tego transformatora musi przekraczać 700 zł. Firma Jensen uzyskała taką biegłość w równoważeniu pojemności i rezystancji w swoich transformatorach, że większość z nich nie potrzebuje nawet obwodu Zobla. Górny skraj charakterystyki częstotliwościowej jest zbliżony kształtem do charakterystyki filtru Bessela, co zapewnia doskonałe opóźnienie grupowe, a tym samym znakomite przenoszenie sygnałów impulsowych.

Przejdźmy do montażu

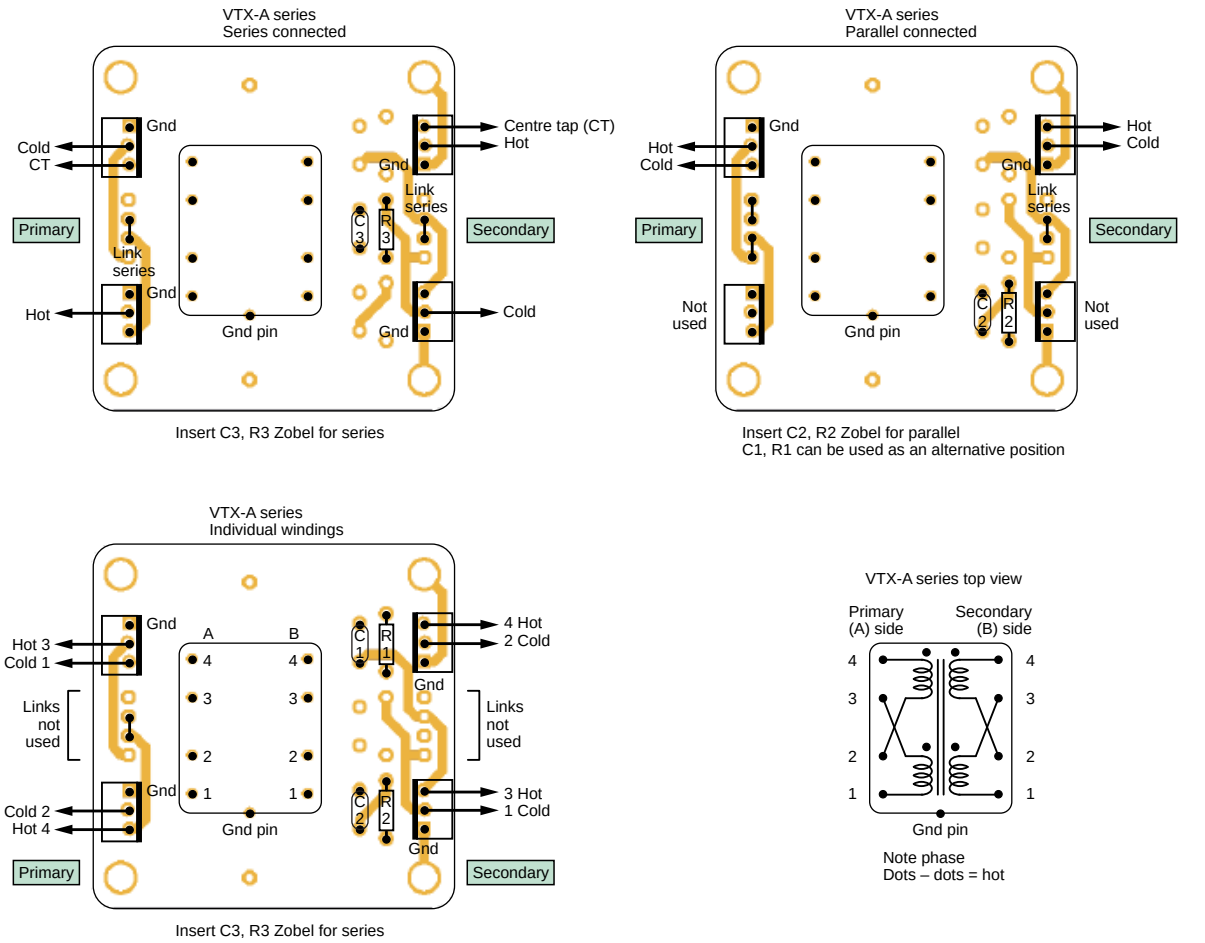
Wysokiej jakości transformatory audio są znacznie cięższe niż większość innych elementów, a ich montaż wymaga dodatkowych zabiegów. Wiercone płytki uniwersalne, zwłaszcza z laminowanego papieru, nie są wystarczająco wytrzymałe. Na takiej płytce można co najwyżej montować małe „amatorskie" transformatory firm Eagle i Xicon. Duże transformatory elektroakustyczne ważą nieraz ponad 200 g i wymagają zwykle przykręcenia do płytki. Stosowane dziś płytki drukowane z włókna szklanego są znacznie mocniejsze niż płytki uniwersalne, zwłaszcza jeśli mają metalizowane otwory przelotowe. Zleciłem Mike'owi Grindle'owi zaprojektowanie kilku płytek drukowanych, przeznaczonych do montażu powszechnie dostępnych transformatorów Vigortronix i OEP, których używam w większości moich projektów. Projekty te są dostępne w dziale Practical Electronics PCB Service, listopad 2022.

Pierwsza płytka została zaprojektowana dla standardowego układu transformatora VTX-A i daje możliwość łączenia zworkami par uzwojeń, zarówno pierwotnych jak i wtórnych, szeregowo lub równolegle. Uziemienie odbywa się poprzez otwory montażowe i jest doprowadzone do złącz Molex, umożliwiając połączenie



Rysunek 39. Płytki do montowania transformatorów Vigortronix/OEP. Umożliwiają one łączenie szeregowe/równoległe uzwojeń i dodanie obwodów Zobla. Są przystosowane do złączy Molex

eprasa.pl 39e0ebb5e6



Rysunek 40. Warianty płytek do montażu transformatorów. Wartości RC obwodów Zobla są dla przypadku wielkiej impedancji obciążenia (>20 kΩ) i impedancji źródła sygnału równej 50 Ω

z ekranami kabli. Istnieje możliwość dołączenia obwodów Zobla. Mogą być dwa takie obwody – po jednym na każdym uzwojeniu wtórnym, gdy są one rozdzielone – lub jeden, gdy oba uzwojenia wtórne są połączone szeregowo albo równolegle, jak pokazano na **rysunku 39**. Rysunki montażowe płytki pokazano na **rysunku 40**, a zmontowaną płytkę wejścia mikrofonowego na **rysunku 41**. Płytkę wyjściową z transformatorem VTX-101-007 widać na **rysunku 42**. Należy zauważyć, że obwód Zobla ma różne wartości elementów w zależności od tego, czy uzwojenia wtórne łączymy szeregowo czy równolegle. Wartości te wynoszą odpowiednio 13 nF/1,8 kΩ dla połączenia szeregowego oraz 6,8 nF/1,3 kΩ dla równoległego.

Rysunek 41. Transformator mikrofonowy VTX-101-003 z puszką ekranującą, o uzwojeniach połączonych szeregowo. Wartości obwodu Zobla wynoszą 680 pF i 15 kΩ. Transformator VTX-101-007 z szeregowo połączonymi uzwojeniami wtórnymi jest dołączony w ten sam sposób, z obwodem Zobla 13 nF/1,8 kΩ

Drugi projekt płytki (pokazany na **rysunku 43**) jest przeznaczony do transformatorów wyjściowych dwóch typów: VTX102-3001 i większego VTX-101-3002. Również tu przewidziano miejsce na obwody Zobla, ponieważ mam dosyć podwieszania ich na gniazdach wyjściowych XLR. **Rysunek 44** przedstawia zmontowaną płytkę z transformatorem 3001, a **rysunek 45** – z typem 3002, z uzwojeniami pierwotnymi połączonymi równolegle, by uzyskać przełożenie 1:1. Transformator ten został użyty jako transformator wyjściowy wokodera (EdW 10/2024; przypis redaktora). Kondensator w obwodzie Zobla wynosił tam 33 nF ze względu na ujemną impedancję źródła.

Interesujące układy

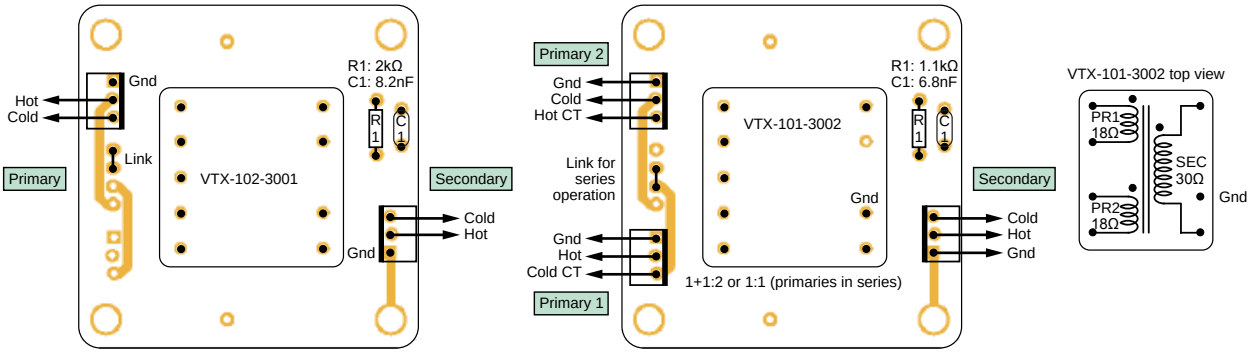
Na koniec, na zaostrzenie apetytu (...i rozgrzanie grota lutownicy), zestawienie kilku interesujących układów z transformatorami audio.

Mikrofon pojemnościowy Hebden Sound/Calrec

Pomagałem przy tym projekcie nieżyjącemu już Keithowi Mingowi wiele lat temu. Projekt

Rysunek 42. Płytka wzmacniacza z wyjściem liniowym z transformatorem VTX-101-007 o uzwojeniach połączonych równolegle. Elementy obwodu Zobla to 1,3 kΩ i 6,8 nF

eprasa.pl 39e0ebb5e6



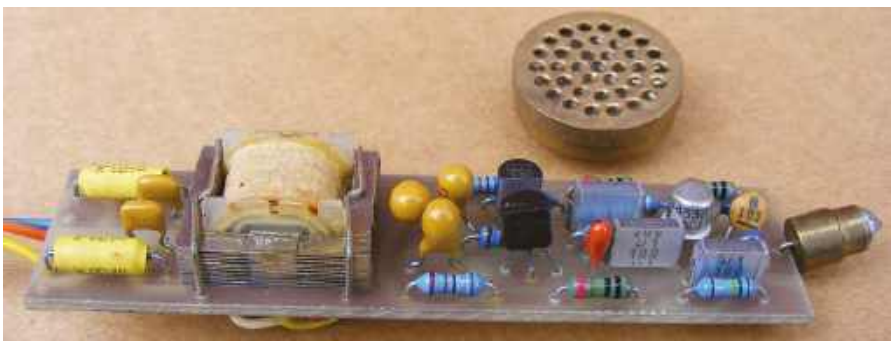
Rysunek 43. Płytka drukowana dla dwóch typów transformatorów wyjściowych: VTX-102-3001 i VTX-101-3002. Uwaga: pojemność 6,8 nF w obwodzie Zobla jest dla źródła 50 Ω

Rysunek 44. Zmontowana płytka z transformatorem 3001. Elementy w obwodzie Zobla mają wartości 2 kΩ i 8,2 nF

Rysunek 45. Wersja z transformatorem 3002. Uzwojenia pierwotne są tu połączone szeregowo, co daje przekładnię 1:1

ujawnia, co kryje się we wnętrzu wielu mikrofonów pojemnościowych (**rysunek 46**). Jest tu niskoszumny wtórnik o impedancji wejściowej 500 MΩ z tranzystorem FET, za którym następuje wtórnik na tranzystorze bipolarnym obciążonym dynamicznym źródłem prądowym. Wprowadzono łagodny filtr górnoprzepustowy odcinający zakłócenia akustyczne powodowane przez wiatr (**rysunek 47**). Zwróćmy uwagę, jak w transformatorze wykorzystano środkowy odczep uzwojenia wtórnego do odbierania zasilania „fantom" przychodzącego przewodem mikrofonowym. Wygląd zewnętrzny mikrofonu przedstawia **rysunek 48**.

Stopień sterujący transformatora z podwójnym wzmacniaczem operacyjnym. Układ przedstawiony na **rysunku 49** został opracowany w celu wysterowania transformatora symetryzującego VTX-101-007 600 Ω. Niezbędny prąd wysterowania uzyskano bez stosowania przeciwsobnego stopnia sterującego (push-pull). Dwa wzmacniacze wchodzące w skład kostki 5534 z wyjściami połączonymi równolegle mogą dostarczyć 80 mA prądu szczytowego. W celu zmniejszenia zniekształceń, w układzie zrealizowano ujemną rezystancję wyjściową. Zmontowany prototyp pokazano na **rysunku 50**.



Rysunek 46. Przedwzmacniacz wbudowany do niewielkiego mikrofonu pojemnościowego. Zwróćmy uwagę na transformator wyjściowy. Jego rdzeń składa się tylko z blach „E"

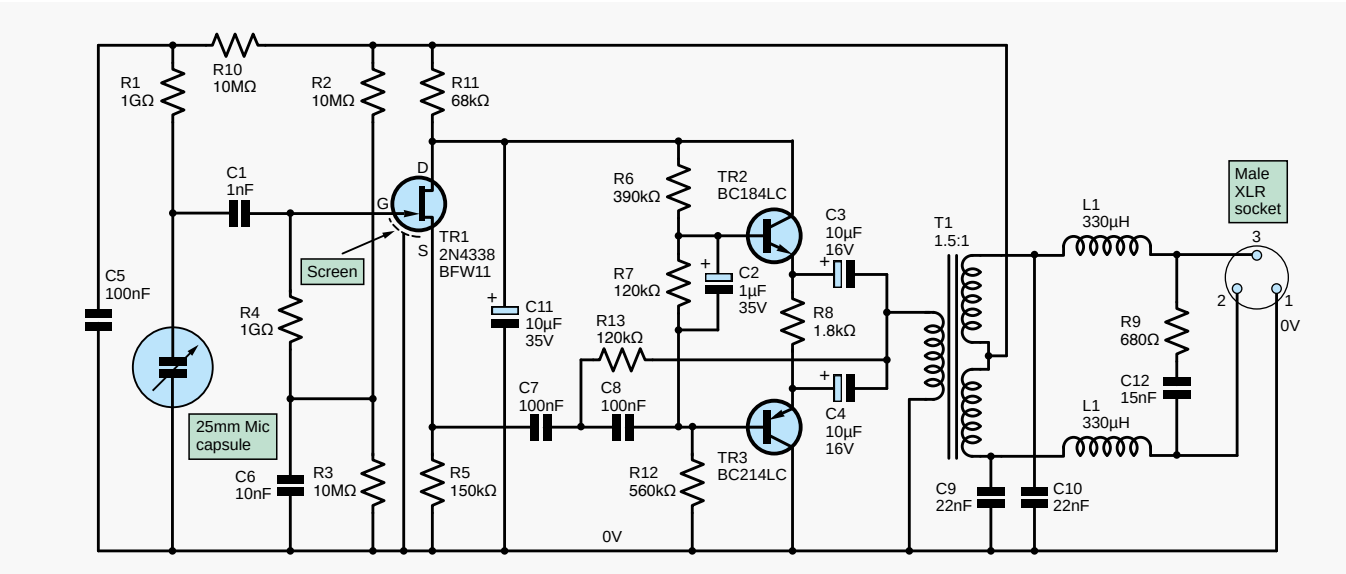
Sterownik przeciwsobny (push-pull)

W tym układzie przyjęto podejście odwrotne niż w układzie poprzednim. Transformator jest sterowany przez stopień przeciwsobny na dwóch wzmacniaczach w układzie mostkowym. Amplituda napięcia zmiennego jest więc dwukrotnie większa, dzięki czemu prąd sterujący transformator może wynosić tylko 40 mA. Potrzebny jest tutaj transformator obniżający napięcie. Jak widać na **rysunku 51**, przełożenie obniżające zrealizowano poprzez szeregowe połączenie trzech uzwojeń transformatora, co dało stosunek 3:1. Zaletą tego układu jest to, że prąd zniekształceń nie przedostaje się do masy sygnału. Płynie on wyłącznie przez linie zasilania. Również tu zrealizowana jest ujemna rezystancja wyjściowa, co okazało się najtrudniejszą częścią procesu projektowania. Musiałem stłumić sygnał wspólny z pomocą sieci R7/R8, pobierając wyłącznie napięcie obecne na rezystorze R9. Nie ma tu żadnego pożytku z ekranu między częścią pierwotną a wtórną transformatora, ponieważ jedno z uzwojeń wtórnych jest używane jako pierwotne. W przypadku sterownika wyjściowego nie jest to jednak krytyczne. Układ na płytce uniwersalnej pokazano na **rysunku 52**.

Wzmacniacz wyjściowy Neve BA283

Tego układu (**rysunek 53**) nie mogło zabraknąć, ponieważ cieszy się on wielką popularnością wśród inżynierów dźwięku. Wynika to ze wspaniałej proporcji składowych harmonicznych wprowadzanych przez ten układ, co jest wynikiem zastosowania niesymetrycznej topologii „single-ended" rodem z lat 60. (pojedynczy tranzystor pracujący w klasie A; przypis redaktora) z dużą zdolnością wysterowania dzięki zastosowaniu tranzystora mocy 2N3055 pracującego z prądem 85 mA. Transformator wyjściowy kosztuje

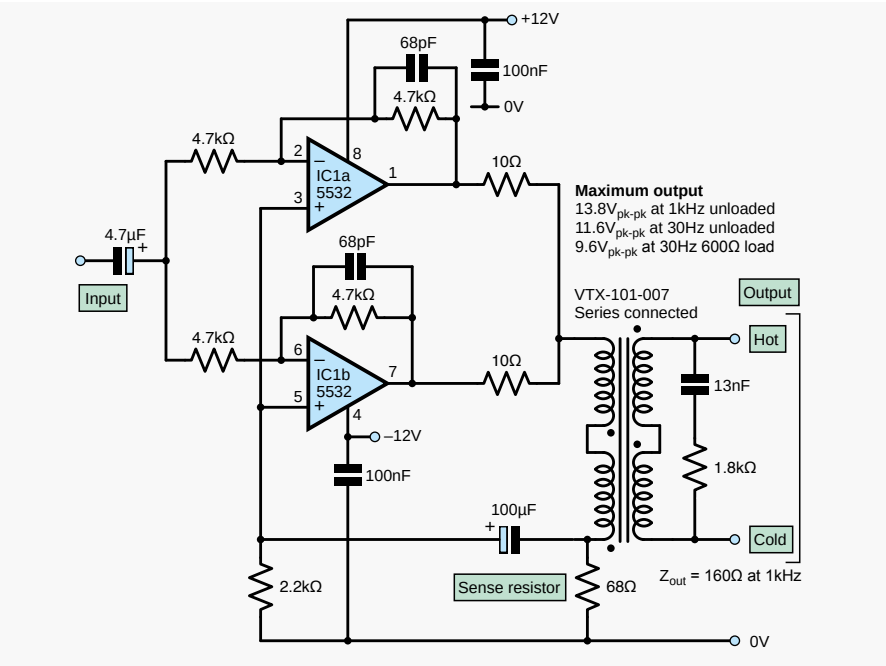
eprasa.pl 39e0ebb5e6



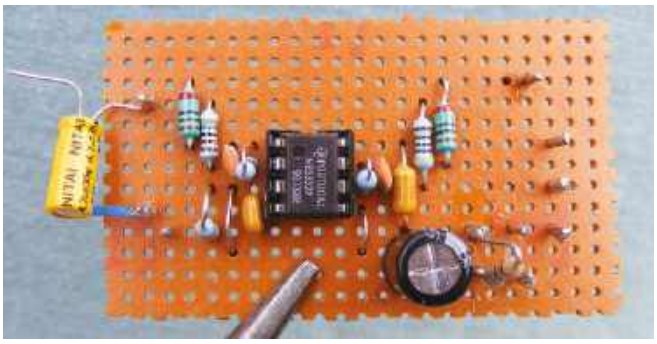
Rysunek 47. Schemat mikrofonu pojemnościowego z przedwzmacniaczem Hebden Sound/Calrec 1072. To nie błąd drukarski – dwa rezystory mają rzeczywiście wartość 1 GΩ (1000 MΩ)

Rysunek 48. Mikrofon pojemnościowy Hebden Sound. Jak większość mikrofonów studyjnych zawiera on małe transformatory audio

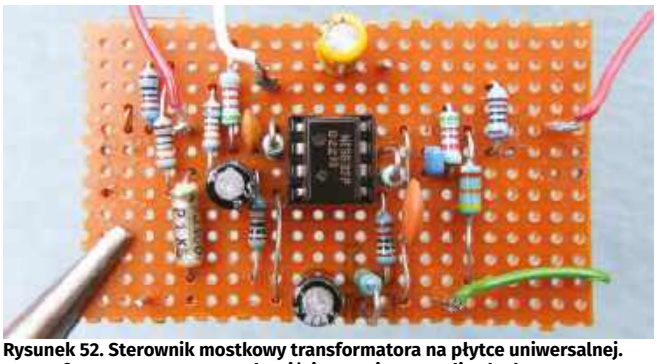
prawie 500 złotych, ponieważ jest dużych rozmiarów i ma rdzeń ze szczeliną, wykonany z żelaza krzemowego M6, a nie z mumetalu. Pozwala to uzyskać poziom sygnału +34 dBu, ponadto przyczynia się do powstawania zniekształceń wnoszących do sygnału trzecią



Rysunek 49. Układ sterujący do transformatora z wyjściem liniowym. Wzmacniacze operacyjne są połączone równolegle, co pozwala podwoić prąd sterujący do wartości 80 mA

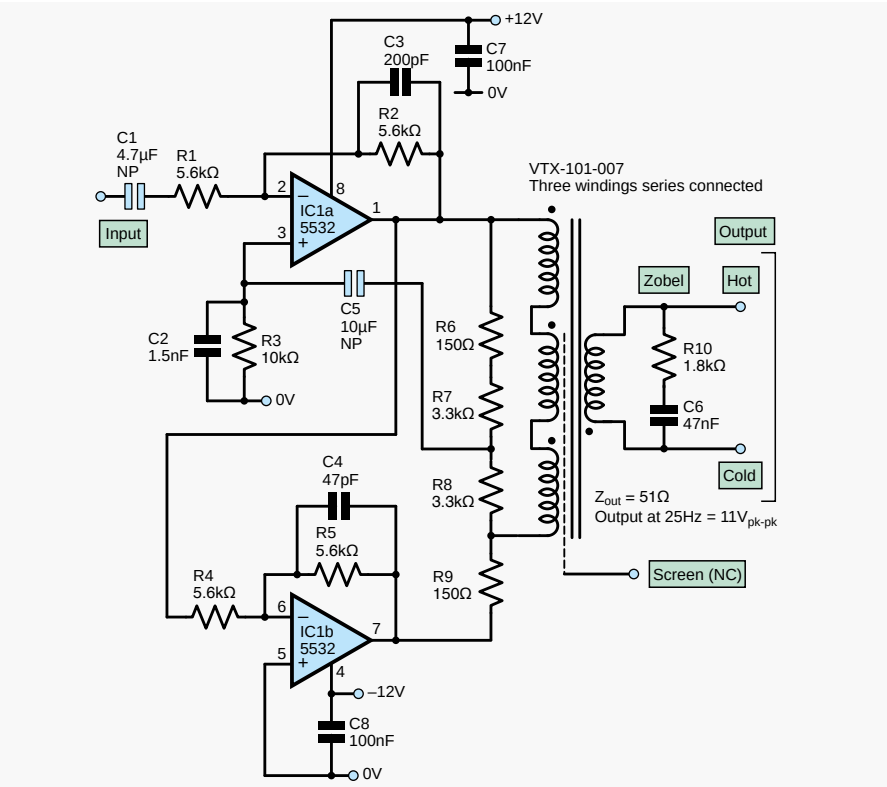


Rysunek 50. Zmontowany układ z połączonymi równolegle wzmacniaczami operacyjnymi



Rysunek 52. Sterownik mostkowy transformatora na płytce uniwersalnej. Z transformatorem 007 sygnał wyjściowy osiąga amplitudę do 11 VPP przy częstotliwości 30 Hz bez wchodzenia w nasycenie

eprasa.pl 39e0ebb5e6



Rysunek 51. Stopień sterujący transformatora w układzie mostkowym (BTL). Pozwala uniknąć przepływu prądu zniekształceń do masy sygnałowej

harmoniczną, uzupełniając drugą harmoniczną wprowadzaną przez stopień wzmacniający. Płytkę tego wzmacniacza pokazano na **rysunku 54**, a zbudowany przeze mnie przedwzmacniacz mikrofonowy z układami Neve widać na **rysunku 55**.

Korektor częstotliwości średnich

Jest to prosty układ (**rysunek 56**), opracowany przeze mnie z myślą o syntezatorze, który brzmiał zbyt ostro, a ponadto wytwarzał tętnienia 50 Hz pochodzące z zasilania. Układ wykorzystuje dwa jednakowe uzwojenia wtórne transformatora T/T3. Zapewnia izolację galwaniczną oraz symetryzację wyjścia syntezatora (gniazdo XLR). Obwód pierwotny, luźno sprzężony magnetycznie z obwodem wtórnym, jest strojony kondensatorem. Z obwodu magnetycznego jest usuwana część energii w zakresie tonów średnich, co pozbawia dźwięk szorstkości. Przekładnia transformatora jest podwyższająca, dzięki czemu można było zastosować kondensator o mniejszej pojemności.

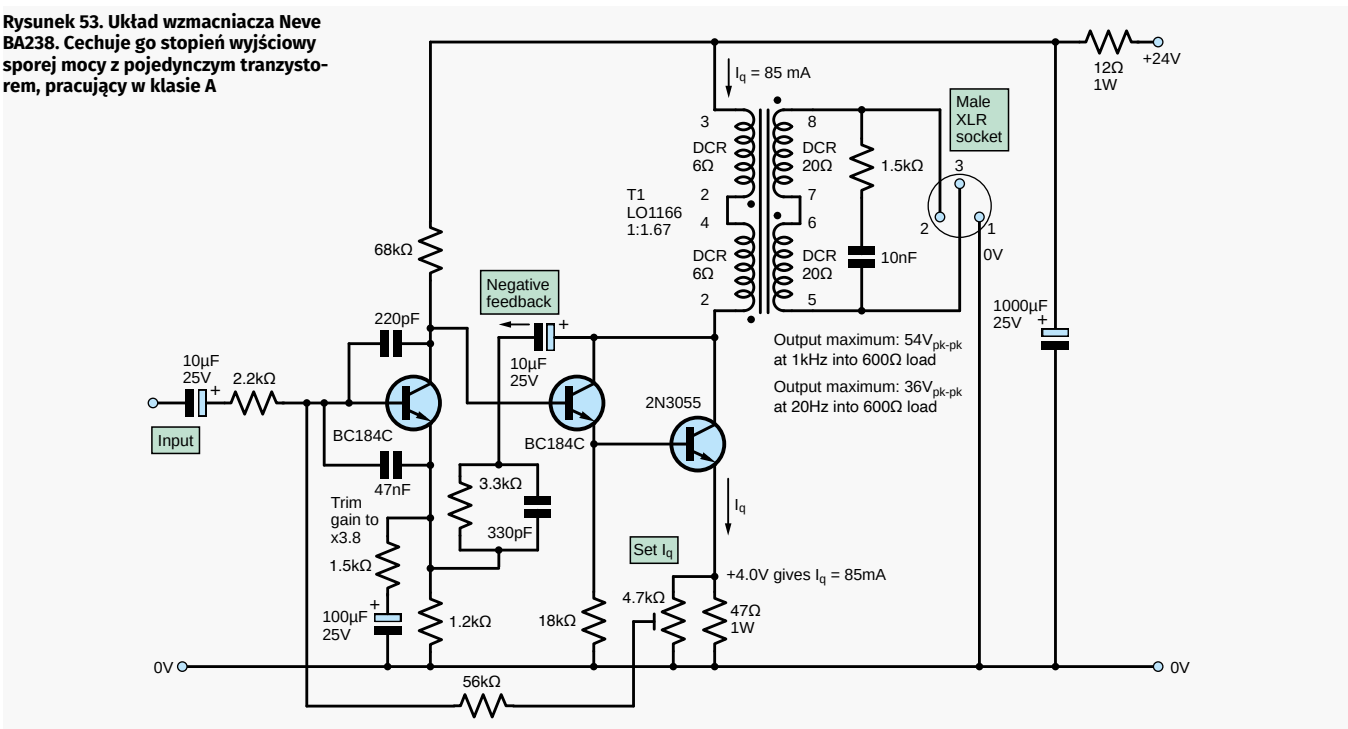
Podbijacz basów

Transformator z wyjściem wzmacniacza najlepiej jest zwykle sprzęgać bezpośrednio. Czasami można jednak dać sprzężenie kondensatorowe, jak widać na schemacie z **rysunku 57**, co pozwala uzyskać efekt podbicia basów. Nie jest to prawdziwe wzmocnienie basów. Układ stanowi niedotłumiony filtr górnoprzepustowy (**rysunek 58**). Poniżej 1 kHz rosną zniekształcenia (**rysunek 59**). To wszystko daje złudzenie większej ilości basów. Używam go do mikrofonu w nadajniku, aby poprzez podbicie sygnału poniżej 70 Hz nadać mojemu głosowi mocny charakter. Jednak wciąż mam metr siedemdziesiąt osiem! Ludzie nie dają się nabrać!

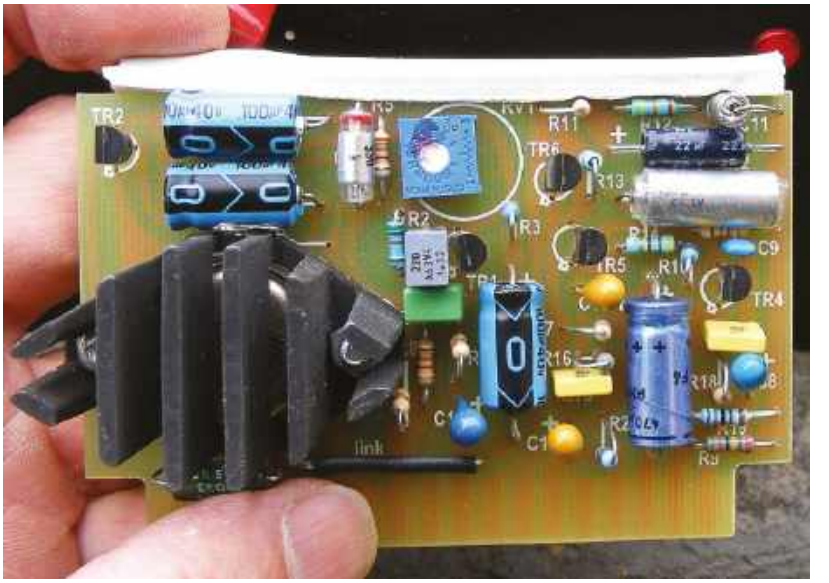
Dźwięk za małe pieniądze

W naszych niełatwych czasach zdarza się, że wystarczy prosty układ, który może być zmontowany na płytce uniwersalnej jak długo jest prąd w gniazdku, a lutownica grzeje.

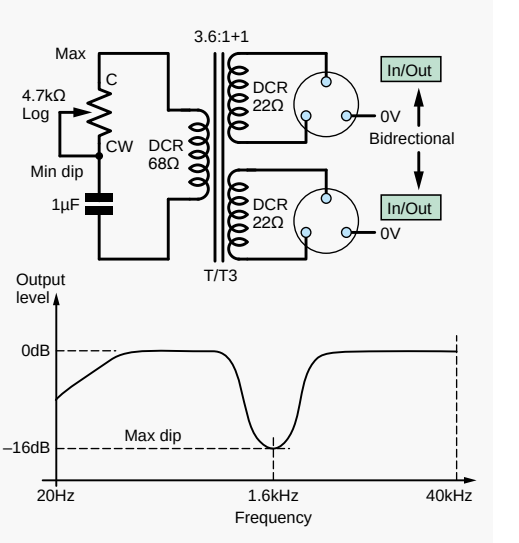
Rysunek 53. Układ wzmacniacza Neve BA238. Cechuje go stopień wyjściowy sporej mocy z pojedynczym tranzystorem, pracujący w klasie A



eprasa.pl 39e0ebb5e6



Rysunek 54. Płytka wzmacniacza Neve BA238. Zwróćcie uwagę na tranzystor sterujący w obudowie TO3. „Nadmierna inżynieria"; układ odporny na nalot bombowy – ale brzmiący znakomicie

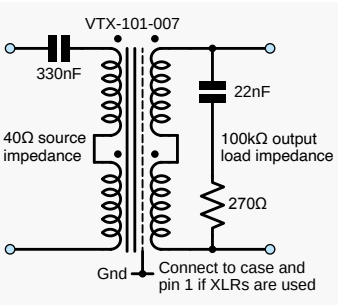


Rysunek 56. Układ korekcji „środka". Zapewnia zarówno charakterystykę przenoszenia typu „łódeczka" jak i izolację galwaniczną

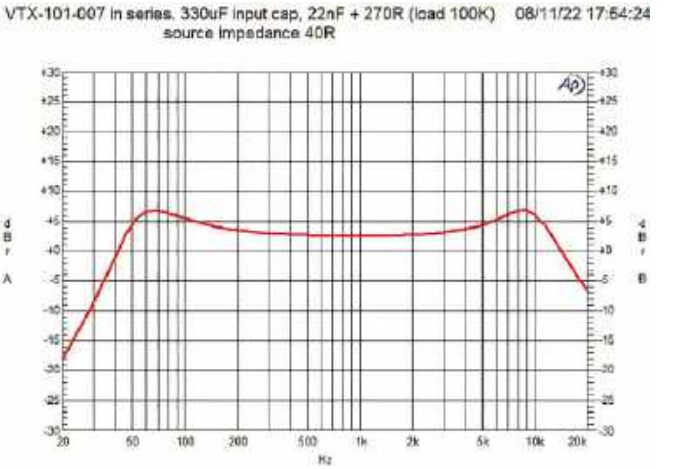
Rysunek 55. Kompletny przedwzmacniacz mikrofonowy „Neve", zbudowany dla Eda Lewisa ze studia Giant Wafer. Zwróćmy uwagę na rządek czterech transformatorów LO1166

Rysunek 60 przedstawia najprostszy wzmacniacz klasy A. Takie wzmacniacze budowałem w dzieciństwie. Przez transformator wyjściowy płynie prąd stały, więc rdzeń musi być z przerwami lub blachami łączonymi na styk. Idealnie pasuje tu Repanco T/T4 pokazany na **rysunku 61**. Pamiętam, jak nagabywałem mamę, by kupiła mi tą żółtą kostkę w miejscowym sklepie radiowotelewizyjnym. Później okazało się, że cena u nich przekraczała cenę w RS Components o 100%.

Innym, typowym dla tamtych czasów zastosowaniem transformatora jest mały generator tonu testowego, oparty o wszechobecny LT700 (**rysunek 62**). Transformator wyjściowy spełnia tutaj

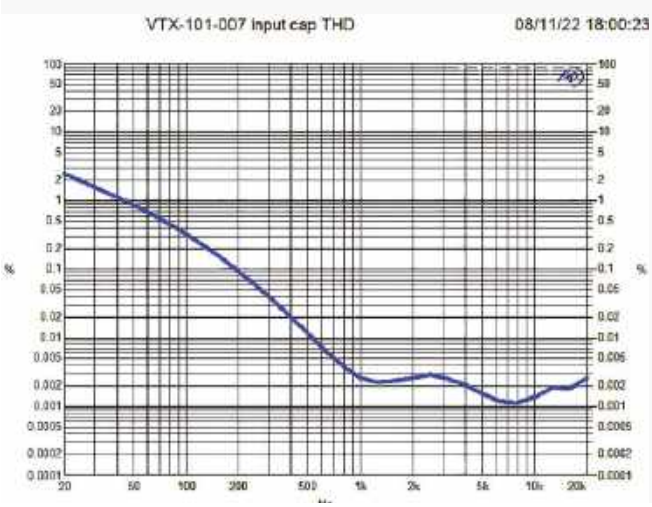


Rysunek 57. Układ z transformatorem zapewniający izolację galwaniczną, podbicie basów i lekkie uwypuklenie „góry"

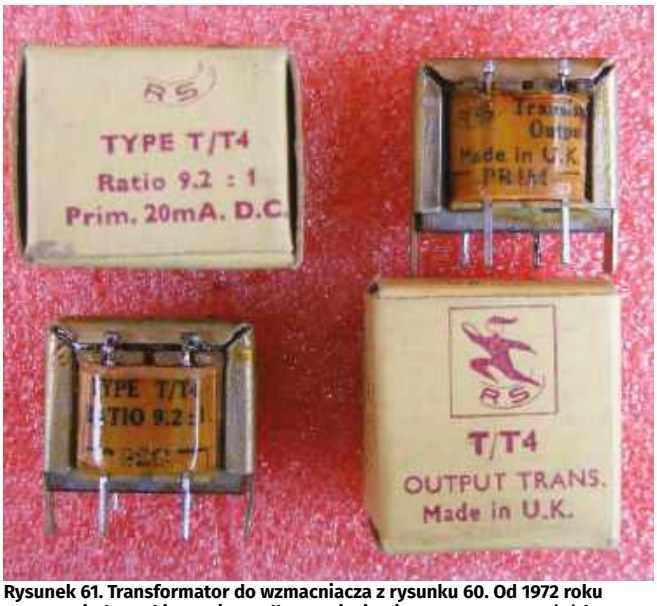


Rysunek 58. Charakterystyka przenoszenia układu z rysunku 57. Nazwa do ustalenia. Ja na ten typ korekcji mówię „kocie uszy"

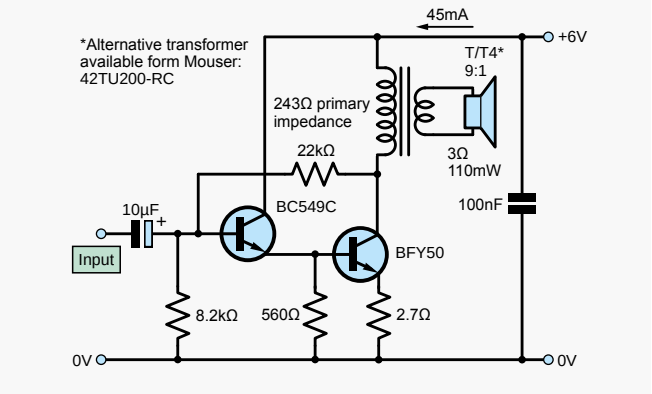
eprasa.pl 39e0ebb5e6



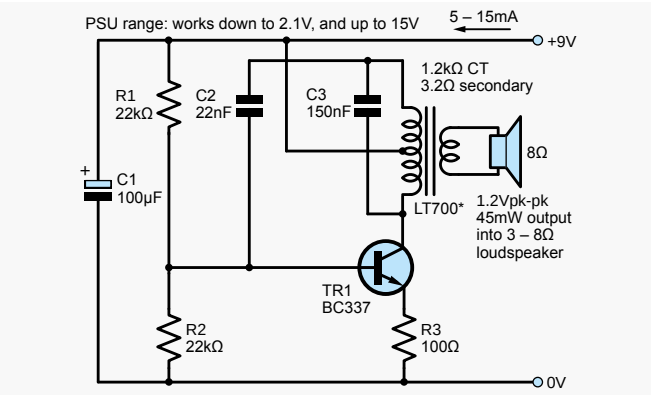
Rysunek 59. Wysterowywanie transformatora ze źródła o dużej impedancji zwiększa zniekształcenia. Sterowanie go przez kondensator 330 nF (jak na rysunku 57) daje silny wzrost zniekształceń przy malejących częstotliwościach. Transformatory i tak wykazują znaczne zniekształcenia dla basów, a ten układ jeszcze pogłębia ten efekt. Poziom sygnału wejściowego 0 dB, rezystancja obciążenia 100 kΩ, rezystancja źródła 40 Ω



Rysunek 61. Transformator do wzmacniacza z rysunku 60. Od 1972 roku trzymam jeden taki w moim pudle z rupieciami – przepraszam, wśród „zasobów badawczo-rozwojowych"



Rysunek 60. Prosty i tani układ wzmacniacza klasy A. Pod koniec lat 60. szeroko rozpowszechniany przez czasopisma w rodzaju Practical Wireless. W kwietniu 1969 roku na łamach Practical Electronics opublikowano wersję tego układu z tranzystorami germanowymi. Dawał on tylko 50 mW mocy wyjściowej!



Rysunek 62. Prosty układ piszczący – generator testowy o częstotliwości 1 kHz z transformatorem LT700

podwójną rolę, służąc również jako cewka obwodu rezonansowego w oscylatorze Hartleya.

I na razie to tyle o transformatorach elektroakustycznych! Mam nadzieję, iż zgodzicie się, że są to elementy o istotnym znaczeniu, choć często się o nich zapomina. Nieuchronnie do nich wrócimy, ale dopiero za kilka miesięcy! ■

Jake Rothman

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

REKLAMA

PRENUMERATA EdW+

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

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

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

eprasa.pl 39e0ebb5e6

Ekscytacje Maxa

Migające diody LED i śliniący się inżynierowie (24)

Co u Was słychać? Chcecie usłyszeć dowcip? Jakimś dziwnym zrządzeniem losu dziś rano w drodze do pracy usłyszałem w radiu coś śmiesznego. Młody chłopak dzwoni do mamy i mówi: „Pamiętasz, jak mój nauczyciel mówił, że nigdy nie będę dobry z poezji, bo mam dysleksję? A ja właśnie zbudowałem dwa świeczniki i wazon. I wyglądają świetnie!" Tylko się ze mnie nie nabijajcie. Zanim dzień się skończy, sami będziecie to opowiadać innym.

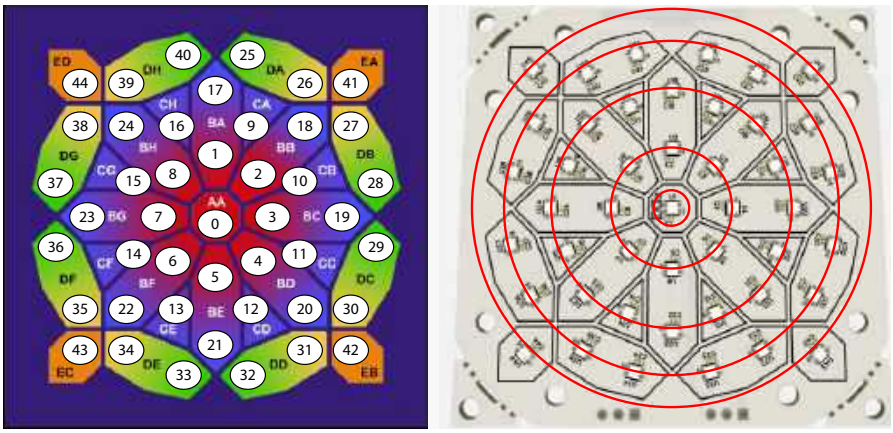
Wow! Bezprzewodowe diody LED!

Kiedy myślisz, że widziałeś już wszystko, wtedy zwykle pojawia się coś nowego i zupełnie Cię zaskakuje. Na przykład ostatnio mój znajomy zapoznał mnie z kanałem na YouTube kogoś występującego pod pseudonimem Atomic14. Pseudonim jest całkiem sprytny, ponieważ 14 to liczba atomowa krzemu. Kiedy wędrowałem po tym kanale, jak to mam w zwyczaju, zobaczyłem film pokazujący bezprzewodowe diody LED: https://bit.ly/3y5HUlX. Trzeba przyznać, że te świecidełka, które można kupić na AliExpressie (https://bit.ly/3IyqpiN), wyglądają dość elegancko (**rysunek 1**). Z łatwością wyobrażam sobie ich wykorzystanie do tworzenia różnych gadżetów, nadających się do zabawiania małych dzieci. Dużo zabawy będą miały również (a może zwłaszcza) starsze dzieci – takie jak ja.

Jestem człowiekiem SMADów!

W poprzednim artykule (Practical Electronics, styczeń 2022 oraz EdW 8/2025) poruszyliśmy szereg tematów, w tym: transformacje toroidalne, lutownice gazowe, dyskotekowe efekty świetlne z lat 70., joysticki 4-osiowe (których będziemy używać do sterowania naszymi głowami robotów napędzanymi serwomechanizmami), a także kilka interesujących rozważań dotyczących równoległego łączenia potencjometrów. Wyobraźcie sobie moje zaskoczenie, gdy okazało się, że większość e-maili, które otrzymałem w związku z tym artykułem, zawierała pytanie: „no a co ze SMAD-ami?".

Rysunek 1. Bezprzewodowe diody LED. Niemal wierzę, że wynaleziono je specjalnie dla mnie...



Rysunek 2. Po lewej: mapa segmentów SMAD-a. Po prawej: płytka z zaznaczonymi pierścieniami

Otrzymałem nawet e-maile od kogoś z Rosji, kto wykorzystał ten projekt do zbudowania gigantycznego SMAD-a o powierzchni około 500 mm², składającego się z dyskretnych trójkolorowych diod LED WS2812. Ten Rosjanin zbudował to razem z córką i oboje ciągle domagają się więcej programów przykładowych.

O matko! To nie jest tak, że zapomniałem o tych wspaniałych urządzeniach. Po prostu żongluję zbyt wieloma piłeczkami, choć nie potrafię żonglować. Właściwie nie jest to do końca prawda. Potrafię żonglować dziesięcioma porcelanowymi talerzami. Co prawda tylko przez bardzo krótki czas – potrzebny na to, by talerze uniosły się w górę i wróciły na dół... No ale chyba nieźle jak na początek...

W poprzednich artykułach (Practical Electronics, październik i listopad 2021 r. oraz EdW 5/2025 i 6/2025) omawialiśmy różne proste efekty typu wiatrak albo odliczanie czasu do wizyty kosmitów. Zaprezentowaliśmy te efekty na dwóch pseudo-głowach robotów, z których każda jest wyposażona w dwa SMAD-y spełniające rolę oczu. SMADy w jednej z tych głów są wyposażone w powłoki 29-segmentowe, natomiast druga głowa ma powłoki 45-segmentowe. Dwa artykuły temu (Practical Electronics, grudzień 2021 r. oraz EdW 7/2025) głowy rozmawiały ze sobą alfabetem Morse'a. Mam nawet wideo z tego wydarzenia (https://bit.ly/3oBwemz). Teraz nadszedł czas na szczegóły.

Jako punkt wyjścia możemy uznać, że diody LED na SMADach tworzą pięć koncentrycznych okręgów czy też pierścieni (**rysunek 2**).

Czy pamiętacie, jak „wzory" w efektach wiatraka i odliczania czasu zdefiniowaliśmy w dwuwymiarowej tablicy o nazwie EffectMap[][]? No więc tej samej techniki użyjemy tutaj (**rysunek 3**). Pierwszy wymiar określa liczbę wierszy w tablicy. Odpowiada to liczbie „wzorów" w naszym efekcie, w tym przypadku ilości pierścieni, więc będzie ich pięć.

eprasa.pl 39e0ebb5e6

Drugi wymiar określa zapalanie się diod LED w każdym pierścieniu. Pierścień 0 w środku SMADa utworzony jest z tylko jednego LEDa (oznaczonego na rysunku 2 jako 0). Pierścień 1 składa się z ośmiu diod LED (1 do 8 na rysunku 2). Pierścienie 2 i 3 zawierają po 16 diod. Pierścień 4 zawiera tylko cztery LEDy. A więc maksymalna liczba diod LED w każdym z pierścieni wynosi 16. Powód, dla którego ustawiliśmy wymiar w tablicy jako 16+1=17 jest taki, że pierwszego elementu w każdym wierszu używamy do określenia liczby diod LED w danym pierścieniu. Poza tym wszelkie wartości „0" są tylko „wypełniaczami" (oczywiście oprócz skrajnego lewego „0" związanego z pierścieniem 0).

Mój pierwszy test polegał po prostu na zapalaniu pierścieni na biało w sekwencji zaczynającej się od pierścienia 0 i promieniującej w stronę pierścienia 4. Pełny szkic (program) można pobrać ze strony Practical Electronics z lutego 2022 r.: https://bit.ly/3oouhbl (plik CB-Feb22-01.txt).

```
#define  NUM_PATTERNS_IN_EFFECT  5
#define  MAX_LEDS_IN_EFFECT     16
const uint8_t EffectMap[NUM_PATTERNS_IN_EFFECT][MAX_LEDS_IN_EFFECT + 1] =
{
  { 1,  0,  0,  0,  0,  0,  0,  0,  0,  0,  0,  0,  0,  0,  0,  0,  0}, // Ring 0
  { 8,  1,  2,  3,  4,  5,  6,  7,  8,  0,  0,  0,  0,  0,  0,  0,  0}, // Ring 1
  {16,  9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24}, // Ring 2
  {16, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40}, // Ring 3
  { 4, 41, 42, 43, 44,  0,  0,  0,  0,  0,  0,  0,  0,  0,  0,  0,  0}  // Ring 4
};
```

Rysunek 3. Tablica definiująca które LEDy pojawiają się w których pierścieniach

Jestem taki nieprzewidywalny

W kolejnym eksperymencie postanowiłem zebrać moje LEDy w podobnie działające grupy. Jest takich grup siedem, ponumerowanych od 0 do 6. Grupa 0 odpowiada pierścieniowi 0 z naszego poprzedniego przykładu i dlatego zawiera tylko jedną diodę LED. Podobnie grupa 1 odpowiada pierścieniowi 1 z przykładu, więc zawiera 8 najbardziej wewnętrznych LEDów z ośmiu szprych promieniujących.

Co do rysunku 2 – podzielimy go na dwie grupy. Grupa 2 zawiera osiem LEDów w ośmiu małych segmentach trójkątnych, a grupa 3 zawiera osiem LEDów najbardziej zewnętrznych w ośmiu szprychach promieniujących. Podobnie podzielimy na dwie grupy. **Rysunek 3**: grupa 4 zawiera osiem LEDów „przeciwnych do ruchu wskazówek zegara" w ośmiu zewnętrznych segmentach pierścienia, natomiast grupa 5 zawiera osiem LEDów „zgodnych z ruchem wskazówek zegara" w tych segmentach. Grupa szósta – last but not least – zawiera cztery LEDy odpowiadające w naszym poprzednim programie pierścieniowi 4 (**rysunek 4**).

Zamierzamy wybierać losowo grupę i zapalać wszystkie LEDy w tej grupie losowo wybranym kolorem – i kontynuować to w kółko. Możecie zapoznać się z tym programem: plik CB-Feb22-02.txt.

W trzecim eksperymencie, zamiast zmieniać kolor tylko jednej grupy na raz, postanowiłem zmieniać kolory wszystkich grup jednocześnie (plik CB-Feb22-03.txt). Należy zauważyć, że do tej pory wyświetlaliśmy te same wzory kolorów na wszystkich SMADach. Bardzo interesujące byłoby jednak zobaczyć, jak odmiennie wyglądają kolory rozproszone przez powłoki 29-segmentowe w porównaniu z witrażowym (niektórzy mogą powiedzieć „kalejdoskopowym") efektem, który dają powłoki 45-segmentowe. Skoro o tym mówimy – dla ułatwienia rozważań nagrałem właśnie film pokazujący wszystkie efekty związane ze SMADami, omówione w tym artykule: https://bit.ly/3GwQb5f.

```
#define  NUM_GROUPS        7
#define  MAX_LEDS_IN_GROUP 8
const uint8_t EffectMap[NUM_GROUPS][MAX_LEDS_IN_GROUP + 1] =
{
  {  1,  0,  0,  0,  0,  0,  0,  0,  0 }, // Group 0
  {  8,  1,  2,  3,  4,  5,  6,  7,  8 }, // Group 1
  {  8,  9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 }, // Group 2
  {  8, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24 }, // Group 3
  {  8, 25, 27, 29, 31, 33, 35, 37, 39 }, // Group 4
  {  8, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 38, 40 }, // Group 5
  {  4, 41, 42, 43, 44,  0,  0,  0,  0 }  // Group 6
};
```

Rysunek 4. Tablica definiująca które LEDy pojawiają się w których grupach

Wspaniałe gammy

Koncepcję korekcji gamma wprowadziliśmy w kontekście mojej matrycy 12×12 piłeczek pingpongowych we wcześniejszym artykule Cool Beans (Practical Electronics, styczeń 2021 oraz EdW 8/2024). Jak być może pamiętacie, w procesie ewolucji wzrok człowieka dostosował się do ogromnego zakresu natężenia światła występującego w przyrodzie – od słabej poświaty Księżyca do oślepiającego blasku słonecznego – i w wyniku tego dostosowania nasz zmysł wzroku cechuje nieliniowość. Korekcja gamma polega na wyrównywaniu w diodach LED proporcji kolorów czerwonego, zielonego i niebieskiego w celu skorygowania tej nieliniowości.

Sposób, w jaki robimy to w naszych programach, to użycie tablicy odnośników korekcji gamma. Zawartość tablicy została zdefiniowana przez ludzi z Adafruit, co było miłym gestem z ich strony (**rysunek 5**). Możemy użyć tej tablicy do przemapowywania wartości liniowych, których chcemy używać, na ich odpowiedniki – po korekcji gamma – zapewniające kolory, jakie chcemy widzieć.

Osobiście uważam, że moje oryginalne wartości stopnia korekcji gamma były całkiem udane. Postanowiłem jednak wartości te poddać ostatniemu eksperymentowi ze SMADami. W tym przypadku w każdej głowie robota wyświetlałem kolory na jednym SMADzie bez korekcji gamma, a na drugim z korekcją.

Jedna z kwestii, która dała mi do myślenia, jest taka, że w naszych oryginalnych testach

```
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 5. Tablica korekcji gamma

eprasa.pl 39e0ebb5e6

zaczęliśmy od załączania diod LED na pełną jasność, kiedy miały one reprezentować wybrany kolor. W eksperymentach ze SMADami używam jednak funkcji ModifyBrightness(). Powoduje ona obniżenie jasności LEDów, tak aby podczas nagrywania filmów nie „zatkać" matrycy światłoczułej w mojej kamerze. To skłoniło mnie do zastanowienia się... czy powinniśmy najpierw modyfikować jasność, a następnie wykonywać korekcję gamma (efekt takiego działania zobaczycie w pliku CB-Feb22-04.txt), czy też powinniśmy robić te rzeczy w odwrotnej kolejności. W sumie nie ma to jednak znaczenia, ponieważ w obu przypadkach wyniki wyglądały okropnie. Jednym z naszych problemów jest to, że pracujemy z 8-bitowymi wartościami kolorów, co jest rozdzielczością zbyt niską w stosunku do tego, co próbujemy robić. Ponadto stosujemy podejście zbyt uproszczone. Bo w zasadzie powinniśmy dla każdego koloru stosować niestandardowe funkcje korekcji gamma, oparte o specyficzne charakterystyki użytych diod LED. Jestem pewien, że gdybyśmy byli dostatecznie zmotywowani, to moglibyśmy zrobić korekcję lepiej. Ja jednak nie byłem wystarczająco zmotywowany. Postanowiłem doliczyć te zagadnienia do zdobytego doświadczenia, po czym dalej kroczyć przez życie.

Znakomite przenikanie

Cofnijmy się jeszcze raz w przeszłość do naszych wczesnych eksperymentów z tablicą piłeczek pingpongowych 12×12. Pamiętacie być może, jak wprowadziliśmy kilka dość fajnych funkcji, które pozwoliły nam przechodzić z jednego koloru do drugiego (Practical Electronics, październik 2020 r. oraz EdW 5/2024).

Kiedy próbowałem to ogarnąć po raz pierwszy, musiałem trochę pomyśleć, żeby zdecydować, jak wykonywać przenikanie w określonej liczbie kroków. Pamiętajmy, że w każdym kroku musimy najpierw podzielić kolor 24-bitowy na trzy składowe 8-bitowe koloru czerwonego, zielonego i niebieskiego. Potem obliczamy nową wartość każdej składowej w oparciu o jej wartość początkową i końcową, całkowitą liczbę kroków oraz numer kroku bieżącego. Na koniec składamy trzy 8-bitowe składowe z powrotem w kolor 24-bitowy. Uff!

Na szczęście możemy tutaj wykorzystać ulepszone wersje naszych wcześniej utworzonych funkcji. W naszym piątym i ostatnim eksperymencie w tym artykule usunąłem moją okropną korekcję gamma i wprowadziłem kilka wspaniałych efektów przenikania (plik CB-Feb22-05.txt). Jak można zobaczyć

Rysunek 6. Telewizor z kineskopem, wyświetlający „statyczny" szum biały

na filmie, zaczynamy od utworzenia palety losowo wybranych kolorów, a następnie przypisujemy te kolory do różnych grup i wyświetlamy te grupy. Śledzimy oryginalną paletę, tworzymy paletę nową, przypisujemy te kolory do różnych grup, a następnie przechodzimy od starych kolorów do nowych. Rzecz jasna robimy to wszystko w kółko.

Jeśli obejrzycie film wspomniany wcześniej, to zapewne zaciekawi Was, jak odmiennie wyglądają kolory, gdy są prezentowane na powłokach 29-segmentowych w porównaniu z powłokami 45-segmentowymi.

Dużo szumu

Większość ludzi na dźwięk słowa „szum" myśli odruchowo o kakofonii dźwiękowej. Szum ma jednak wiele form. W latach sześćdziesiątych, kiedy byłem jeszcze młodym chłopakiem, mieliśmy telewizor na lampach elektronowych z kineskopem. W nocy, kiedy stacje telewizyjne przestawały nadawać, na ekranie widać było losowe, ciągle zmieniające się wzory migoczących pikseli jak płatki śniegu na czarnym tle (**rysunek 6**). Obraz ten nazywano „statycznym" – nieco paradoksalnie, biorąc pod uwagę, że zjawisko to było całkiem dynamiczne. Tej wizualnej reprezentacji szumu towarzyszył szum dźwiękowy.

Oba te przejawy – widzialny i słyszalny – reprezentują zjawisko znane jako „biały szum". Nazwa ta bierze się stąd, że zawiera on równomierną mieszankę wszystkich częstotliwości (mówiąc poprawniej – w każdym wycinku pasma o określonej szerokości, niezależnie, gdzie leży jego częstotliwość środkowa, zawiera się taka sama moc). Biały szum jest zjawiskiem analogicznym do światła białego, które jest mieszaniną wszystkich widzialnych długości fal światła.

W elektroakustyce, elektronice, fizyce i wielu innych dziedzinach używamy w stosunku do szumu terminów „biały", „różowy", „brązowy" (Browna), „niebieski", „fioletowy", „szary", a nawet „czarny". Terminy te pochodzą od różnych rozkładów widma mocy tych sygnałów. Przykładem białego szumu jest odgłos padającego deszczu, natomiast ilustracją szumu różowego może być dźwięk „ciuch, ciuch" lokomotywy parowej.

Można pomyśleć, że szum jest zjawiskiem niekorzystnym. Czasami jednak staje się przydatny.

Przykładem może być przetwarzanie analogowo-cyfrowe. Sygnał ciągły jest zamieniany na odpowiadającą mu reprezentację w dziedzinie cyfrowej. Zostaje przy tym ograniczany do pewnej liczby stanów dyskretnych (kwantów). Proces ten wywołuje tak zwany błąd kwantyzacji.

Jeżeli do sygnału oryginalnego celowo dodamy bardzo niewielką ilość szumu, to błąd kwantyzacji stanie się nieregularny, przypadkowy. Przypis redaktora: taki losowy błąd jest z reguły mniej zauważalny np. słuchem niż błąd regularny. Technika taka nosi nazwę dither lub dithering. W przypadku grafiki komputerowej dithering może dać złudzenie większej głębi barw w systemach o ograniczonej rozdzielczości kolorów. Dithering minimalizuje również artefakty wizualne, jak np. banding, czyli nienaturalnie ostre przejścia między kolorami.

Innym przykładem, być może bliższym Wam, Czytelnicy, jest poprawa rozdzielczości przetwarzania analogowo-cyfrowego. Załóżmy, że mamy przetwornik A/C 8-bitowy. Na sygnał analogowy doprowadzany do przetwornika nakładamy sygnał szumowy, którego wartość międzyszczytowa jest taka jak najmniej znaczący bit przetwornika (1 LSB). Jeśli teraz sygnał ten spróbkujemy z częstotliwością próbkowania czterokrotnie większą od oryginalnej, a następnie do wyników przetwarzania A/C zastosujemy filtrowanie dolnoprzepustowe (w najprostszym przypadku – uśrednianie każdej grupy czterech próbek), to skutek będzie taki, jakbyśmy mieli przetwornik 9-bitowy. Szczegółowe wyjaśnienie tego efektu byłoby zbyt skomplikowane, by je tu przytaczać. Musicie uwierzyć mi na słowo.

Całkiem interesująca jest geneza ditheringu. W pierwszych dniach II wojny światowej do obliczeń nawigacyjnych i wyliczania trajektorii bomb na pokładzie bombowców używano kalkulatorów mechanicznych. Były to skrzynki wypełnione setkami wałków, kół zębatych i trybików. Ciekawe było to, że kalkulatory te wykonywały obliczenia dokładniej, gdy samolot znajdował się w powietrzu i miał włączone silniki niż wtedy, gdy stał on na ziemi, a silniki były wyłączone. W końcu inżynierowie zdali sobie sprawę, że wibracje samolotu zmniejszały efekty powodowane

eprasa.pl 39e0ebb5e6

przez tarcie spoczynkowe. Elementy poddawane drganiom poruszały się płynnie, a nie małymi skokami-szarpnięciami. Aby efekt ten zrealizować w kalkulatorach mechanicznych używanych na ziemi, zaczęto wbudowywać do nich małe silniki wibracyjne. Drgania tych silników nazwano „dither" od używanego w średniowieczu czasownika „didderen" oznaczającego „drżeć".

Kochajcie lampki lawowe

Tak się zastanawiam się nad tym szumem, bo pojawia się on w odpowiedzi na pytanie, które od dawna mnie zastanawiało. Jestem pewien, że każdy z Was przynajmniej raz w życiu widział lampę lawową. To cudeńko zostało wynalezione przez brytyjskiego przedsiębiorcę Edwarda Cravena Walkera w 1963 roku. Lampy lawowe były przez długi czas uważane za niesamowicie fajne; wręcz odlotowe, jak ośmielę się określić.

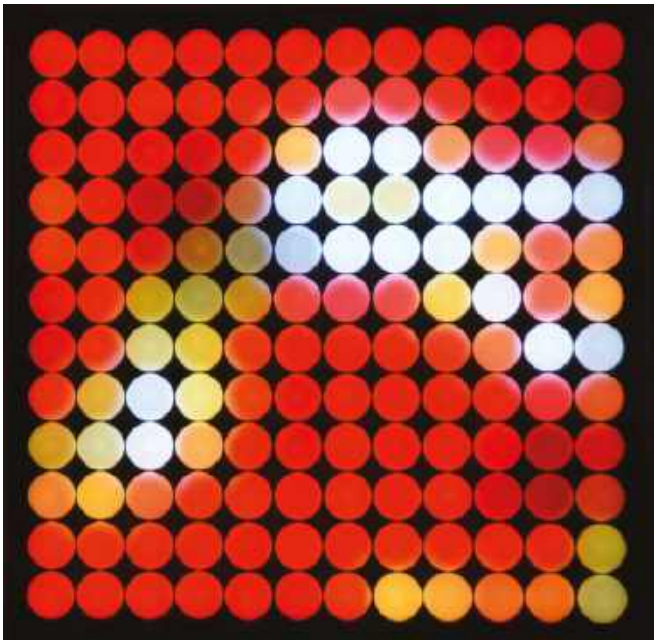
Lampa lawowa składa się ze szklanego naczynia zawierającego na dnie kolorową mieszankę woskową. Pozostała część naczynia wypełniona jest przezroczystym lub półprzezroczystym płynem. Pod lampą umieszczona jest żarówka. Oświetla ona lampę, a oprócz tego wytwarza ciepło, które powoduje, że kulki mieszanki woskowej zmniejszają swoją gęstość, unoszą się i w losowy sposób falują w przezroczystej cieczy.

Jak wspomniałem w jednym z poprzednich artykułów, przy kilku okazjach widziałem na tablicach trójkolorowych LEDów efekt przypominający koła olejowe używane w dyskotekach w latach 70. A falowanie woskowych kulek w lampie lawowej jest zbliżone do efektu kół olejowych.

Świetny sposób sterowania trójkolorowymi LEDami typu NeoPixele, jakich użyłem w mojej tablicy 12×12 piłeczek pingpongowych, można znaleźć w bibliotece FastLED (https://fastled.io/). Jak się okazuje, w bibliotece tej znajdują się przykładowe programy o nazwach „Noise" i „NoisePlusPalette". Programy te wykorzystują specjalne funkcje oparte na metodzie wytwarzania szumu n-wymiarowego zwanej „szumem Simplex", stworzonej przez Kena Perlina w 2001 roku.

W metodzie „szumu Simplex" świetne jest to, że wytwarza ona wartości, które są ogólnie pseudolosowe, ale jednocześnie są na krótszą metę powiązane ze sobą. Obrazowym sposobem wyjaśnienia tego jest analogia z obserwacją płomienia gigantycznej lampy naftowej. Gdybyśmy wykonali serię zdjęć płomienia w dziesięciominutowych odstępach, wydawałoby się nam, że między tymi ujęciami nie ma żadnego związku. Natomiast gdybyśmy robili zdjęcie co sekundę, to widzielibyśmy, że każdy obraz jest jakoś powiązany z poprzednim i z następnym. Zjawisko płomienia jest więc jednocześnie i niezależne, i ograniczone.

Wracając do mojej tablicy piłeczek pingpongowych – zmodyfikowałem istniejący program „NoisePlusPalette", aby nimi sterował (**rysunek 7**). W programie, oprócz wprowadzenia ograniczenia do korzystania tylko z palety „lava", główną rzeczą, którą zmieniłem, była funkcja XY(), która jako dane przyjmuje współrzędne X i Y i zwraca numer NeoPiksela w łańcuchu. Moje NeoPiksele są połączone łańcuchowo w serpentynę.



Rysunek 7. Program „NoisePlusPalette" z biblioteki FastLED, uruchomiony na mojej matrycy 12×12 piłeczek pingpongowych. Obejrzyjcie wideo!

Tu nadmienię, że pierwotnie próbowałem uruchomić ten program na 32-bitowym mikrokontrolerze Seedunio XIAO, który przedstawiłem w poprzednim artykule (Practical Electronics, lipiec 2020; EdW 2/2024), ale... nic się nie działo. Pomyślałem, że coś zepsułem podczas wykonywania poprawek, i już byłem gotowy wyrwać sobie resztki włosów z głowy, kiedy pomyślałem, żeby spytać mojego kumpla, Steve'a Manleya. A Steve zrobił to, co ja powinienem był zrobić, czyli szybko poszukał w Google'u. Okazało się, że istnieje znany problem z XIAO i biblioteką FastLED. Nieco później Steve wysłał do mnie e-mail z informacją, że odkrył obejście tego problemu (https://bit.ly/3oJuvNn)... ale było już za późno. Bo w tym czasie zdążyłem już wymienić XIAO na Arduino Uno, a tam wszystko działało jak należy.

Jestem bardzo zadowolony z rezultatu. Można go zobaczyć na filmie opublikowanym przeze mnie na kanale YouTube Cool Beans (https://bit.ly/3ysgEhP). Zapraszam do zapoznania się ze zmodyfikowaną wersją programu (plik CB-Feb22-06.txt). Tylko pamiętajcie, że nie jestem autorem tego kodu, a jedynie go „dostroiłem".

Nie traćcie głowy

„Cliffhanger" to określenie serialu przygodowego lub melodramatu w odcinkach, z których każdy kończy się w punkcie kulminacyjnym akcji, utrzymując widza nadal w napięciu. Kiedy moja mama miała około dziesięciu lat, jej starszy brat zabierał ją w soboty rano na poranki dla dzieci w miejscowym kinie. Pokaz filmów trwał około dwóch godzin i obejmował kilka pozycji, w tym krótki film sensacyjny, np. odcinek serialu Flash Gordon lub Buck Rogers (czarno-białe z późnych lat trzydziestych XX wieku). W momencie kulminacji napięcia odcinek się kończył. Moja mama mówiła, że ledwo mogła opanować swoje podekscytowanie, i tym bardziej chciała zobaczyć następny odcinek.

Chciałbym w tej serii artykułów zbudować taki rodzaj oczekiwania i napięcia. I chyba wiem, co możemy zrobić... W poprzednim artykule obiecałem pokazać postępy, jakie poczyniliśmy w zakresie animacji głów naszych robotów. Kiedy mówię „my", to mam na myśli mnie i mojego przyjaciela Steve'a Manleya. A kiedy mówię „postępy, jakie poczyniliśmy", mam na myśli postępy poczynione przez Steve'a, ponieważ szturmuje on do przodu i robi takie super rzeczy, że, gdy je zobaczycie, będziecie piszczeć z zachwytu. Niestety – będzie to musiało poczekać do następnego artykułu... No i mamy „cliffhanger"! ■

Clive „Max" Maxfield

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

eprasa.pl 39e0ebb5e6

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.

Wykład 33

Ochrona przed skutkami wyładowań atmosferycznych

Od Redakcji EdW: W ubiegłym miesiącu przyglądaliśmy się ochronie przed wyładowaniami w mikro skali (ESD), groźnych wyłącznie dla elektroniki. Teraz zajmiemy się zjawiskiem o setki tysięcy razy potężniejszym – wyładowaniami atmosferycznymi, które w ułamku sekundy potrafią zniszczyć nie tylko wrażliwą elektronikę, ale też całe instalacje elektryczne, a nawet spowodować pożary i zagrożenie życia.

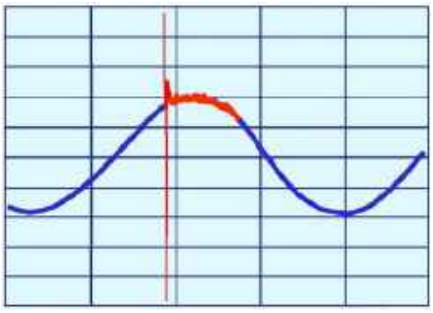
Nagłe skoki napięcia w przewodach zasilających czy kablach internetowych, spowodowane uderzeniem pioruna, mogą wyrządzić poważne szkody w urządzeniach elektronicznych. W niniejszym artykule wyjaśniamy, jak powstaje to zjawisko oraz w jaki sposób można skutecznie ograniczyć jego negatywne skutki.

Uderzenie pioruna i jego skutki Telewizory i komputery uszkodzone?

Choć nie jest to codzienny temat wiadomości, co jakiś czas w lokalnej prasie można trafić na sensacyjny artykuł o tym, że w jednej z dzielnic kilkadziesiąt telewizorów i komputerów zostało uszkodzonych w wyniku uderzenia pioruna.

Prawda czy mit?

Tak, to możliwe. Gdy piorun uderzy w infrastrukturę energetyczną lub bliskie jej okolice, w instalacji elektrycznej budynków mogą pojawić się bardzo silne, nagłe skoki napięcia. Choć takie impulsy trwają niezwykle krótko – co widać na poniższym wykresie – potrafią poważnie uszkodzić wrażliwe urządzenia elektroniczne. Ich amplituda może być na tyle wysoka, że przeskok iskry w powietrzu „zamknie" obwód na stykach otwartego wyłącznika sieciowego. W efekcie może dojść do sytuacji wręcz niewiarygodnej: komputer, który był wyłączony, po burzy przestaje działać.



Wąski impuls przepięciowy w sieci zasilającej (© 2023 Jos Verstraten)

LEMP

Zjawisko to w literaturze fachowej określa się skrótem LEMP – od angielskiego *Lightning ElectroMagnetic Pulse*, czyli „impuls elektromagnetyczny od wyładowania atmosferycznego". Pod tym pojęciem kryją się wszelkie uszkodzenia spowodowane przez piorun – zarówno bezpośrednio, jak i pośrednio.

eprasa.pl 39e0ebb5e6

Wyciągnąć wszystkie wtyczki z gniazdek?

Mimo że w prasie co jakiś czas pojawiają się ostrzeżenia, według których jedynym skutecznym sposobem ochrony przed skutkami uderzenia pioruna jest odłączenie od sieci wszystkich nieużywanych urządzeń, niewielu ludzi faktycznie to robi. Jest to kłopotliwe, a w dzisiejszych czasach wydaje się wręcz anachroniczne, by „bać się pioruna". W praktyce trzeba więc szukać innych metod ograniczenia szkód spowodowanych wyładowaniami atmosferycznymi.

Czym jest piorun?

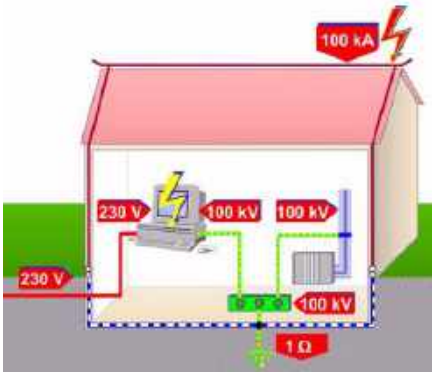
Piorun to wyładowanie elektryczne w atmosferze, które występuje wtedy, gdy między powierzchnią ziemi a chmurą burzową zgromadzi się znaczna różnica potencjałów. Proces ten jest niezwykle złożony i w tym artykule nie będziemy szczegółowo go omawiać. Warto jednak wiedzieć, jakie napięcia i prądy mu towarzyszą oraz jak długo trwa samo zjawisko. Napięcie w kanale piorunowym może osiągać od 20 do nawet 100 milionów woltów, a natężenie prądu – do 100 000 amperów. Temperatura w rdzeniu pioruna potrafi sięgnąć 30 000°C, czyli około sześciokrotnie więcej niż na powierzchni Słońca. Samo wyładowanie trwa jednak krótko – zazwyczaj w granicach 1 milisekundy.

Podwójne uderzenie pioruna w ziemię (© Wikimedia.org)

Uszkodzenia spowodowane bezpośrednim uderzeniem pioruna

Z pewnością znasz podstawową zasadę, że moc jest równa iloczynowi napięcia i prądu. Skoro więc w miejscu uderzenia pioruna pojawia się jednocześnie ogromne napięcie i gigantyczny prąd, w ułamku sekundy rozpraszana jest tam niewyobrażalna ilość energii. Jasne jest, że trudno się przed tym skutecznie zabezpieczyć – nawet w budynku wyposażonym w instalację odgromową. Ilustruje to rysunek obok. Przykład pochodzi (wraz z kolejnymi ilustracjami) w zmodyfikowanej formie z broszury firmy Stagobel Electro – flamandzkiego przedsiębiorstwa specjalizującego się w ochronie przed skutkami wyładowań atmosferycznych.

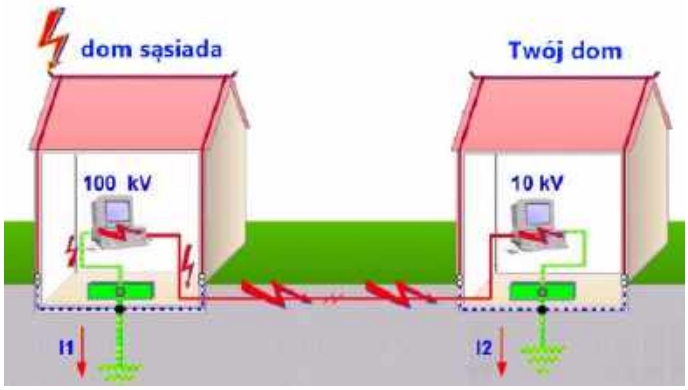
Załóżmy, że rezystancja uziemienia w instalacji elektrycznej domu wynosi 1 Ω. Jeżeli piorun uderzy w zwód instalacji odgromowej na dachu, a prąd wyładowania osiągnie wartość 100 kA, to na tej rezystancji powstanie spadek napięcia aż 100 kV! Oznacza to, że wszystkie metalowe elementy w domu, które są połączone z uziemieniem, znajdą się chwilowo pod tym właśnie napięciem. W efekcie między obudową, na przykład stacjonarnego komputera, a przewodami sieci 230 V może na moment wystąpić różnica potencjałów rzędu 100 kV. Nietrudno zgadnąć, że żadne urządzenie nie jest w stanie przetrwać takiego zdarzenia.



Skutki bezpośredniego uderzenia pioruna (© Stagobel Electro, oprac. 2023 Jos Verstraten)

Uszkodzenia spowodowane uderzeniem pioruna w pobliżu

Jak pokazuje poprzedni rysunek, może się zdarzyć, że w wyniku uderzenia pioruna w dom, ekstremalnie wysokie napięcie powstałe na uziemieniu „przeskoczy" przez iskrę na przewód fazowy i neutralny w instalacji elektrycznej. Oczywiście sieć energetyczna ma stosunkowo niską impedancję i pewną indukcyjność własną, które sprawią, że znaczna część tak krótkiego impulsu napięciowego zostanie pochłonięta. Mimo to, w rozdzielnicy w Twoim domu może pojawić się bardzo krótki impuls napięciowy o wartości sięgającej dziesiątek kilowoltów, jeśli piorun uderzy na przykład w budynek w Twoim sąsiedztwie. Pozostaje pytanie – czy Twoje urządzenia są w stanie coś takiego przetrwać?



Skutki uderzenia pioruna w pobliżu (© Stagobel Electro, 2023 Jos Verstraten)

Uszkodzenia spowodowane sprzężeniem indukcyjnym

Powszechnie wiadomo, że wokół przewodnika, którym płynie prąd przemienny, powstaje pole elektromagnetyczne. Kanał piorunowy w powietrzu przez bardzo krótki czas działa jak taki przewodnik – gwałtowne, strome wyładowanie wytwarza impuls prądowy o dużej zawartości składowych wysokoczęstotliwościowych. Stromość ta, określana mianem „stromości prądu piorunowego", może osiągać wartości od 10 do 20 kA/μs.

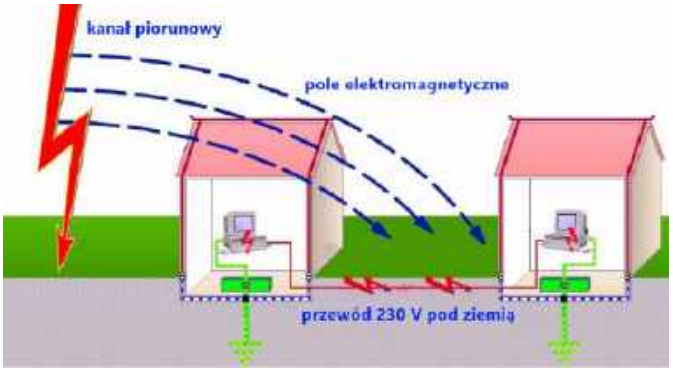
Ze względu na ogromną wartość prądu pole elektromagnetyczne wytwarzane przez piorun jest niezwykle silne. Powoduje ono indukowanie się napięcia we wszystkich znajdujących się w pobliżu obiektach przewodzących prąd elektryczny. Zjawisko to można porównać do działania transformatora. W wyniku takiego sprzężenia indukcyjnego w przewodach – zarówno w ziemi, jak i wewnątrz budynku – powstają krótkie impulsy wysokiego napięcia. Oznacza to, że problem dotyczy nie tylko kabli zasilających 230 V,

eprasa.pl 39e0ebb5e6

lecz także miedzianych przewodów internetowych i telefonicznych. Poprzez te kable przepięcia dostają się bezpośrednio do podłączonych urządzeń.

Uszkodzenia spowodowane sprzężeniem pojemnościowym

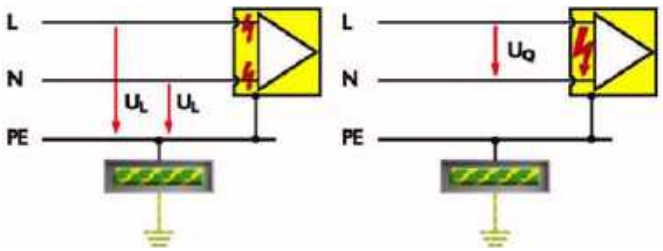
Pomiędzy jednym przewodnikiem – kanałem piorunowym – a drugim przewodnikiem, np. kablem w ziemi, znajduje się warstwa izolacyjna, czyli powietrze. Jest to dokładna definicja kondensatora. Zmiana potencjału na jednej „okładzinie" powoduje zmianę potencjału na drugiej. Ze względu na bardzo duże zmiany potencjału w kanale piorunowym trzeba liczyć się z występowaniem takiego sprzężenia pojemnościowego.



Uszkodzenia spowodowane sprzężeniem indukcyjnym (© Stagobel Electro, oprac. 2023 Jos Verstraten)

Przepięcia w trybie wspólnym i różnicowym

Sprzężenie indukcyjne i pojemnościowe może wystąpić pomiędzy przewodem fazowym i neutralnym z jednej strony, a przewodem ochronnym (uziemieniem) z drugiej. Możliwe jest jednak również powstanie przepięcia pomiędzy samym przewodem fazowym a neutralnym. W pierwszym przypadku mówimy o przepięciu w trybie wspólnym (*common mode*), w drugim – o przepięciu w trybie różnicowym (*differential mode*). Przy planowaniu środków ochrony mających zapobiegać lub ograniczać szkody spowodowane piorunem należy uwzględniać obie te formy przepięć.



Przepięcia w trybie wspólnym i różnicowym (© 2022 Phoenix Contact)

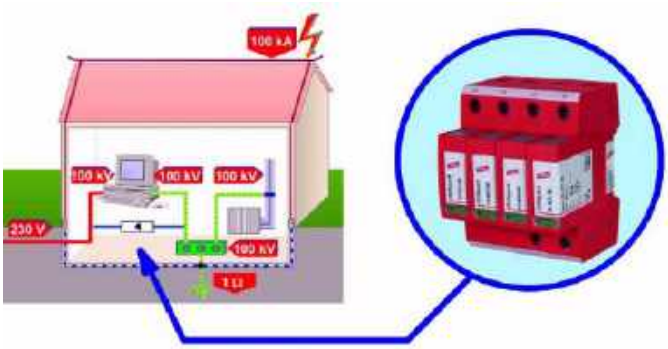
Zapobieganie uszkodzeniom spowodowanym piorunem
Połączenia wyrównawcze

Podstawową zasadą każdej ochrony odgromowej jest dążenie do tego, aby różnica potencjałów między wszystkimi metalowymi elementami przewodzącymi prąd w budynku była możliwie najmniejsza. Takie działanie określa się mianem połączeń wyrównawczych (potencjałowych). Jeśli piorun uderzy w dach i napięcie uziemienia wzrośnie do poziomu kilkunastu kilowoltów, połączenia wyrównawcze powinny sprawić, że również przewód fazowy i neutralny w instalacji znajdą się chwilowo na podobnym potencjale.

Ogranicznik przepięć – element absolutnie niezbędny

Skuteczne połączenia wyrównawcze można zrealizować, montując w rozdzielnicy ogranicznik przepięć. Urządzenie to zapobiega powstawaniu dużej różnicy potencjałów między uziemieniem w budynku a przewodem fazowym i neutralnym instalacji. W przypadku uderzenia pioruna ogranicznik na krótki moment przewodzi, powodując, że przewód fazowy i neutralny osiągają podobny wysoki potencjał jak przewód ochronny. Dzięki temu w urządzeniach nie występują groźne różnice napięć, które mogłyby spowodować niszczące przeskoki iskrowe.

Na ilustracji pokazano, jak wygląda taki ogranicznik przepięć.



Ogranicznik przepięć montowany w rozdzielnicy (© Stagobel Electro, oprac. 2023 Jos Verstraten)

Środki zdecentralizowane

Ogranicznik przepięć zamontowany w rozdzielnicy jest podstawowym warunkiem skutecznej ochrony przed skutkami wyładowań atmosferycznych. Jednak nie zawsze możliwe jest jego zastosowanie – na przykład w przypadku wynajmowanego pokoju studenckiego, gdy dostęp do głównej rozdzielnicy jest ograniczony. W takiej sytuacji można wciąż znacząco zmniejszyć ryzyko uszkodzeń, stosując środki zdecentralizowane, czyli zabezpieczenia montowane bezpośrednio przy cennych lub wrażliwych urządzeniach.

W praktyce sprowadza się to do ingerencji w tor zasilania sieciowego, którym dane urządzenie jest połączone z instalacją 230 V. W tym celu opracowano specjalne elementy ochronne, takie jak:

- iskierniki (*spark gaps*)
- ograniczniki przepięć wypełnione gazem szlachetnym,
- diody tłumiące przepięcia (*Transient Voltage Suppressor diodes*, TVS),

eprasa.pl 39e0ebb5e6

- warystory (*Voltage Dependent Resistors*, VDR),
- tyrystorowe ograniczniki przepięć (*Thyristor Surge Protection Devices*, TSPD).

Iskierniki (*spark gaps*)

Iskierniki zamknięte

Zamknięty iskiernik składa się z dwóch solidnych elektrod umieszczonych po przeciwnych stronach elementu izolacyjnego. Cała konstrukcja znajduje się w wyjątkowo wytrzymałej obudowie. Materiał i grubość izolatora decydują o napięciu zapłonu iskry. W przypadku przedstawionego na poniższym rysunku modelu TFS-923-023 firmy DEHN SE + Co KG napięcie to wynosi 4 kV. Iskiernik ten może wytrzymać prąd 100 kA przez 350 µs. Nominalne napięcie przemienne między elektrodami nie powinno przekraczać 300 V. Choć nie widać tego po wyglądzie, za ten niepozorny element trzeba zapłacić niemałą sumę – dokładnie 81,54 euro.

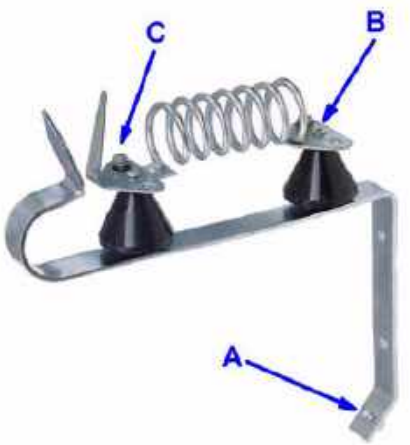
Przykład zamkniętego iskiernika (© DEHN SE + Co)

Iskierniki otwarte

Iskierniki otwarte stosowane są między innymi przez firmy Tennet i ProRail do ochrony linii wysokiego napięcia oraz trakcji kolejowej przed skutkami uderzeń pioruna. Z takimi rozwiązaniami raczej nie będziesz miał do czynienia. Istnieją jednak bardziej „przyziemne" zastosowania – na przykład ochrona ogrodzeń elektrycznych przed przepięciami od wyładowań atmosferycznych.

Na fotografii pokazano taki element marki AKO. Uchwyt montuje się do słupka, do którego przymocowany jest przewód ogrodzenia. Punkt **A** łączy się grubym przewodem miedzianym z uziomem, punkt **B** prowadzi do generatora wysokiego napięcia, a punkt **C** – do przewodu ogrodzenia. Cewka pomiędzy stykami **B** i **C** ma odpowiednią impedancję, która przeciwdziała gwałtownym zmianom napięcia, kierując impuls od wyładowania atmosferycznego do iskiernika, a nie w stronę generatora.

Elektrody iskiernika mają kształt litery „V". Taka konstrukcja zapewnia samoczynne gaszenie łuku. Wysoka temperatura w kanale wyładowania nagrzewa otaczające powietrze, które następnie unosi się pomiędzy elektrodami i przesuwa łuk w kierunku otwartej strony litery „V". Tam odległość między elektrodami jest już na tyle duża, że łuk nie może się utrzymać i gaśnie.

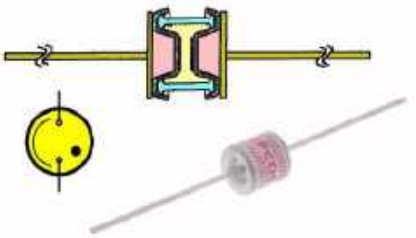


Przykład otwartego iskiernika (© AKO)

Ograniczniki przepięć wypełnione gazem szlachetnym

Tego typu elementy wcale nie są nowym wynalazkiem – stosowano je już w początkach ery radiowej do ochrony długich, poziomych anten drutowych, rozwieszanych w ogrodach lub pomiędzy budynkami, przed skutkami uderzenia pioruna.

Na rysunku przedstawiono wygląd zewnętrzny oraz symbol takiego elementu. Obie elektrody pokryte są materiałem ułatwiającym emisję elektronów. Aby zwiększyć szybkość reakcji iskiernika, wewnątrz rurki umieszcza się czasem dodatkową elektrodę zapłonową. Właściwości elektryczne gazowego ogranicznika przepięć zależą przede wszystkim od rodzaju zastosowanego gazu, jego ciśnienia oraz materiału aktywującego.



Wygląd i symbol ogranicznika przepięć wypełnionego gazem szlachetnym (© 2023 Jos Verstraten)

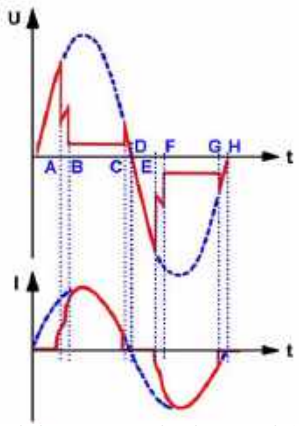
Charakterystyka ogranicznika przepięć wypełnionego gazem szlachetnym

Działanie tego elementu opiera się na właściwościach wyładowania gazowego. Na poniższym wykresie, opartym na przebiegu sinusoidalnym, przedstawiono zachowanie gazowego ogranicznika przepięć.

W górnym diagramie pokazano napięcie na jego zaciskach, a w dolnym – prąd płynący przez rurkę. Gdy napięcie wzrośnie do wartości zapłonu (punkt **A**), powstaje wyładowanie jarzeniowe, które obniża napięcie do około 70 V (punkt **B**). W tej fazie prąd wynosi od 0,1 A do 1,5 A.

Jeżeli prąd nadal rośnie, pojawia się wyładowanie łukowe, które jeszcze bardziej obniża napięcie – do około 15 V (odcinek **B–C**). Podczas spadku prądu łuk gaśnie przy wartości od 10 mA do 100 mA. Następnie, po krótkiej fazie jarzeniowej, rurka powraca do stanu spoczynkowego.

Wniosek: w momencie wystąpienia wyładowania gazowego napięcie na elementach ogranicznika spada do bardzo niskiej wartości.

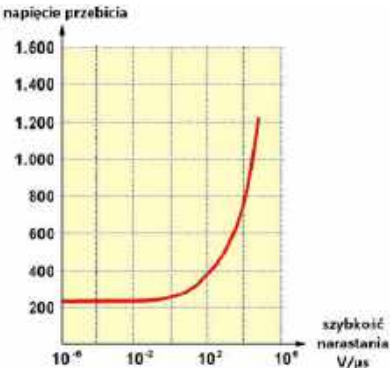


Napięcie i prąd w ograniczniku przepięć wypełnionym gazem szlachetnym (© 1987 Elektuur, oprac. 2023 Jos Verstraten)

eprasa.pl 39e0ebb5e6

Napięcie przebicia w funkcji czasu narastania impulsu

Napięcie przebicia ogranicznika przepięć wypełnionego gazem szlachetnym w dużym stopniu zależy od czasu narastania indukowanego impulsu piorunowego. W przypadku bardzo szybkich impulsów, gdy stosunek Δu/Δt ma dużą wartość, napięcie zapłonu znacząco rośnie. Wynika to z faktu, że proces jonizacji gazu wymaga pewnego czasu. Zatem przy szybko narastających impulsach napięcie zdąży osiągnąć wysoką wartość, zanim gaz ulegnie zjonizowaniu i nastąpi przebicie.



Wpływ czasu narastania na napięcie przebicia (© 2023 Jos Verstraten)

Model EC90X firmy EPCOS Inc.

EC90X to łatwo dostępny ogranicznik przepięć wypełniony gazem szlachetnym, produkowany przez firmę EPCOS Inc. Kosztuje około 1,50 euro. Najważniejsze parametry tego elementu:

- napięcie zadziałania przy narastaniu 100 V/µvs: **500 V**,
- napięcie zadziałania przy narastaniu 1 kV/µs: **600 V**,
- prąd szczytowy przez 20 µs: **10 kA**,
- prąd szczytowy przez 1 s: **5 A**,
- rezystancja izolacji przy 50 V DC: **> 1 GΩ**,
- napięcie łuku przy 1 A: **12 V**,
- napięcie jarzenia: **80 V**,
- pojemność: **1 pF**,
- masa: **1,5 g**,
- wymiary: **6 mm długości, 8 mm średnicy**.

Ważna uwaga: Rurka gaśnie dopiero wtedy, gdy napięcie spadnie poniżej napięcia wygaszenia. W przypadku napięcia przemiennego nie stanowi to problemu, jednak przy napięciu stałym wyższym od napięcia wygaszenia może to być niebezpieczne. Jeśli wewnętrzna rezystancja źródła napięcia jest na tyle duża, że przy płynącym prądzie napięcie spada poniżej progu wygaszenia – zagrożenia nie ma.

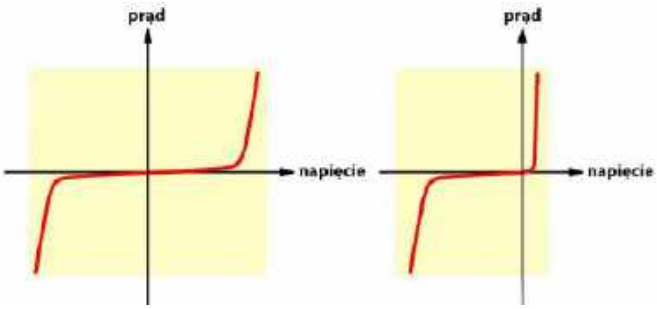
Natomiast jeśli źródło napięcia ma bardzo małą rezystancję wewnętrzną i ogranicznik przepięć nie gaśnie, pojawia się poważny problem. Wskutek mocy wydzielanej wewnątrz rurki gaz nagrzewa się, a ciśnienie może wzrosnąć do tego stopnia, że element dosłownie eksploduje! Z tego powodu absolutnie niezbędne jest stosowanie w układzie bezpiecznika.

Diody tłumiące przepięcia (*Transient Voltage Suppressor*, TVS) Podobne do diod Zenera

Dioda TVS to specjalna dioda lawinowa służąca do tłumienia impulsów przepięciowych. Jej zaletą jest wyjątkowo krótki czas reakcji na skok napięcia – teoretycznie nawet rzędu kilku pikosekund. Wadą jest jednak ograniczona zdolność odprowadzania dużej mocy.

Choć charakterystyka napięciowo-prądowa diody TVS przypomina diodę Zenera, elementy te zostały zaprojektowane przede wszystkim do tłumienia przepięć, a nie do stabilizacji napięcia. Aby mogły pochłaniać wysokie prądy impulsowe, wytwarza się je z dużym przekrojem poprzecznym złącza półprzewodnikowego.

Diody TVS dostępne są w wersjach jednokierunkowych i dwukierunkowych. Typ jednokierunkowy doskonale sprawdza się przy tłumieniu zakłóceń na jednobiegunowych liniach cyfrowych. Na poniższym wykresie przedstawiono charakterystyki napięciowo-prądowe obu rodzajów diod TVS.



Charakterystyka I = f(U) obu rodzajów diod TVS (© 2023 Jos Verstraten)

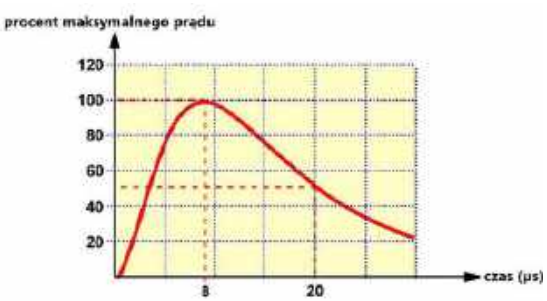
Zasada działania. W normalnych warunkach pracy dioda TVS prezentuje wobec chronionego obwodu wysoką impedancję. Gdy jednak napięcie przekroczy jej wartość przebicia, element przechodzi w tryb lawinowy, tworząc drogę o bardzo niskiej impedancji do uziemienia. Dzięki temu impuls przepięciowy zostaje odprowadzony przez krótki, lecz bardzo silny prąd płynący przez diodę. Po ustąpieniu impulsu dioda TVS powraca do stanu wysokiej impedancji.

Transzorb lub Transil

„Transzorb" (firma Vishay) i „Transil" (firma STMicroelectronics) to nazwy handlowe, pod którymi oferowane są diody TVS (*Transient Voltage Suppressor*).

Specyfikacja 8/20 µs

W dokumentacjach technicznych diod TVS często spotyka się oznaczenie „8/20 µs". Co ono oznacza? Norma IEC 61000-4-5 określa, że dioda TVS musi osiągnąć 100% swojej maksymalnej zdolności przewodzenia prądu



Znaczenie parametru „8/20 µs" (© 2023 Jos Verstraten)

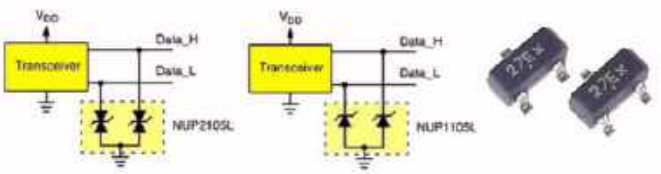
eprasa.pl 39e0ebb5e6

w ciągu 8 µs od początku impulsu, a po 20 µs prąd powinien spaść do 50% tej wartości. Parametr „8/20 µs" informuje, w jakim stopniu dany model diody spełnia to wymaganie.

NUP2105L i NUP1105L

Dwa popularne modele diod TVS to NUP2105L i NUP1105L firmy ON Semiconductor. Zostały one zaprojektowane specjalnie do ochrony jedno- i dwukierunkowych linii danych przed impulsami przepięciowymi, które mogą powstać między innymi w wyniku indukcji od wyładowań atmosferycznych. Umieszczone są w obudowie SOT-23, a ich najważniejsze parametry to:

- moc szczytowa: **350 W**,
- napięcie przebicia (*breakdown voltage*): **26,2 V…32 V**,
- napięcie ograniczenia (*clamping voltage*): **44 V przy prądzie 8 A**,
- prąd szczytowy: **8,0 A**,
- pojemność: maks. **30 pF**,
- prąd upływu: maks. **100 nA**.

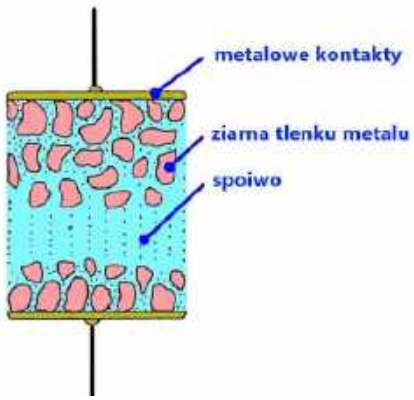


NUP2105L i NUP1105L w praktyce (© ON Semiconductor)

Warystory (*Voltage Dependent Resistors*, VDR)

Czym są?

Warystory, zwane również rezystorami o napięciowej zależności rezystancji (VDR), to elementy, których opór zmienia się w zależności od napięcia przyłożonego do ich zacisków. Wraz ze wzrostem napięcia rezystancja maleje. Warystory stosuje się do ochrony elementów i układów przed przepięciami – na przykład w torach zasilania.



Budowa warystora (VDR) (© 2023 Jos Verstraten)

Jak powstają?

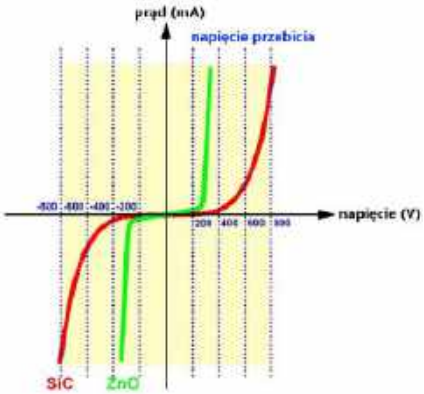
Warystory wytwarza się na bazie sproszkowanych tlenków metali. Najczęściej stosuje się tlenek cynku, tlenek tytanu lub węglik krzemu. Proszek jest spiekany i prasowany pomiędzy dwiema elektrodami.

Przekrój warystora przedstawiono na poniższym rysunku. Nieliniowa zależność prądu od napięcia wynika z następującej właściwości: sam tlenek ma bardzo małą rezystancję właściwą, natomiast granice pomiędzy ziarnami wypełnione są spoiwem o dużej rezystancji. Napięcie przebicia między dwoma ziarnami jest jednak stosunkowo niskie – około 3 V.

Gdy napięcie na warystorze rośnie, kolejne granice ziaren ulegają przebiciu. Każde takie przebicie powoduje lokalny spadek rezystancji właściwej materiału, przez co całkowita rezystancja warystora zaczyna maleć. Wówczas coraz większe napięcie odkłada się na pozostałych, jeszcze nieprzebitych granicach ziaren. Powstaje efekt lawinowy: kolejne granice przebijają się coraz szybciej, a rezystancja elementu gwałtownie spada.

Charakterystyka prądowo-napięciowa warystora (VDR)

Stromość przebicia w dużym stopniu zależy od materiału, z którego wykonano warystor. Na poniższym wykresie porównano charakterystyki warystorów wykonanych z tlenku cynku (linia zielona) oraz węglika krzemu (linia czerwona).



Charakterystyka I = f(U) dwóch warystorów (VDR) (© 2023 Jos Verstraten)

Wartość C warystora (VDR)

Jednym z ważnych parametrów warystora jest tzw. *wartość C*. Określa ona napięcie, jakie pojawia się na warystorze, gdy płynie przez niego prąd 1 A. Parametr ten nazywany jest również *napięciem znormalizowanym*.

Warystory w codziennej praktyce

W praktyce najczęściej spotyka się warystory w postaci dysków. Stosuje się je między innymi w zasilaczach urządzeń, głównie w obwodach zabezpieczających. Przykłady takich elementów przedstawiono na poniższym rysunku.

Dostępne są różne serie:

- seria o średnicy około 14,5 mm – moc strat 0,8 W, 12 wartości rezystancji, wartość C w zakresie od 18 V do 900 V,
- seria o średnicy około 42,5 mm – moc strat 3 W, 13 wartości rezystancji, wartość C w zakresie od 14 V do 980 V.

Dyskowe warystory (VDR) – najczęściej stosowane w praktyce (© 2023 Jos Verstraten)

Tyrystorowe ograniczniki przepięć (TSPD)

Tyrystorowe ograniczniki przepięć (TSPD) znane są również pod nazwami handlowymi *Trisil* lub *Sidactor*. Elementy te pracują dwukierunkowo, co oznacza, że w obu

eprasa.pl 39e0ebb5e6

kierunkach zachowują się identycznie. W istocie są to triaki sterowane napięciem, lecz pozbawione bramki – przebicie następuje, gdy napięcie między zaciskami MT1 i MT2 przekroczy ustalony wewnętrznie próg.

Istnieją również wersje z bramką (gated). W takim przypadku bramka jest podłączona do zewnętrznego napięcia odniesienia, a przebicie następuje, gdy napięcie między MT1 i MT2 przekroczy wartość określoną przez to napięcie odniesienia.

Model TISP7260F3SL

Model TISP7260F3SL firmy Bourns kosztuje około 3 euro. Jego podstawowe parametry to:

- napięcie przebicia: **260 V**,
- napięcie resztkowe po przebiciu: **5 V**,
- maksymalny prąd ciągły: **800 mA**,
- maksymalny prąd szczytowy pojedynczego impulsu: **7,1 A**,
- prąd podtrzymania: **150 mA**,
- pojemność: **17 pF…31 pF**,
- prąd upływu: **10 µA**.

TISP7260F3SL firmy Bourns (© Bourns)

Ochrona przeciwprzepięciowa w praktyce
Mnóstwo niepewnej tandety na rynku

Ponieważ użytkownikowi bardzo trudno jest w praktyce samodzielnie sprawdzić skuteczność ochrony przeciwprzepięciowej, w tej branży łatwo o nadużycia. Nierzadko za duże pieniądze sprzedawane są listwy przeciwprzepięciowe, w których znajduje się niewiele więcej niż prosty gazowy ogranicznik przepięć (w najlepszym razie uzupełniony o bezpiecznik). Dlatego najlepiej kupować produkty znanych i sprawdzonych marek.

ICIDU Bliksem Stop

„Włóż wtyczkę do gniazda z bolcem ochronnym, a wszystkie Twoje cenne urządzenia elektroniczne podłączone do tej samej fazy w promieniu dziesięciu metrów będą chronione przed skutkami uderzenia pioruna, przepięć i skoków napięcia” – tak zachwala swoje urządzenie producent modelu ICIDU Bliksem Stop, którego cena katalogowa wynosi około 15 euro.

Zakupiliśmy taki egzemplarz i rozebraliśmy go, aby sprawdzić, co jest w środku. Zawartość przedstawia poniższe zdjęcie. Zielony kolor dwóch dysków bez wątpienia identyfikuje je jako warystory (VDR). Zostały one podłączone pomiędzy przewód neutralny lub fazowy a uziemienie oraz pomiędzy przewód fazowy a neutralny.

ICIDU Bliksem Stop (© 2023 Jos Verstraten)

Bardzo dobrym rozwiązaniem jest zastosowanie w szereg z każdym warystorem termicznego bezpiecznika o temperaturze zadziałania 120°C. To te białe elementy. Umieszczono je w ścisłym kontakcie termicznym z warystorami – oba elementy znajdują się we wspólnej koszulce termokurczliwej, usuniętej jedynie na potrzeby zdjęcia. Jeśli coś pójdzie nie tak i warystor nadmiernie się nagrzeje, bezpiecznik automatycznie go odłączy.

Na koniec odnajdujemy jeszcze obwód szeregowy złożony z diody 1N4004, niewielkiego rezystora i diody LED, połączony pomiędzy przewodem fazowym a neutralnym. Świecąca dioda LED sygnalizuje, że gniazdko, do którego wpięto urządzenie, jest pod napięciem.

Przeciwprzepięciowe adaptery gniazdkowe

Na rynku dostępnych jest bardzo wiele modeli takich urządzeń, oferowanych przez różne marki i w szerokim zakresie cen. Jednym z bardziej znanych producentów jest firma Brennenstuhl.

Na poniższej fotografii przedstawiono przykład takiego adaptera. Kosztuje on około 15 euro i ma zdolność odprowadzania prądu udarowego do 13,5 kA. W jego obudowie znajdują się: gazowy ogranicznik przepięć, dwa warystory (VDR) oraz bezpiecznik termiczny.

Przeciwprzepięciowy adapter gniazdkowy firmy Brennenstuhl (© Brennenstuhl)

Moduł DFL-M-255 firmy DEHN + SÖHNE GmbH

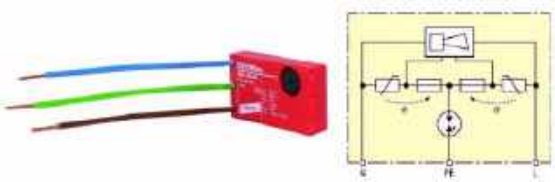
Jest to niewielki moduł, który można wbudować w urządzenie zasilane z sieci, zapewniając mu optymalną ochronę przed skutkami wyładowań atmosferycznych. Należy go podłączyć przy wejściu zasilania sieciowego do przewodu fazowego, neutralnego i ochronnego.

W module znajdują się dwa warystory (VDR), każdy z własnym bezpiecznikiem termicznym, oraz ogranicznik przepięć wypełniony gazem szlachetnym. Dodatkowo wyposażono go w niewielki brzęczyk, który włącza się w momencie zadziałania jednego z bezpieczników termicznych.

eprasa.pl 39e0ebb5e6

Najważniejsze parametry modułu:

- napięcie znamionowe: **255 V**,
- znamionowy prąd rozładowania wg normy 8/20 µs: **1,5 kA**,
- maksymalny prąd rozładowania wg normy 8/20 µs: **3,0 kA**,
- czas reakcji na przepięcie w trybie różnicowym (*differential mode*): **maks. 25 ns**,
- czas reakcji na przepięcie w trybie wspólnym (*common mode*): **maks. 100 ns**,
- wymiary: **30 mm × 50 mm × 11 mm**,
- masa: **32 g**.



Moduł DFL-M-255 firmy DEHN + SÖHNE GmbH (© DEHN + SÖHNE)

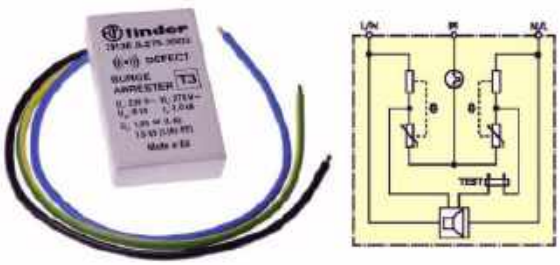
Jedyną wadą tego rozwiązania jest cena – aż 91,99 euro, co wydaje się zdecydowanie wygórowaną kwotą jak na tego typu komponent.

Moduł 7P.36.8.275.2003 firmy Finder

Podobny, lecz znacznie tańszy moduł oferuje firma Finder. Jego cena wynosi zaledwie 46,71 euro.

Najważniejsze parametry techniczne:

- napięcie znamionowe: **275 V**,
- znamionowy prąd rozładowania wg normy 8/20 µs: **3,3 kA**,
- czas reakcji na przepięcie w trybie różnicowym (differential mode): **maks. 25 ns**,
- czas reakcji na przepięcie w trybie wspólnym (common mode): **maks. 100 ns**,
- wymiary: **150 mm × 49 mm × 29 mm**.



Moduł 7P.36.8.275.2003 firmy Finder (© Finder)

Czy warto zbudować samodzielnie?

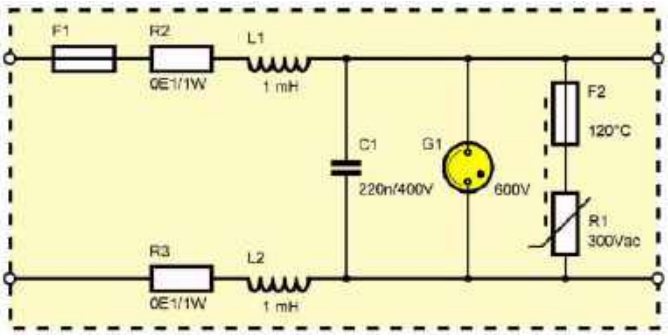
Wprowadzenie. Jako zapalony hobbysta zapewne uważasz, że podobne moduły ochronne można zbudować samodzielnie znacznie taniej. Pod względem czysto technicznym to prawda – warystory (VDR), bezpieczniki termiczne i gazowe ograniczniki przepięć można kupić za kilka euro. I właściwie to wszystko, czego potrzeba! Należy jednak pamiętać o jednym: o stanowisku ubezpieczyciela. Szanse na to, że Twoje własnoręcznie zmontowane urządzenie zostanie potraktowane tak samo jak fabryczny, certyfikowany moduł, są praktycznie zerowe. Jeśli w wyniku wyładowania atmosferycznego w domu dojdzie do pożaru lub innych szkód, a inspektor odkryje, że korzystasz z samodzielnie wykonanego zabezpieczenia, może uznać, że to właśnie ono – a nie sam piorun – było przyczyną zdarzenia.

Układ do tłumienia przepięć różnicowych (differential mode)

Ten typ przepięcia występuje najczęściej, dlatego prezentujemy schemat skutecznego zabezpieczenia przed takimi incydentami (patrz rysunek poniżej). W układzie pominięto przewód ochronny, dzięki czemu można go stosować także w urządzeniach zasilanych dwużyłowym przewodem.

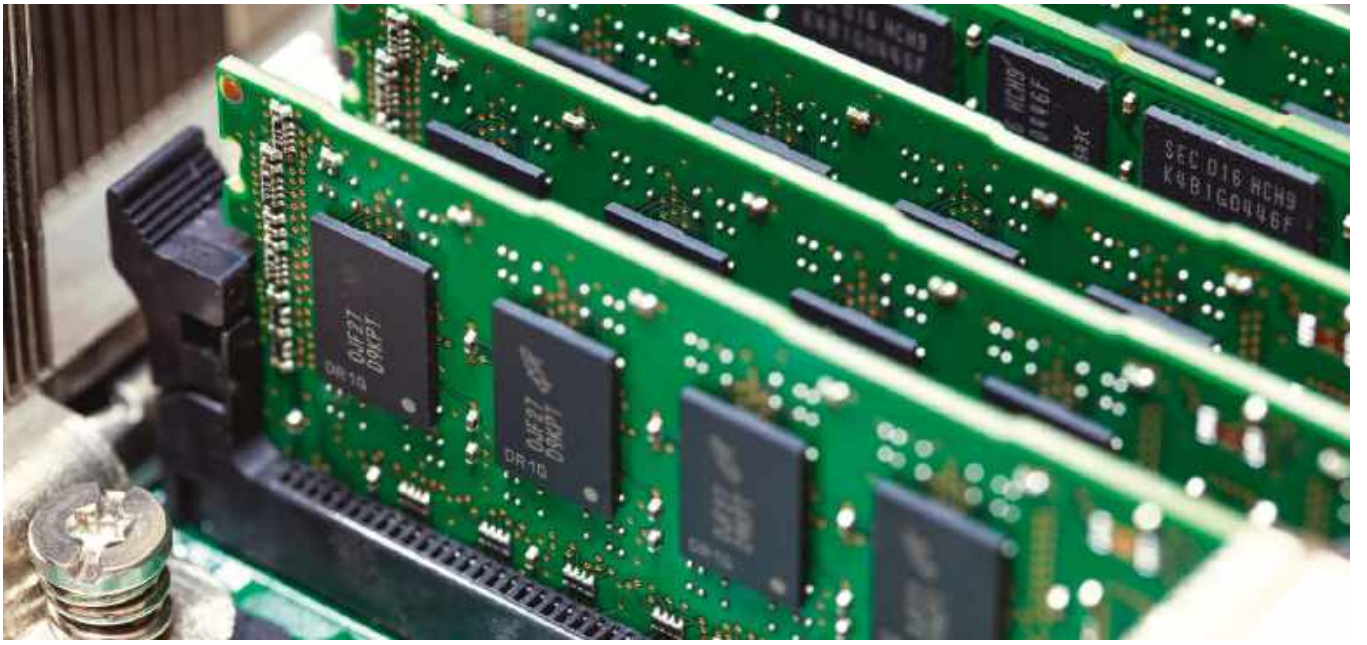
- **Rezystory R2 i R3.** Rezystory o wartości 0,1 Ω zwiększają rezystancję stałoprądową toru zasilania, co poprawia skuteczność działania ograniczników przepięć G1 i R1. Wartość jest na tyle mała, że normalne obciążenie praktycznie jej nie odczuje – przy poborze 1 A spadek napięcia wynosi zaledwie 0,2 V. Wymagania co do mocy nie są krytyczne – rezystory o tak niskiej wartości dostępne są wyłącznie w wersji drutowej, a 1 W w większości zastosowań będzie aż nadto.
- **Dławiki L1 i L2.** Dławiki o indukcyjności 1 mH zwiększają indukcyjność toru zasilania, co jest kluczowe dla skutecznego tłumienia szybkich impulsów napięciowych. Muszą oczywiście wytrzymać prąd obciążenia.
- **Kondensator C1.** W połączeniu z dławikami tworzy skuteczny filtr dolnoprzepustowy, który dodatkowo tłumi szybkie zakłócenia pojawiające się w sieci. Kondensator powinien mieć napięcie znamionowe co najmniej 400 V. Dzięki niemu ograniczniki G1 i R1 będą uruchamiać się rzadziej, co wydłuży ich żywotność.
- **Gazowy ogranicznik przepięć G1.** Napięcie przebicia powinno wynosić od 500 V do 600 V.
- **Warystor R1.** Standardowe warystory o parametrach 300 V AC/385 V DC są powszechnie dostępne i kosztują mniej niż 2 euro w większości sklepów.
- **Bezpiecznik termiczny F2.** Rurkowy bezpiecznik termiczny o temperaturze zadziałania 120°C należy zamontować w dobrym kontakcie termicznym z warystorem. Powinien wytrzymać napięcie pracy 250 V.
- **Bezpiecznik topikowy F1.** Standardowy bezpiecznik szklany 20 mm × 5 mm. Jego wartość należy dobrać do obciążenia, jakie zamierzasz podłączyć do zabezpieczenia przeciwprzepięciowego. ■

Jos Verstraten



Schemat samodzielnie wykonanego zabezpieczenia przeciwprzepięciowego (© 2023 Jos Verstraten)

eprasa.pl 39e0ebb5e6



Historia rozwoju pamięci komputerowych, epoka krzemu

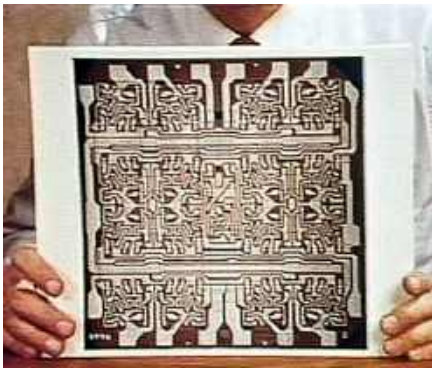
Punktem zwrotnym w historii rozwoju pamięci komputerowych był rok 1965, w którym stały się dostępne małe, półprzewodnikowe układy pamięci. Początkowo miały pojemność kilku bajtów, potem około kilobajta, potem wielu kilobajtów. W okresie późniejszym pojawiły się dwa podstawowe rozwiązania technologiczne, były to pamięci SRAM i DRAM, jednak warto przyjrzeć się innym pamięciom, takim jak EPROM, EEPROM, flash i SGRAM. Historia rozwoju półprzewodnikowych pamięci komputerowych miała następujący przebieg:

Rok 1965 – firmy Scientific Data Systems i Signetics stworzyły 8-bitowe (jednobajtowe) urządzenie pamięciowe. Później, w tym samym roku, Ben Agusta i Paul Castrucci opracowali pamięć SP95. Było to 16-bitowe (dwubajtowe) urządzenie RAM używane w systemach IBM 360 Model 95.

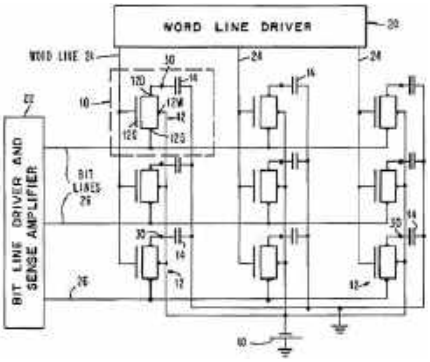
Rok 1966 – Tom Longo z firmy Transitron zbudował 16-bitową pamięć TTL typu TMC3162 (**rysunek 1**). Był to pierwszy układ pamięci RAM masowo produkowany przez różne firmy, w tym Fairchild (pod nazwą 9033), Sylvania (SM-80) i TI (SN7481). Arkusz danych ostatniego z tych układów można znaleźć na stronie http://www.siliconchip.au/link/abhv. Firma Honeywell używała tego układu w swoim minikomputerze o nazwie Model 4200.

Później pojawiły się 64-bitowe (ośmiobajtowe) układy pamięci podręcznej stosowane przez firmę IBM, takie jak Fairchild (9035 i 93403) i TI (SN7489). Notę katalogową ostatniego z tych układów mona znaleźć na stronie www.siliconchip.au/link/abhw

Rok 1967 – Robert Dennard z firmy IBM złożył wniosek patentowy numer US 3,387,286, patent został przyznany w 1968 r.

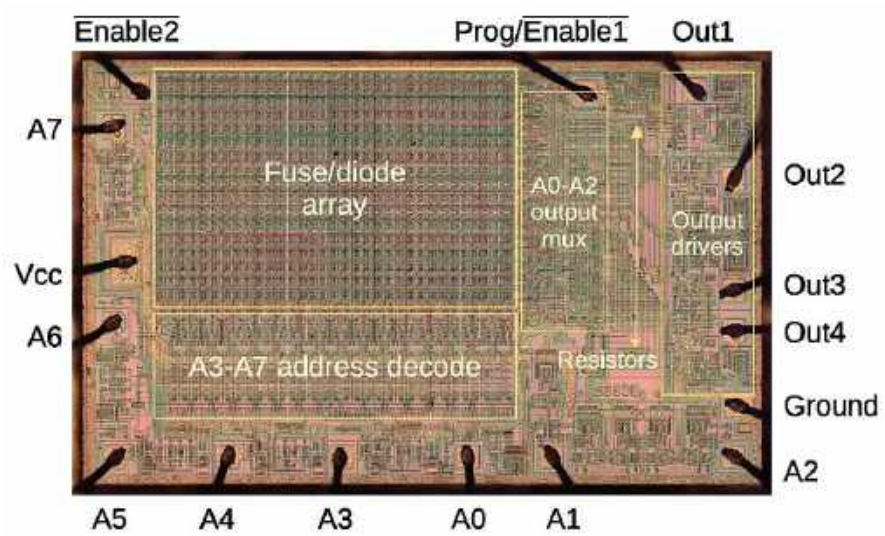


Rysunek 1. Metalowa maska szesnastobitowego, bipolarnego układu scalonego TTL RAM firmy Fairchild. Źródło: Fairchild Camera & Instrument Corporation, www.computerhistory.org/siliconengine/semiconductor-rams-serve-high-speed-storage-needs/



Rysunek 2. Ilustracja z patentu Dennarda z 1968 roku, przedstawiająca dziewięciobitowy element pamięci DRAM z dziewięcioma tranzystorami i dziewięcioma kondensatorami

eprasa.pl 39e0ebb5e6



Rysunek 3. Krzemowa matryca z 1024-bitowego układu MMI 5300 PROM z lat 70.. Źródło: Ken Shirriff, www.righto.com/2019/07/looking-inside-1970s-prom-chip-that.html

Dotyczył on jednotranzystorowej komórki pamięci DRAM (**rysunek 2**). Pamięci działające na tej zasadzie wyparły magnetyczne pamięci rdzeniowe. Różnice między pamięciami DRAM i SRAM zostaną opisane poniżej. Obie te technologie są nadal wykorzystywane w technice komputerowej.

Rok 1969 – Pamięć PROM (Programmable Read-only Memory), która została wynaleziona w 1956 roku, została wykorzystana przez Siły Powietrzne Stanów Zjednoczonych do przechowywania danych celowniczych w pociskach ICBM (Intercontinental Ballistic Missile). Technologia ta była utrzymywana w tajemnicy przez ponad dekadę. PROM jest układem pamięciowym, który może być zapisany tylko raz, potem dane nie mogą być już zmieniane (**rysunek 3**). Pamięci PROM są nadal stosowane do przechowywania kluczy szyfrujących, danych konfiguracyjnych i kalibracyjnych różnych urządzeń oraz kodów rozruchowych w komputerach.

Początkowo pamięć PROM nie miała formy układu scalonego, która została wprowadzona dopiero w 1958 roku, lub w 1960 roku w przypadku pamięci planarnych. Programowanie odbywało się przez przepalanie metalowych elementów topikowych lub diod półprzewodnikowych, a także warstw tlenku między bramką a podłożem w tranzystorach za pomocą impulsów o stosunkowo wysokim napięciu (np. 6 V). Układy PROM nie zostały zaimplementowane w technologii CMOS aż do 2001 roku.

Rok 1969 – Charles Sie opublikował rozprawę doktorską na temat pamięci zmiennofazowej PCM, znanej również jako PRAM, stworzonej przez Stanforda R. Ovshinsky'ego. Substancja taka jak szkło chalkogenkowe zmienia swoją strukturę pod wpływem temperatury. Zależnie od tempa podgrzewania przechodzi z fazy krystalicznej do amorficznej (**rysunek 4**), zmienia przy tym swoją rezystywność.

Pamięci PRAM mają znacznie wyższą szybkość zapisu i porównywalną szybkość odczytu w stosunku do pamięci flash. Podejmowano wiele prób komercjalizacji układów PCM, jednak pomimo kilku prezentacji produktów i wprowadzeniu kilku układów na rynek, nie odniosły one sukcesu komercyjnego.

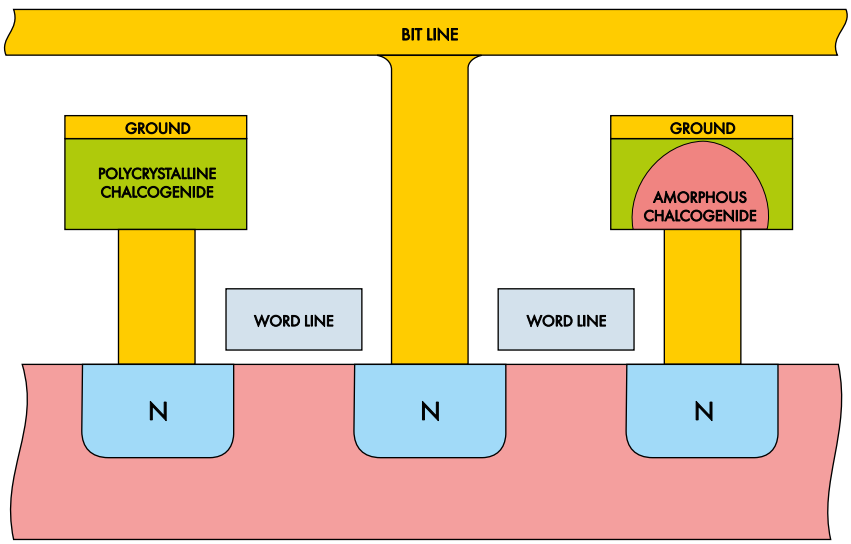
Pamięć Intel 3D XPoint jest przykładem techniki PCM. Produkty Intela o nazwie „Optane" zostały wprowadzone na rynek w 2017 roku i zyskały sporą popularność wśród sporej części użytkowników.

Wczesne programy badawcze, które były uruchamiane więcej niż raz?

Pewien starszy kolega opowiadał mi kiedyś, że dawne komputery nie były tak niezawodne ani nie posiadały tak wielu mechanizmów samokontroli jak obecne. Szumy i zakłócenia mogły wprowadzać błędne dane, na przykład powodując odwrócenie pojedynczego bitu. Dlatego zdarzało się, że programy naukowe i inżynieryjne uruchamiano dwukrotnie lub trzykrotnie, aby upewnić się, że wynik będzie taki sam. Nie znalazłem jednak żadnego potwierdzenia tej praktyki. Chętnie poznamy relacje Czytelników, którzy mogli o niej słyszeć.

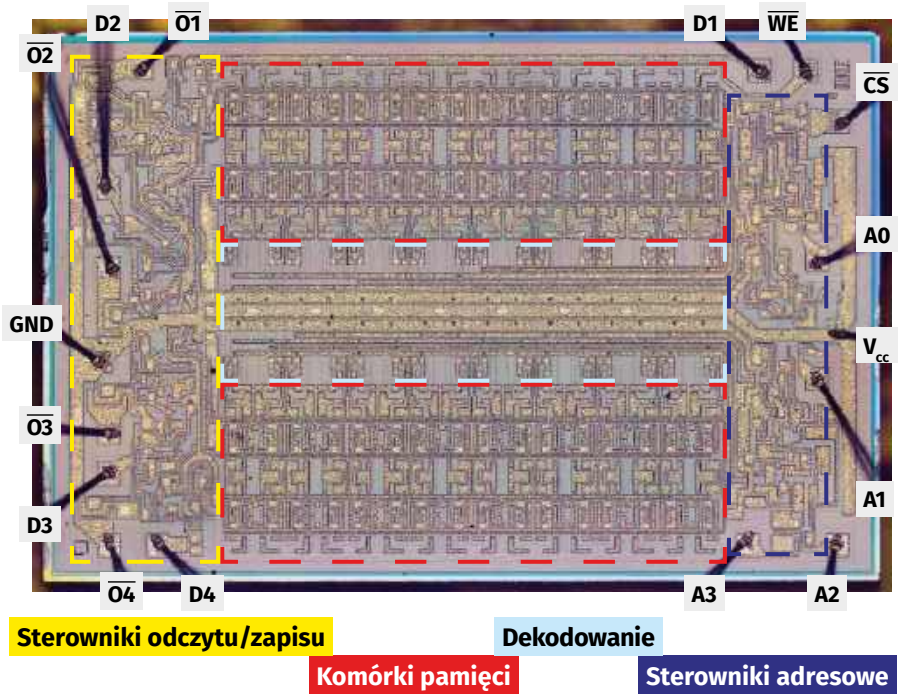
Były szybsze w działaniu niż dyski SSD oparte na pamięci flash, pomimo to w 2021 roku firma Intel zaprzestała dalszych prac rozwojowych. Jednak szkło chalkogenkowe jest do dziś wykorzystywane w nośnikach optycznych z możliwością wielokrotnego zapisu, takich jak płyty CD-R i DVD-R.

Rok 1969 – Firma Intel wprowadziła na rynek swój pierwszy produkt bipolarny, czyli 64-bitową, statyczną pamięć SRAM typu 3101 Schottky TTL (**rysunki 5** i **6**). Mogła ona przechowywać 64 bity danych lub osiem ośmiobitowych symboli. Dzięki zastosowaniu diod Schottky'ego była dwukrotnie szybsza niż wspomniane powyżej pamięci krzemowe (pamięć podręczna IBM, Fairchild 9035 i 93403, TI SN7489). Pojemność tej pamięci była niewystarczająca, aby konkurować z ówczesną, magnetyczną pamięcią rdzeniową. Jednak przez to, że była bardzo szybka, była stosowana w rejestrach procesorów.

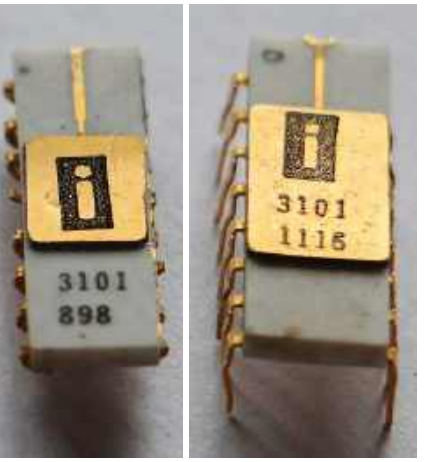


Rysunek 4. Struktura pamięci z przemianą fazową, z lewą komórką w stanie krystalicznym i prawą komórką w stanie amorficznym. Źródło: https://w.wiki/5zxP (GNU FDL)

eprasa.pl 39e0ebb5e6



Rysunek 5. Zdjęcie matrycy pierwszego produktu Intela, 64-bitowego układu pamięci z 1969 roku. Źródło: Ken Shirriff, www.righto.com/2017/07/inside-intels-first-product-3101-ram.html



Rysunek 6. Dwa warianty układu scalonego Intel 3101. Źródło: Ken Shirriff: „Wnętrze pierwszego produktu Intela"

Rok 1969 – Na rynek wprowadzona została 1024-bitową pamięć ROM typu Intel 3301.

Rok 1969 – Firma IBM wprowadza na rynek 128-bitowy układ pamięci dla komputera typu System/370 Model 145, pierwszego komputera IBM wykorzystującego półprzewodnikową pamięć główną.

Rok 1969 – Firma Fairchild wprowadziła na rynek 256-bitowy układ pamięci typu 4100 (znany także jako 93400) dla komputera Burroughs Illiac IV.

Rok 1969 – Na rynku pojawia się układ Intel 1101. Była to 256-bitowa pamięć SRAM, produkowana w technologii MOS (Metal Oxide Semiconductor), torując drogę do pamięci o wysokiej gęstości upakowania.

Rok 1970 – Firma Intel wprowadziła na rynek pierwszy powszechnie dostępny układ scalony DRAM typu 1103, o pojemności 1 kB (**rysunki 7**, **8** i **9**). Układ ten był wystarczająco mały i tani, aby stanowić realną alternatywę dla magnetycznych pamięci rdzeniowych.

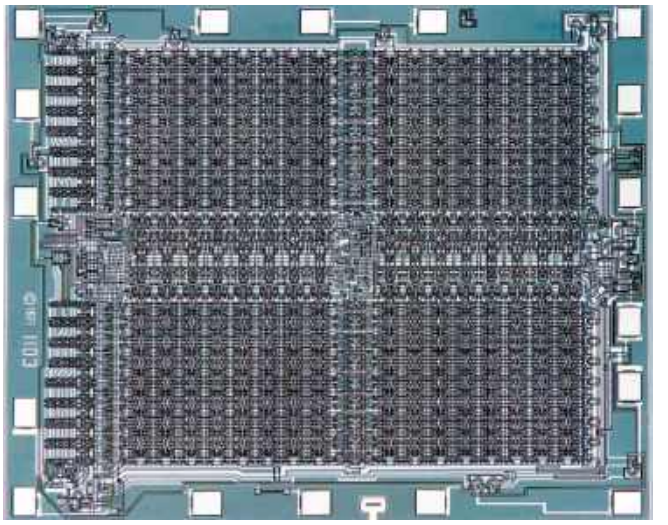
Rok 1970 – Dove Frohman wynalazł i patentował pamięć EPROM (Erasable Programmable Read-Only Memory). Patent miał numer US 3,660,819 i został przyznany w 1972 roku. Jest to pamięć, której zawartość może być kasowana i ponownie zapisywana. Układ zachowuje swoją zawartość przez wiele lat. Kasowanie odbywa się z użyciem światła UV. EPROM jest rodzajem pamięci nieulotnej i zachowuje swoje dane po wyłączeniu zasilania.

Układ EPROM łatwo rozpoznać, ponieważ ma przezroczyste okienko umieszczone nad krzemową matrycą, zwykle zakryte nieprzezroczystą naklejką. Ma to zapobiegać przypadkowemu kasowaniu danych przez silne źródła światła, takie jak lampy fluorescencyjne lub słońce.

Pamięci EPROM były używane do przechowywania zawartości BIOS we wczesnych komputerach PC, kompatybilnych z IBM i w wielu innych urządzeniach, wymagających okresowej aktualizacji niskopoziomowego kodu oprogramowania układowego.

W tamtym czasie nie było innych pamięci nieulotnych, mających postać układu scalonego, a procesy związane z uruchamianiem komputerów były czasochłonne. Założyciel firmy Intel, Gordon Moore, powiedział, że wynalezienie pamięci EPROM było równie ważne dla rozwoju branży mikrokomputerów, jak stworzenie mikroprocesora.

Rysunek 7. Programowalny kalkulator/komputer HP 9830A z 1972 roku, z drukarką termiczną, wykorzystywał układy pamięci Intel 1103 o pojemności 1 kB. Źródło: Hydrargyrum, https://w.wiki/5zxQ (GNU FDL)



Rysunek 8. Zdjęcie matrycy pamięci DRAM Intel 1103 o pojemności 1kB. Źródło: www.cpu-galaxy.at/cpu/Ram%20Rom%20Eprom/RAM/Intel%201103%20section.htm

eprasa.pl 39e0ebb5e6

Rok 1971 – W tym roku miała miejsce premiera czterobitowego mikroprocesora Intel 4004, zawierającego 2300 tranzystorów. Pojawienie się tego układu doprowadziło do rewolucji na rynku elektronicznym, gdyż stworzyło ogromne zapotrzebowanie na większe i szybsze pamięci. Następcą układu 4004 był ośmiobitowy mikroprocesor Intel 8008, który pojawił się na rynku w 1972 roku, kolejny model Intel 8086 z 1978 roku był pierwowzorem architektury x86, która jest obecnie w powszechnym użyciu.

Rok 1971 – Bill Herndon z firmy Fairchild stworzył szybką, 256-bitową pamięć TTL (93410).

Rok 1972 – Na rynku pojawiła się pierwsza pamięć EPROM, Intel 1702, o pojemności 2048 bitów (**rysunek 10**).

Rok 1972 – Powstaje pamięć EEPROM wynaleziona przez Fujio Masuokę z firmy Toshiba. Ten sam konstruktor stworzy później pamięć flash.

EEPROM lub E2PROM jest podobna w działaniu do układu EPROM. Jest to rodzaj pamięci nieulotnej, która może być kasowana elektrycznie, bez użycia światła UV, więc jest znacznie wygodniejsza w użyciu. Układy te są prekursorami pamięci typu flash.

Pamięci EEPROM są nadal używane w urządzeniach oraz elementach takich jak mikrokontrolery, telefoniczne karty SIM, karty bankowe, systemy kontroli dostępu, urządzenia zabezpieczające itp. Dla podwyższenia poziomu bezpieczeństwa pracy tych urządzeń, układy EEPROM są często zabezpieczane przed odczytem i ponownym zapisem lub kopiowaniem.

Jedną z różnic między strukturami pamięci EEPROM i flash jest to, że pamięć EEPROM wymaga zastosowania dwóch tranzystorów na każdy bit danych, tymczasem pamięć flash wymaga tylko jednego. Dlatego układ EEPROM ma większą objętość niż pamięć flash o tej samej pojemności. Jednak w pamięci EEPROM można kasować pojedyncze bajty, a w pamięci flash muszą być kasowane całe sektory.

Pamięci EEPROM mogą być zapisywane wielokrotnie, znacznie więcej razy niż pamięci flash, więc są bardziej przydatne do przechowywania często aktualizowanych danych. Znajdują zastosowanie w licznikach przebiegu pojazdów mechanicznych lub w urządzeniach RTV, do zapamiętywania ostatnich ustawień.

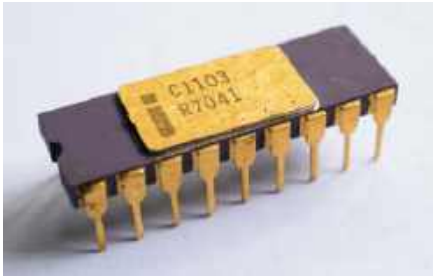
Rok 1976 – Powstaje superkomputer Cray 1, w którym zastosowano około 65 000 układów RAM firmy Fairchild, typu 10415, o pojemności 1024 bitów.

Rok 1977 – Firma Texas Instruments wprowadza na rynek pierwsze komercyjne urządzenie z pamięcią bąbelkową. Był to przenośny terminal komputerowy, w którym pamięć bąbelkowa służyła do przechowywania danych.

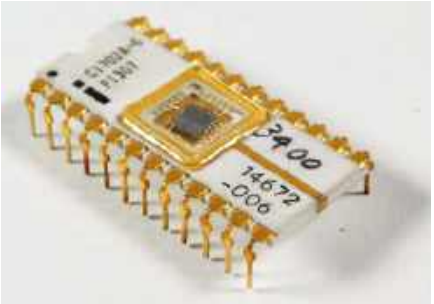
Pamięć bąbelkowa (**rysunek 11**) jest formą pamięci nieulotnej, w której wykorzystany jest materiał zawierający namagnesowane obszary, zwane bąbelkami lub domenami. Każdy z tych obszarów reprezentuje jeden bit danych. Bąbelki są ułożone równolegle, w wyznaczonych ścieżkach.

W celu odczytania stanu pamięci, czyli jednego bitu informacji, bąbelek jest przesuwany z użyciem pola magnetycznego wzdłuż ścieżki, aż do krawędzi matrycy. Tam jest odczytywana jego zawartość. Następnie, taka sama treść jest zapisywana na przeciwległej krawędzi matrycy. Przypomina to działanie pamięci zbudowanej w oparciu o linię opóźniającą, tyle że zamiast impulsów akustycznych przesuwane są domeny magnetyczne.

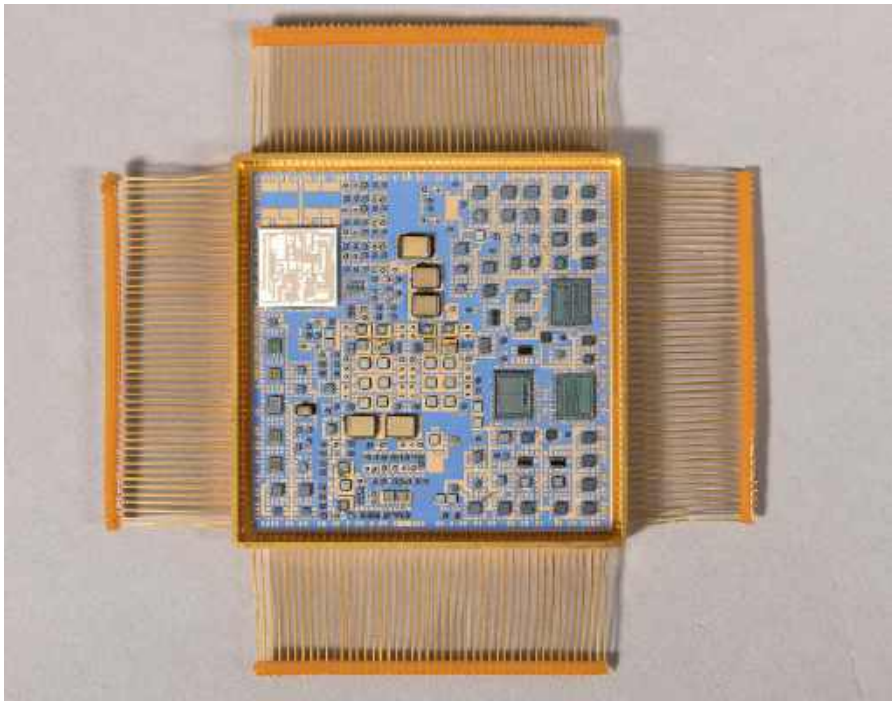
Do budowy pamięci bąbelkowych najlepiej nadawały się kryształy z grupy granatów, w praktyce wykorzystywano syntetyczny granat itrowo-żelazowy (YIG). Aby formować równoległe ścieżki służące do transportu bąbelków, na powierzchni materiału magnetycznego trzeba nadrukować prowadnice w kształcie litery T, z odpowiednio rozmieszczonymi poprzeczkami (**rysunek 12**). Bez tych prowadnic domeny dryfowałyby w przypadkowych kierunkach.



Rysunek 9. Układ pamięci SRAM firmy Intel 1103. Źródło: Thomas Nguyen Źródło: https://w.wiki/5zxR (CC BY-SA 4.0)



Rysunek 10. Pamięć EPROM Intel 1702A-6. Widoczne przezroczyste okienko nad krzemową matrycą. Zazwyczaj było ono zakryte, aby zapobiec przypadkowemu skasowaniu zawartości pamięci Źródło: Museums Victoria, https://collections.museumsvictoria.com.au/items/1711881 (CC BY 4.0)



Rysunek 11. Układ pamięci pęcherzykowej z wielowarstwowym, hybrydowym obwodem sterującym, pochodzący z satelity komunikacyjnego Milstar, z przełomu lat 80 – 90 ubiegłego wieku. Element pamięci pęcherzykowej nie jest widoczny, ale zdjęcie pokazuje złożoność obwodu sterującego. Źródło: Narodowe Muzeum Lotnictwa i Przestrzeni Kosmicznej, Waszyngton DC USA, https://airandspace.si.edu/collection-objects/bubble-memory-microelectronic-hybrid-milstar-communications-satellite/nasm_A19980305001

eprasa.pl 39e0ebb5e6

Tabela 1. Moduły SIMM i DIMM do komputerów stacjonarnych					
Typ pamięci	Rok wprowadzenia na rynek	Liczba pinów	Typowa maksymalna pojemność	Szybkość transferu (najszybszy typ)	Długość (przybliżona) *
SIMM	1983	72	16 MB	~250 MB/s	107,9 mm
DIMM	1995	168	128 MB	1,066 GB/s (SDR-133)	133,3 mm
DIMM (DDR)	1998	184	512 MB	4,8 GB/s (DDR-600)	133,3 mm
Rambus RDRAM RIMM	1999	184	512 MB	2,4 GB/s (PC1200)	133,3 mm
DIMM (DDR2)	2003	240	8 GB	10 GB/s (DDR2-1250)	133,3 mm
DIMM (DDR3)	2007	240	16 GB	24 GB/s (DDR3-3000)	133,3 mm
DIMM (DDR4)	2014	288	64 GB	35,2 GB/s (DDR4-4400)	133,3 mm
DIMM (DDR5)	2020	288	512 GB	51,2 GB/s (DDR5-6400)	135,0 mm
* Grubość układu jest zmienna w zależności od producenta, standardy JEDEC określają jej maksymalną wartość					

Do poruszania bąbelkami stosowane są dwie prostopadle ustawione, spiralne cewki, oplatające całą strukturę magnetyczną. Odpowiednio dobrane prądy przepływające przez te cewki wytwarzają wirujące pole magnetyczne na całej powierzchni materiału. Każdy pełny obrót pola magnetycznego powoduje jeden krok w ruchu bąbelków.

Poszczególne prowadnice magnetyczne są wstępnie magnesowane w jednym kierunku. To powoduje przemieszczenie pęcherzyków do jednego z końców każdej z prowadnic. Następnie kierunek pola magnetycznego jest odwracany. To powoduje przesunięcie bąbelków na drugi koniec prowadnic. Ten cykl jest powtarzany aż do momentu, w którym interesujący nas bąbelek dotrze do końca ścieżki.

Bąbelki tworzone są za pomocą elektromagnesu umieszczonego na jednym końcu matrycy, a odczytywane przez detektor pola magnetycznego (przetwornik) na drugim końcu. Ich rozmiar jest utrzymywany na odpowiednio małym poziomie dzięki magnesom stałym umieszczonym powyżej i poniżej płytki z granatu.

W numerach ze stycznia 1973 i marca 1980 roku czasopismo Electronics Australia opublikowało artykuły na temat pamięci bąbelkowej. Szczegółowe informacje na temat sposobu tworzenia i przesuwania bąbelków można znaleźć w filmie zatytułowanym „Magnetic Bubble Memory Fundamentals 101-Constraining and Moving Magnetic Bubble Domains" na stronie https://youtu.be/rJ-ysch4-NM.

Początkowo z pamięcią bąbelkową wiązano wielkie nadzieje. W latach siedemdziesiątych XX wieku osiągała ona gęstość zapisu zbliżoną do dysków twardych i odznaczała się większą prędkością, zbliżoną do magnetycznej pamięci rdzeniowej. Była również bardziej wytrzymała i niezawodna w działaniu niż ówczesne dyski twarde. Jednak pomimo tych zalet została wyparta z rynku przez dyski twarde o dużej gęstości zapisu i przez szybsze, półprzewodnikowe układy pamięciowe. Pod koniec lat osiemdziesiątych została uznana za przestarzałą.

Więcej informacji na ten temat można znaleźć w filmie zatytułowanym „Digital Electronics 25 – Memory – RAM Controller – Magnetic Bubble Memory" na stronie https://youtu.be/51BslNuGnrs?t=257.

Film „Magnetic Bubble Memory Chip" przedstawiający działanie magnetycznej pamięci bąbelkowej można obejrzeć na stronie https://youtu.be/0rqPmjmQOxw.

Rok 1978 – George Perlegos z firmy Intel opracował pamięć EEPROM typu 2816, o pojemności 2 kB. Notę katalogową późniejszej wersji 2816A można znaleźć na stronie siliconchip.au/link/abhx.

Rok 1983 – firma Wang Laboratories stworzyła pamięć SIMM (single in-line memory module), która była używana w komputerach IBM PC AT oraz modelach 386, 486, Macintosh Plus, Macintosh II, Quadra, Atari STE i Wang VS.

Rok 1984 – Fujio Masuoka tworzy nieulotną pamięć flash, do dziś używaną w kartach SD, pamięciach USB, itp. Jak wspomniano wcześniej, jej budowa jest powiązana z konstrukcją pamięci EEPROM, którą wynalazł ten sam konstruktor.

Rok 1985 – Firma Toshiba wprowadziła na rynek pierwszy układ z pamięcią flash, o pojemności 256 kb.

Rok 1986 – Firma Intel wprowadziła na rynek 256-kilobitową pamięć flash, wykonaną w technologii ETOX (EPROM z tunelem tlenkowym), która jest obecnie najczęściej stosowana.

Rok 1986 – dostępne stały się układy DRAM o pojemności 1 Mb, co w tamtym czasie uznano za kamień milowy w rozwoju pamięci. Stanowiły one przejście od układów z planarnie ułożonymi komórkami pamięci, do układów z komórkami rowkowanymi lub ułożonymi w stos. Ich produkcja wymagała zastosowania osiemnastu masek.

Rok 1993 – Firma Samsung wprowadziła na rynek synchroniczną pamięć DRAM (SDRAM).

Rok 1996 – Firma Samsung Electronics wprowadziła na rynek układ FeRAM (Ferroelectric RAM) o pojemności 4 MB. Pamięć tego typu została wynaleziona w 1952 roku. Pierwszym komercyjnym produktem wykorzystującym FeRAM była karta pamięci o pojemności 8 MB do konsoli Sony PlayStation 2, udostępnionej w 2000 roku. Mikrokontroler Toshiba zastosowany w tej konsoli zawierał pamięć FeRAM o pojemności 4 GB.

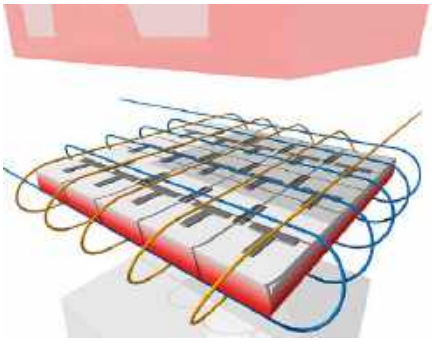
Pamięci FeRAM w porównaniu z pamięciami flash mają mniejsze zużycie energii, większą liczbę cykli odczytu i zapisu oraz krótszy czas zapisu. Do wad należy mniejsza gęstość upakowania, wyższy koszt produkcji i mniejsza pojemność. Pamięci FeRAM były stosowane w rejestratorach danych i we wszczepialnych urządzeniach medycznych. Znajdowały także zastosowania przemysłowe w inteligentnych urządzeniach pomiarowych. Celem ich stosowania było wyeliminowanie pamięci RAM z podtrzymaniem bateryjnym.

Rok 1998 – Do sprzedaży trafia pierwsza pamięć DRAM typu DDR (Double Data Rate). Wykonywała ona dwie operacje w każdym cyklu zegara, efektywnie podwajając swoją przepustowość.

Rok 2003 – Na rynku pojawiła się pamięć DRAM typu DDR2 (tabela 3).

Rok 2007 – Na rynku pojawiła się pamięć DRAM typu DDR3.

Rok 2014 – Na rynku pojawiła się pamięć DRAM typu DDR4.



Rysunek 12. Układ pamięci bąbelkowej. Widoczne struktury magnetyczne „T i poprzeczka" oraz dwie cewki ustawione prostopadle. Nad i pod arkuszem magnetycznym znajduje się magnes stały
Źródło: Søren Peo Pedersen, https://w.wiki/5zxS (GNU FDL)

eprasa.pl 39e0ebb5e6

Rok 2019 – Powstaje otwarty standard Compute Express Link, określający sposób łączenia procesora CPU z pamięcią, oparty na magistrali PCI Express (PCIe).

Rok 2020 – Na rynku pojawiła się pamięć DRAM typu DDR5. Większość komputerów stacjonarnych i laptopów najnowszej generacji korzysta z tego typu pamięci RAM. Najnowsze procesory Intel trzynastej generacji mogą korzystać z pamięci DDR4 lub DDR5, konkurencyjne procesory AMD Ryzen 7000 obsługują już tylko pamięć DDR5.

Tabela 2. Różne rodzaje modułów DIMM

Typ pamięci	Liczba pinów	Typowa maksymalna pojemność	Długość (przybliżona) *
DIMM (dla drukarek)	100	512 MB	88,9 mm
microDIMM DDR	172	1 GB	42,4 mm
microDIMM DDR2	214	1 GB	55,0 mm
SODIMM	144	512 MB	67,6 mm
SODIMM DDR2	200	2 GB	67,6 mm
SODIMM DDR3	204	16 GB	67,6 mm
SODIMM DDR4	260	64 GB	67,6 mm
SODIMM DDR5	262	128 GB	69,6 mm

* Grubość układu jest zmienna w zależności od producenta, standardy JEDEC określają jej maksymalną wartość

SRAM vs DRAM

Dwa główne typy używanych obecnie pamięci RAM to SRAM i DRAM. DRAM ma znacznie większą gęstość upakowania komórek niż SRAM, ale jest wolniejsza i wymaga okresowego odświeżania. Pamięć SRAM wykorzystuje sześć tranzystorów na bit, tymczasem pamięć DRAM wymaga tylko jednego, stąd znaczna różnica w gęstości upakowania.

Odświeżanie pamięci RAM polega na okresowym odczytywaniu każdego bitu, a następnie jego ponownym zapisywaniu. Jeśli nie jest to wykonywane odpowiednio często, niektóre pojemności przechowujące dane bitowe mogą się rozładować, a informacje zostaną uszkodzone lub utracone. Czynności związane z odświeżaniem pamięci są wykonywane przez układ kontrolera. Stanowią one zaledwie 1% obciążenia pamięci, więc nie mają istotnego wpływu na jej wydajność. Pamięć operacyjna o dużej pojemności jest zazwyczaj zbudowana w technologii DRAM, która działa wolniej niż pamięć SRAM, ale jest od niej znacznie tańsza i bardziej kompaktowa.

SDRAM (synchroniczna pamięć DRAM) jest odmianą pamięci DRAM. Układ działa synchronicznie, z wykorzystaniem zewnętrznego sygnału zegarowego, zgodnie z rytmem pracy magistrali systemowej. Oznacza to, że czas oczekiwania na dostęp jest krótszy, a pamięć działa szybciej. Natomiast zwykła pamięć DRAM działa asynchronicznie, niezależnie od rytmu magistrali systemowej, więc jest wolniejsza niż pamięć SDRAM.

EDO RAM (Extended Data out RAM) jest odmianą pamięci DRAM stosowaną w latach osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych XX wieku. W okresie późniejszym została wyparta z rynku przez pamięć SDRAM.

Pakietowanie układów pamięci

Od roku 1970, we wczesnych konstrukcjach komputerów korzystało z 16-pinowych układów pamięci w obudowach DIP (Dual In-Line Package). Na przykład, firma Burroughs w swoim superkomputerze Illiac IV używała 256-bitowych, bipolarnych układów TTL RAM Fairchild 4100 (znanych również jako 93400). Wiele późniejszych konstrukcji korzystało z tego samego schematu, aż do momentu pojawienia się pierwszego komputera IBM PC XT i wczesnych modeli AT.

Od początku lat osiemdziesiątych pakiety złożone z układów DIP zostały zastąpione przez moduły SIMM (single in-line memory module), stworzone w 1982 roku. SIMM to mała płytka drukowana ze złączem krawędziowym i jednym lub wieloma układami pamięci, zwykle w obudowach TSSOP SMD. Początkowo miały one 30 wyprowadzenia, później 32, na koniec 36, dla pamięci z kontrolą parzystości.

Od początku lat dziewięćdziesiątych, 72-pinowe pamięci SIMM były używane w komputerach PC z procesorami, takimi jak Intel 80486, Pentium, Pentium Pro i wczesne Pentium II.

Po modułach SIMM pojawiły się moduły DIMM (Dual In-line Memory Modules), które zostały wprowadzone na rynek w połowie lat dziewięćdziesiątych. Eliminowały one problem związany z koniecznością jednoczesnego adresowania dwóch modułów SIMM, ze względu na szerszą magistralę adresową w układach Pentium. Jeden moduł DIMM skutecznie zastępował dwa moduły SIMM.

Moduły DIMM pozostają nadal w powszechnym użyciu i występują w wielu odmianach, o różnych prędkościach, pojemnościach, liczbie pinów, rozmiarach fizycznych i tym podobnych – **tabela 1**.

Z czasem układy DRAM IC w obudowach TSSOP, z wyprowadzeniami po obu stronach układu, ustąpiły miejsca układom w obudowach BGA, z połączeniami umieszczonymi pod spodem tych układów, co pozwoliło na lepsze wykorzystanie powierzchni płytki drukowanej.

Moduły DIMM dla laptopów nazywane są SO-DIMM (Small Outline DIMM), a także microDIMM dla płaskich, kompaktowych komputerów przenośnych.

Moduły pamięci RIMM lub Rambus in-line, w odmianach takich jak RDRAM, CDRAM i DRDRAM, były dostępne w latach dziewięćdziesiątych i na początku XXI wieku, jako alternatywa dla modułów DIMM, ale przegrały wojnę standardów i wypadły z rynku. Pamięć SLDRAM (Synchronous-link DRAM) stanowiła kolejną alternatywę dla wersji Rambus, obecnie również przestarzałej.

Pamięć XDR DRAM (eXtreme Data Rate DRAM) to następca RDRAM, konkurująca z DDR2 i GDDR4 SDRAM została wprowadzona na rynek w 2003 roku i była używana w konsoli Sony PlayStation 3.

Moduł SGRAM (Synchronous Graphics RAM) jest formą pamięci SDRAM dla kart graficznych. Był stosowany w konsoli Sony PlayStation z 1995 roku. Nowoczesna pamięć GDDR SDRAM (Graphics Double Data Rate SDRAM) jest stosowana w szybkich procesorach graficznych. Istnieje wiele generacji tej pamięci: GDDR,

Tabela 3. Układy pamięci graficznej

Typ pamięci	Rok wprowadzenia na rynek	Liczba pinów	Typowa maksymalna pojemność	Szybkość transferu (najszybszy typ)
SGRAM	1994	80–100 (TSOP-II/QFP)	1 MiB	400 MB/s
DDR SGRAM	1998	128 (BGA)	2 MiB	5,6 GB/s
GDDR2	2002	84 (BGA)	32 MB	16 GB/s
GDDR3	2004	136 (BGA)	64 MB	19,9 GB/s
GDDR4	2005	78–96 (BGA)	64 MB	17,6 GB/s
GDDR5	2007	170 (BGA)	1 GB	40–72 GB/s
GDDR5X	2016	190 (BGA)	1 GiB	80–112 GB/s
GDDR6	2018	170 (BGA)	2 GB	112–144 GB/s
GDDR6X	2020	180 (BGA)	2 GB	152–168 GB/s

eprasa.pl 39e0ebb5e6

GDDR2, GDDR3, GDDR4, GDDR5, GDDR5X, GDDR6 i GDDR6X.

HBM (High Bandwidth Memory) to standardowy interfejs dla układów pamięci SDRAM ułożonych w stos 3D. Pamięć HBM uległa standaryzacji pod koniec 2013 roku i była wykorzystywana w niektórych procesorach graficznych, a także w procesorach o dużej skali integracji, takich jak Intel Ponte Vecchio. Obecna wersja HBM2 stała się standardem na początku 2016 roku.

Wiele modułów DIMM miało funkcję korekcji błędów (ECC). Moduły pamięci z funkcją ECC mają wbudowany układ scalony, który wykrywa i koryguje błędy w pracy pamięci. Ten rodzaj pamięci znajduje zastosowanie w systemach o znaczeniu krytycznym i jest droższy niż zwykła pamięć o tej samej szybkości działania i pojemności. Ponadto czas dostępu do pamięci ECC jest zwykle dłuższy niż w przypadku pamięci bez funkcji ECC.

Od momentu wprowadzenia na rynek pamięci DDR5, wszystkie moduły mają wbudowaną funkcję ECC służącą do korekcji błędów. Obecnie jej realizacja nie wymaga stosowania oddzielnego układu scalonego.

Pamięć buforowana

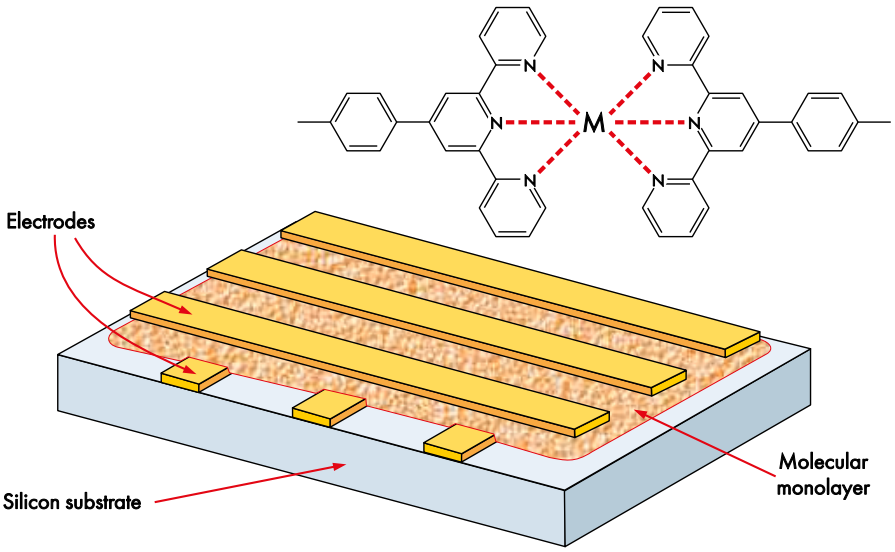
Pamięć buforowana jest przeznaczona do stosowania w serwerach i wysokiej klasy stacjach roboczych, tymczasem pamięć niebuforowana jest stosowana w zwykłych komputerach PC i niskiej klasy stacjach roboczych.

Pamięć niebuforowana nie zawiera rejestru adresowego, a kontroler ma bezpośredni dostęp do jej układów. Pamięć niebuforowana jest również znana pod nazwą pamięci konwencjonalnej lub nierejestrowanej.

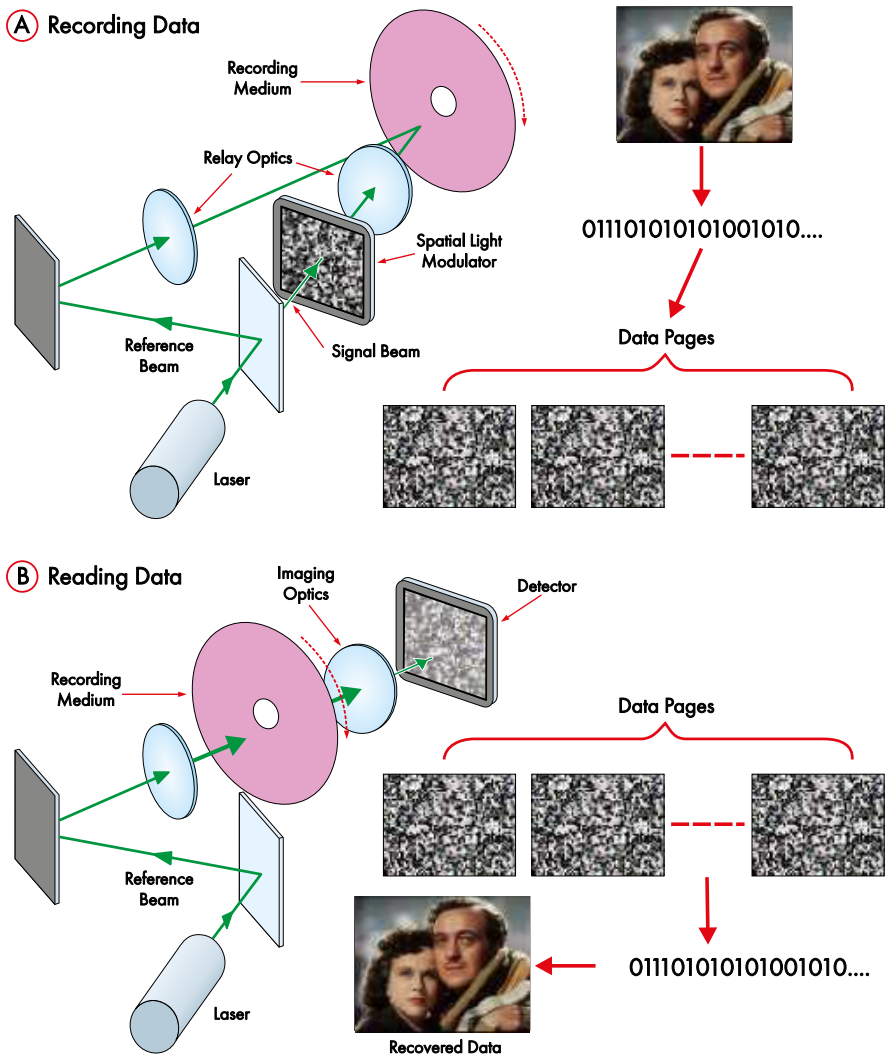
W przypadku pamięci buforowanej, między układami pamięci a kontrolerem systemowym jest umieszczony rejestr adresowy, co zmniejsza obciążenie kontrolera. Pamięć buforowana jest droższa i bardziej stabilna w działaniu niż pamięć niebuforowana,

Główną zaletą buforowanej pamięci DRAM jest brak bezpośredniego połączenia z procesorem. Dzięki temu długość ścieżek na płycie głównej komputera nie ma krytycznego znaczenia i można zastosować więcej gniazd dla pakietów DIMM. Ponadto pakiety mogą być umieszczone dalej od procesora.

Typowy komputer stacjonarny lub laptop, korzystający z niebuforowanych modułów DRAM ma zwykle dwa lub cztery gniazda do instalacji pakietów DIMM. Tymczasem płyty serwerowe mogą mieć 8, 16 lub więcej takich gniazd, dla stworzenia pamięci o bardzo dużej pojemności, mierzonej w TB. Buforowane pamięci RAM są zwykle wolniejsze i droższe od zwykłych, dlatego nie



Rysunek 13. Koncepcja pamięci molekularnej, przedstawiająca strukturę molekuł (u góry) i molekuły umieszczone pomiędzy magistralami adresowymi X i Y na podłożu z krzemu (u dołu). Źródło: www.researchgate.net/figure/Cell-structure-of-a-molecular-memory-device_fig20_265727614 (CC BY 4.0)



Rysunek 14. Sposób zapisywania i odczytu danych w pamięci holograficznej Źródło: https://slideplayer.com/slide/6143717/

eprasa.pl 39e0ebb5e6

Tabela 4. Porównanie różnych typów pamięci.

	SRAM	DRAM	Flash	MRAM	FeRAM	PRAM
Prędkość odczytu	najszybsza	średnia	szybka	szybka	szybka	wolna
Prędkość zapisu	najszybsza	średnia	wolna	szybka	średnia	bardzo wolna
Skalowalność	dobra	ograniczona	ograniczona	dobra	ograniczona	dobra
Gęstość komórek	niska	wysoka	średnia	średnia do wysokiej	średnia	wysoki
Nieulotne	nie	nie	tak	tak	tak	tak
Złożoność	niska	średnia	średnia	średnia	średnia	średnia
Wytrzymałość na zapis	nieskończona	nieskończona	ograniczona	nieskończona	ograniczona	ograniczona

Tabela 5. Pojemność pamięci operacyjnej we wczesnych komputerach

Komputer	Rok wprowadzenia na rynek	Procesor	Szerokość magistrali	Domyślna pamięć RAM	Maksymalna pamięć RAM
Zestaw EDUC-8 (EA, sierpień 1974 – sierpień 1975)	1974	Układy logiczne (seria 7400)	4	256 b	32 kB
Zestaw Altair 8800 (Popular Electronics, styczeń 1975)	1975	8080	16	1 kB	8 kB
Commodore PET	1976	6502	16	4 kB lub 8 kB	96 kB
Tandy TRS-80	1977	Z80	16	4 kB	48 kB
Apple][	1977	6502	16	4 kB	64 kB
Atari 400 i 800	1979	6502	16	4 kB lub 8 kB	
Sinclair ZX80	1980	Z80	16	1 kB	16 kB
IBM PC XT	1981	8088	20	16 kB	256 kB+
Commodore 64	1982	6510	16	64 kB	384 kB+
Apple Lisa	1983	68000	24	1 MB	2 MB
Amiga 1000	1985	68000	24	256 kB	8,5 MB

należy ich stosować, jeśli nie zachodzi wyraźna potrzeba stworzenia pamięci o bardzo dużej pojemności.

Przyszłe koncepcje rozwojowe

Omówione poniżej rozwiązania technologiczne nie wyszły poza fazę badań, jednak można się im przyjrzeć ze względu na przyszłe zastosowania:

Pamięć molekularna

W pamięci molekularnej dane są przechowywane jako jedna lub wiele odwracalnych konformacji struktury molekularnej cząsteczek chemicznych (**rysunek 13**).

Pamięć holograficzna

Pamięć holograficzna jest nowoczesnym nośnikiem danych, który może znaleźć zastosowanie w niedalekiej przyszłości. Dane są przechowywane w całej objętości układu, w postaci optycznego wzoru interferencyjnego. W tej samej objętości mogą być przechowywane różne zestawy danych, poprzez zapis i odczyt pod różnymi kątami.

Nośnikiem pamięci mogą być specjalne, światłoczułe kryształy lub grubowarstwowe, światłoczułe powłoki optyczne umieszczone na dyskach. W pamięci holograficznej wiele bitów może być odczytywanych jednocześnie, tymczasem w pamięci konwencjonalnej jest to niemożliwe.

Pamięć typu racetrack (tor wyścigowy)

Koncepcja pamięci typu racetrack była stworzona przez firmę IBM w 2008 roku. Pomysł polega na tym, że jednostki zawierające bity informacji, mające postać domen magnetycznych, krążą pod wpływem pola elektrycznego wzdłuż pętli (toru wyścigowego), wykonanej z drutu o szerokości 200 nm i grubości 100 nm. Tor przebiega przez urządzenie odczytujące i zapisujące (**rysunek 15**).

Konstrukcja pamięci typu racetrack przypomina pamięć bąbelkową opisaną powyżej, jednak jest od niej znacznie mniejsza.

Oczekuje się, że jeśli układy typu racetrack zostaną ostatecznie dopracowane, będą miały większą gęstość upakowania i będą szybsze niż pamięci flash. Mogą stanowić uniwersalne rozwiązanie, zastępujące dyski twarde, pakiety DRAM i pamięci flash, podobnie jak stało się z produktem 3D XPoint Optane firmy Intel.

Pamięć oparta na skyrmionach

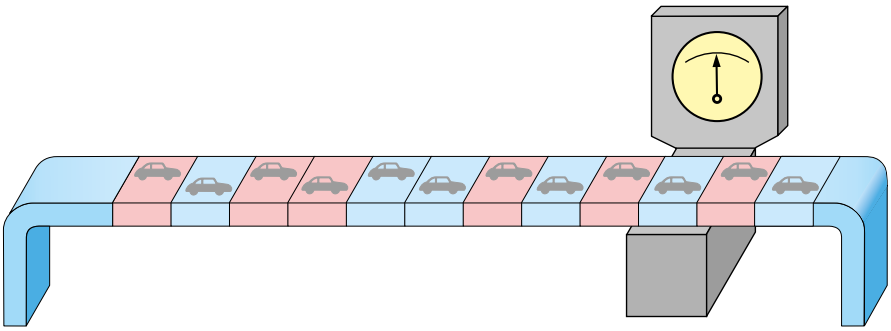
Skyrmiony można uznać za namagnesowane wiry przemieszczające się przez materiał magnetyczny. W trakcie ruchu zmieniają one orientację magnetyczną pojedynczych atomów. Rozważane jest ich użycie jako elementów pamięciowych w układach typu racetrack. To rozwiązanie stanowi powrót do koncepcji magnetycznej pamięci bąbelkowej.

Spin-Transfer Torque RAM

STT-RAM to koncepcja technologiczna, w której manipuluje się właściwościami nośników ładunku elektrycznego, takich jak spin w przypadku elektronów, w celu przechowywania informacji.

Magnetorezystancyjna pamięć RAM

Pamięć MRAM została opracowana w połowie lat osiemdziesiątych XX wieku i stała



Rysunek 15. Koncepcja konstrukcji pamięci typu racetrack. Bity danych w sposób ciągły przemieszczają się w pętli przechodzącej przez urządzenie odczytujące/zapisujące, pokazane na rysunku jako miernik. Źródło: www.nicepng.com/maxp/u2q8e6i1o0r5r5u2/

Rysunek 16. Komercyjna pamięć MRAM Everspin z interfejsem równoległym, w 32-pinowej obudowie SOIC. Jest dostępna z interfejsem 8- lub 16-bitowym, ma pojemność od 256 kb do 32 Mb i zachowuje dane przez ponad 20 lat

eprasa.pl 39e0ebb5e6

Filmy i linki związane z tą tematyką

Film o tworzeniu nowoczesnej pamięci z niklową linią opóźniającą, która zastępuje rtęciową linię opóźniającą, w replice komputera z 1949 roku. Film jest zatytułowany „EDSAC delay line storage – early computer memory" i znajduje się pod adresem https://youtu.be/9BA4AyvlKnM.

Komentarz na temat pomysłu Alana Turinga na wykorzystanie dżinu w jednostce pamięci z linią opóźniającą: https://siliconchip.au/link/abhy

Film szczegółowo opisujący działanie pamięci bąbelkowej, nosi tytuł „The SBC-85 1-Mbit Magnetic Bubble Memory board for the SBC 85 Single Board Computer" i jest dostępny pod adresem https://youtu.be/yOe-iNIZR0E.

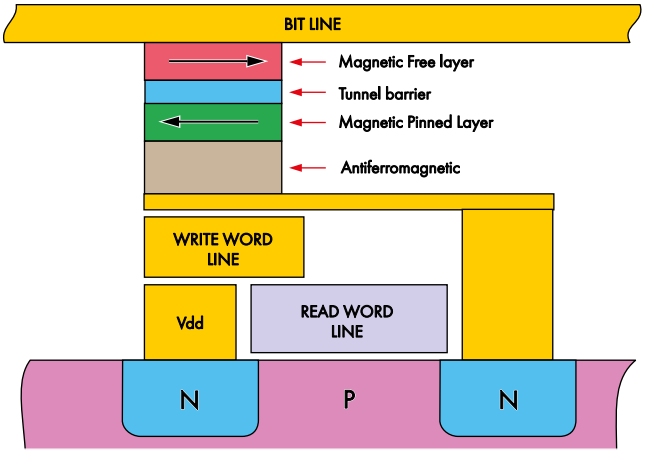
Film zatytułowany „Co to jest skyrmion?" dostępny na stronie https://youtu.be/3s3cmGjxPVc.

Pierwszy australijski, domowy komputer hobbystyczny, EDUC-8, został zaprojektowany przez Jima Rowe'a i opisany w Electronics Australia w 1974 roku. Bazował na dwóch statycznych układach pamięci RAM Fairchild 93415 o pojemności 1 kB oraz dyskretnych układach logicznych.

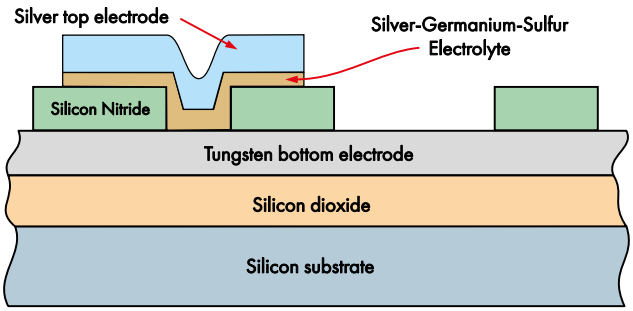
Nowoczesny emulator EDUC-8 zaprezentowany w filmie „Electronics Australia EDUC-8 Non-microprocessor Kit Computer ROMs" na stronie https://youtu.be/hhGDCakBNZs. Emulator realizuje zapis na taśmie papierowej lub kasecie. Szczegółowe informacje na temat tego emulatora można znaleźć na stronie www.teenix.org/educ8.html, a także na stronie www.sworld.com.au/steven/educ-8.

Pierwszy na świecie, masowo produkowany kalkulator elektroniczny IBM 604. Komunikował się z operatorem za pomocą kart perforowanych, a oryginalny model realizował program o maksymalnej liczbie kroków równej 40. Film na ten temat nosi tytuł „Uruchamianie komputera IBM 604, 1948" i jest dostępny na stronie https://youtu.be/n58bu4CMSb8.

Inny interesujący film, zatytułowany „Magnetyczna pamięć rdzeniowa sprzed 40 lat", znajduje się na stronie https://youtu.be/H98gfQJHZLU



Rysunek 17. Uproszczona wersja struktury komórki MRAM. Źródło: https://w.wiki/5zxT (GNU FDL)



Rysunek 18. Struktura komórki pamięci elektrochemicznej. Wzór chemiczny dwutlenku krzemu to SiO_2, a azotku krzemu to Si_3N_4

się produktem komercyjnym (**rysunek 16**). Obecnie zajmuje tylko niszową pozycję, gdyż swoimi parametrami nie przewyższa innych dostępnych produktów. Jest to pamięć nieulotna, której zalety nie zostały do końca wykorzystane. Jest nadzieja, że pewnego dnia stanie się pamięcią uniwersalną.

W pamięci MRAM bity informacji są przechowywane jako domeny magnetyczne (**rysunek 17**). Stosowane są dwie płytki magnetyczne, jedna jest magnesem trwałym (zielona) o ustalonej orientacji, a druga ma zmienną orientację (czerwona). Pomiędzy tymi płytkami znajduje się cienka warstwa izolacyjna (niebieska).

Aby ustalić określoną polaryzację magnetyczną w warstwie zmiennej i zapisać bit informacji, przez komórkę jest przepuszczany prąd elektryczny. Odbywa się to z użyciem tranzystora utworzonego w materiale podłoża. Aby odczytać zapisaną informację, przez komórkę jest ponownie przepuszczany prąd elektryczny. W wyniku zjawiska zwanego magnetorezystancją tunelową, przewodność komórki zmienia się, w zależności od orientacji magnetycznej warstwy zmiennej.

Rezystancyjna pamięć RRAM

Pamięć RRAM jest typem pamięci nieulotnej, wykorzystującej zjawisko zmiany rezystancji w materiale dielektrycznym, który w normalnych warunkach jest izolatorem. W dielektryku jest tworzona ścieżka przewodząca, co odbywa się z użyciem jonów tlenu i pustych obszarów w warstwie tlenków, analogicznych do elektronów i dziur w półprzewodniku. Te elementy przewodzące są czasami określane jako „memrystory".

Pamięć PMC

Pamięć PMC, znana również jako pamięć CBRAM lub RAM z mostkami przewodzącymi, opiera swoje działanie na reakcjach elektrochemicznych, prowadzących do utworzenia lub usunięcia metalowego mostka przewodzącego, powstającego między dwiema elektrodami (**rysunek 18**).

Pamięć PMC jest nieulotna, ma tę zaletę, że jest odporna na wpływ promieniowania kosmicznego i ma sto razy mniejsze zużycie energii w przeliczeniu na operację zapisu niż inne pamięci nieulotne, takie jak flash. ■

dr David Maddison

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

eprasa.pl 39e0ebb5e6

Wszczepialne chipy do identyfikacji i śledzenia zwierząt, część 1

Istotnym zagadnieniem jest skuteczne śledzenie i nadzorowanie istot żywych w miejscach odosobnienia, ogrodach zoologicznych, parkach i pomieszczeniach hodowlanych. W przypadku zwierząt, ze względu na ich dość jednolity wygląd nie zdaje tu egzaminu identyfikacja wizualna, czy to ludzkim okiem czy z użyciem przetwarzania obrazu i sztucznej inteligencji. Pojawia się potrzeba zastosowania systemu śledzenia opartego na wszczepialnych „chipach", ułatwiających identyfikację i przetwarzanie informacji, między innymi o stanie zdrowia, wieku, gatunku i pochodzeniu. System ten okazuje się nieoceniony w analizie informacji o zwierzętach opartej na IoT (Internet of Things; Internet rzeczy) i autonomicznym śledzeniu zwierząt w dużych parkach narodowych, lasach i ogrodach zoologicznych, pomagając między innymi w monitorowaniu siedlisk zagrożonych gatunków.

System wykorzystuje chipy działające w technice RFID 125 kHz, które można łatwo wszczepić do ciała człowieka lub zwierzęcia, a następnie odczytywać specjalizowanymi urządzeniami. Celem systemu jest śledzenie i rejestrowanie danych oraz przechowywanie ich na komputerze lub na serwerach w chmurze. Niezbędna jest możliwość automatycznego poszukiwania chipu na wypadek, gdyby jakieś zwierzę uciekło ze swojego pomieszczenia. Wymaga to zaprojektowania czytnika zdolnego wykrywać chipy RFID z dużej odległości.

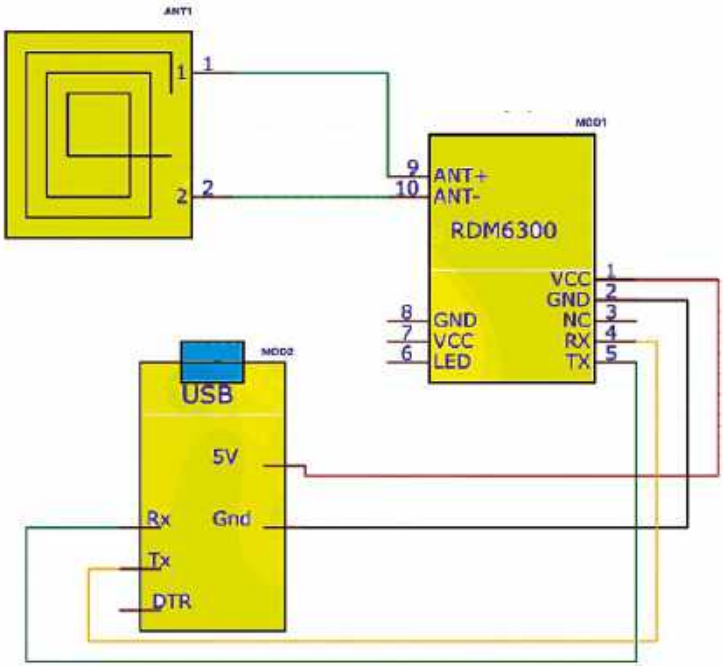
Na **rysunku 1** pokazano chip ulokowany wewnątrz ciała, widziany w prześwietleniu rentgenowskim.

Realizację projektu zaleca się rozpocząć od zebrania części wymienionych w tabeli Lista elementów.

Rysunek 1. Umiejscowienie chipa w ciele, widoczne w promieniach Rentgena

Układ i działanie

Schemat układu pokazano na **rysunku 2**. Układ składa się z szeregowego czytnika RFID 125 kHz typu RDM 6300 (MOD1), adaptera USB/UART z układem firmy FTDI (MOD2) do połączenia z Raspberry Pi Zero/4 oraz kilku innych elementów. Antena jest dostarczana w zestawie z czytnikiem RFID danego typu.



Rysunek 2. Schemat układu

Rysunek 3. Wszczepialny chip RFID

Rysunek 4. Strzykawka używana do wszczepiania chipów

eprasa.pl 39e0ebb5e6

```
Last login: Wed Aug 23 11:57:25 on console
ashwini@Ashwinis-MacBook-Air ~ % sudo pip3 install rdm6300
Password:
WARNING: The directory '/Users/ashwini/Library/Caches/pip' or its parent directory is not owned or is not writable by the current user. The cache has been disabled. Check the permissions and owner of th
ectory. If executing pip with sudo, you should use sudo's -H flag.
Collecting rdm6300
  Downloading rdm6300-0.1.1-py3-none-any.whl (7.2 kB)
Collecting pyserial (from rdm6300)
  Downloading pyserial-3.5-py2.py3-none-any.whl (90 kB)
     ━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━ 90.0/90.0 kB 1.5 MB/s eta 0:00:00
Installing collected packages: pyserial, rdm6300
Successfully installed pyserial-3.5 rdm6300-0.1.1
WARNING: Running pip as the 'root' user can result in broken permissions and conflicting behaviour with the system package manager. It is recommended to use a virtual environment instead: https://pip.p
arnings/venv
ashwini@Ashwinis-MacBook-Air ~ %
```

Rysunek 5. Instalowanie bibliotek Pythona

Nie wszystkie implanty mikrochipów zapewniają jednakowe możliwości śledzenia. W naszym przypadku do identyfikacji zwierząt i ludzi wykorzystujemy wszczepialne układy RFID pracujące na częstotliwości 125 kHz. Układy te są małe, ale zaawansowane. Działają jak cyfrowy odcisk palca, dostarczając istotnych danych na temat wieku, stanu zdrowia, gatunku czy pochodzenia.

RFIDread.py

```python
import rdm6300
import csv
import datetime

reader = rdm6300.Reader('/dev/cu.usbserial-1110')
csv_filename = 'rfid_data.csv'
csv_header = ['RFID', 'Name', 'Date', 'Time']

# Write the CSV header if the file doesn't exist
try:
    with open(csv_filename, 'x', newline='') as csvfile:
        csv_writer = csv.writer(csvfile)
        csv_writer.writerow(csv_header)
except FileExistsError:
    pass  # File already exists, no need to create header again

def find_rfid_data(rfid):
    with open(csv_filename, 'r', newline='') as csvfile:
        csv_reader = csv.reader(csvfile)
        for row in csv_reader:
            if rfid in column:
                return column
    return None

print("Please insert an RFID card")
```

Rysunek 6. Fragment programu

Lista elementów

Element	Liczba	Opis
Wszczepialna kapsułka RFID	1	Na częstotliwość 125 kHz
RDM 6300 z anteną	1	Szeregowy czytnik RFID 125 kHz
Raspberry Pi Zero/4	1	SBC
Przewód połączeniowy z gniazdami „goldpin”	10	Żeńsko-żeński
Zasilacz DC 5 V/2 A	1	Zasilanie systemu
Adapter USB FTDI	1	Do odczytu szeregowego

```python
            return column
    return None

print("Please insert an RFID card")

while True:
    card = reader.read()
    if card:
        rfid = card.value
        existing_data = find_rfid_data(rfid)

        if existing_data:
            name, date, time = existing_data[1:4]
            print("RFID {} already exists with name {} on {} at {}".format(rfid, name, date, t
        else:
            name = input("Enter a name for the RFID {}: ".format(rfid))
            date = datetime.datetime.now().strftime('%Y-%m-%d')
            time = datetime.datetime.now().strftime('%H:%M:%S')

            with open(csv_filename, 'a', newline='') as csvfile:
                csv_writer = csv.writer(csvfile)
                csv_writer.writerow([rfid, name, date, time])

            print("RFID {} saved with name {} on {} at {}".format(rfid, name, date, time))
```

Rysunek 7. Fragment pętli głównej programu

Odczyt i identyfikacja chipów są proste. Można użyć albo Raspberry Pi (RPI) albo laptopa z gniazdem USB i kompilatorem lub interpretatorem Pythona. Ta elastyczność pozwala korzystać z systemu w sposób najwygodniejszy dla użytkownika.

Rysunek 3 pokazuje chip RFID, a **rysunek 4** – strzykawkę używaną do wszczepiania.

Niezależnie od tego, w jakim celu używamy chipów, programowanie i korzystanie z systemu może przebiegać bez faktycznego wszczepiania. Można też wykorzystać zwierzęta doświadczalne, na przykład szczury czy ryby, należy jednak przed wszczepieniem chipu dokładnie zapoznać się z problematyką implantacji. Szczegółowe informacje można znaleźć w samouczkach wideo:
https://youtu.be/Gs0bVs8QuWE
https://youtu.be/zotc4sKyWRA

Oprogramowanie

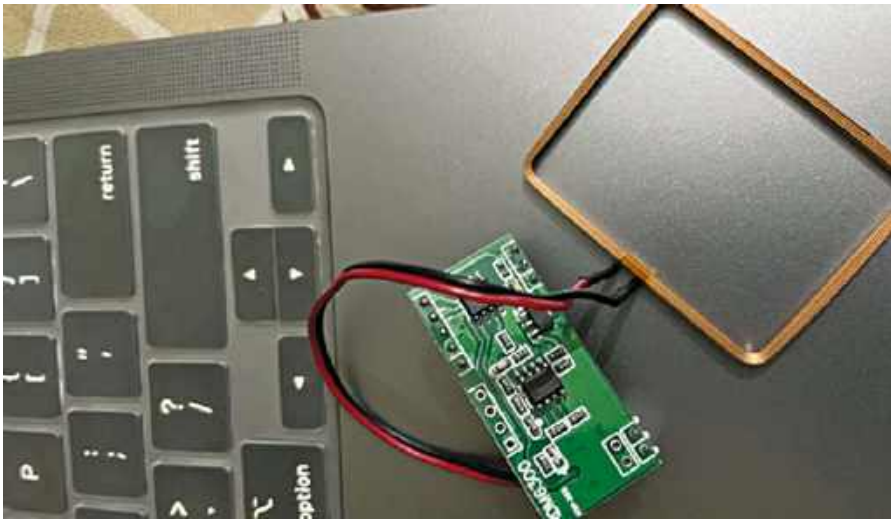
Po wszczepieniu chipa należy skonfigurować czytnik. Odczytuje on chip przez RFID, porównuje jego dane z zawartością bazą danych i, jeśli dane są nowe, prosi o przypisanie unikatowej nazwy. W celu uruchomienia tego procesu instalujemy niezbędne biblioteki następującymi poleceniami:

```
sudo pip3 install pyserial
sudo pip3 install rdm6300
```

Należy następnie opracować program, który zaimportuje wymaganą bibliotekę, ustawi nazwę portu szeregowego i przejrzy plik CSV lub arkusz kalkulacyjny w celu zlokalizowania numeru RFID. Odnalezienie zapisanej nazwy powiązanej z tym numerem ułatwi identyfikację zwierzęcia. Fragment programu pokazano na **rysunku 6**.

Dalszy krok to utworzenie pętli „while”, w której będzie się odbywać sprawdzanie chipów. Złoży się na to ciągłe monitorowanie urządzeń RFID, odczytywanie kodów wykrytych chipów, sprawdzanie zapisów w bazie danych, wyświetlanie nazwy zwierzęcia (o ile jest ona w bazie) ewentualne proszenie użytkownika o nadanie nazwy związanej z nowym chipem. Nowe nazwy i dane będą dopisywane do pliku CSV. **Rysunek 7** przedstawia fragment pętli.

eprasa.pl 39e0ebb5e6



Rysunek 8. Skaner chipów połączony z anteną

RFID	Name	Date	Time
23020061	Snake236 Cobra	2023-08-23	18:02:49
23020061	SNAKE 234 Cobra	2023-08-23	18:04:01
23020061	SNAKE 234 Cobra	2023-08-23	18:04:11

Rysunek 9. Nazwy identyfikacyjne zwierząt przechowywane w bazie danych

Konstrukcja i testowanie

Łączymy elementy zgodnie ze schematem z **rysunku 2**. Podłączamy adapter FTDI do czytnika RFID RDM6300 i łączymy adapter z laptopem. Uruchamiamy program napisany w Pythonie. W procesie skanowania zwierzęcia system wykonuje szereg czynności: odczytuje kod chipu przez RFID, sprawdza bazę danych, a jeśli jest to nowy układ RFID – prosi o nadanie nazwy i zapisuje ją w bazie. **Rysunek 8** przedstawia skaner chipów z dołączoną anteną, a na **rysunku 9** widzimy nazwy identyfikacyjne kilku zwierząt, przechowywane w bazie danych.

```
Please insert an RFID card
Enter a name for the RFID 23020061: SNAKE 234 Cobra
RFID 23020061 saved with name SNAKE 234 Cobra on 2023-08-23 at 18:04:01
Enter a name for the RFID 23020061: SNAKE 234 Cobra
RFID 23020061 saved with name SNAKE 234 Cobra on 2023-08-23 at 18:04:11
Enter a name for the RFID 23020061:
```

Rysunek 10. Komunikaty programu wykrywającego element RFID i proszącego o wprowadzenie unikatowej nazwy zwierzęcia

Rysunek 11. Chip używany w tym projekcie

Opisany system zapewnia skuteczne i kompleksowe śledzenie zwierząt w oparciu o technikę RFID. Komunikaty ekranowe towarzyszące wykryciu nowego urządzenia RFID i wprowadzaniu nazwy zwierzęcia przedstawia **rysunek 10**.

Uwaga od redakcji czasopisma „Electronics For You”:

Jest to pierwsza część serii artykułów na temat wszczepialnej elektroniki. Warto być na bieżąco z tematem i zapoznawać się z kolejnymi częściami, opisującymi śledzenie chipów z udziałem Internetu rzeczy (IoT), przechowywanie informacji wewnątrz ciała oraz śledzenie położenia chipu w czasie rzeczywistym. Dalsze części artykułu znajdziesz na łamach kolejnych wydań „Electronics For You”. ■

Ashwini Kumar

Materiał filmowy do artykułu:
https://youtu.be/SdJLrZ3Tw0U
https://youtu.be/Gs0bVs8QuWE

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

Ten artykuł był wcześniej opublikowany na łamach „EFY”, grudzień 2023 (efymag.com)

REKLAMA

eprasa.pl 39e0ebb5e6

System antykolizyjny do pojazdów, część 1

Samochody wyższej klasy są obecnie wyposażane w systemy automatycznego hamowania, wykrywania przeszkód i ostrzegania o zbliżaniu się do nich. Są to istotne elementy zaawansowanego systemu wspomagania kierowcy (ADAS). Elementy te wykorzystują czujniki zbliżeniowe, kamery i/lub systemy lidarowe. W niniejszym projekcie proponujemy zbudowanie prostego systemu antykolizyjnego opartego o lidar.

Przypis redaktora: LIDAR jest akronimem od ang. *Light Detection and Ranging* i oznacza metodę pomiaru odległości od obiektu poprzez wysłanie do niego impulsu światła laserowego i pomiar czasu, po którym przychodzi odbicie.

Rysunek 1 przedstawia lidar zamontowany na samochodzie oraz dane przez niego generowane, wykorzystywane do uruchomienia ostrzeżenia. Elementy wymagane do zbudowania urządzenia są wymienione w **tabeli 1**.

Można użyć dowolnego lidara generującego dane zgodne z językiem programowania Python i dla którego jest dostępny moduł programowania Python SDK. Może to być lidar RPi, YDLIDAR, Intel Real Sense lub Velodyne. Ceny lidarów dostępnych na rynku znacznie się różnią między sobą, podobnie jak ich zasięg wykrywania. Większość z nich wykorzystuje komunikację szeregową przez USB. W naszym projekcie wykorzystaliśmy YDLIDAR X2, ale można użyć dowolnego z lidarów wymienionych wyżej. Ważne jest jedynie, aby zapoznać się z kartą katalogową lidara (można ją znaleźć w Google) oraz modułu Python, którego będziemy używać.

Rysunek 1. System Lidar zamocowany na samochodzie oraz dane do alarmu

Tabela 1. Lista elementów

element	liczba	opis
lidar laserowy 360°	1	YDLIDAR X2
Raspberry Pi/ Nvidia Jetson	1	1 GB – 2 G
zasilacz 5V DC	1	5V/2A
kabel USB	2	USB-C na USB

Rysunek 2. YDLIDAR X2 (www.ydlidar.com)

W karcie katalogowej YDLIDAR X2 jest tabela, która mówi, że pole widzenia tego lidara wynosi 360°. Ten typ lidara może więc wykrywać obiekty z dowolnego kierunku. Ma on silnik obracający laser. Niektóre lidary zapewniają pokrycie tylko 250 lub 180°. Należy mieć to na uwadze, wybierając typ lidara.

Innymi ważnymi parametrami lidara są jego zasięg oraz warunki, w jakich

Tabela 2. Parametry lidara YDLIDAR X2

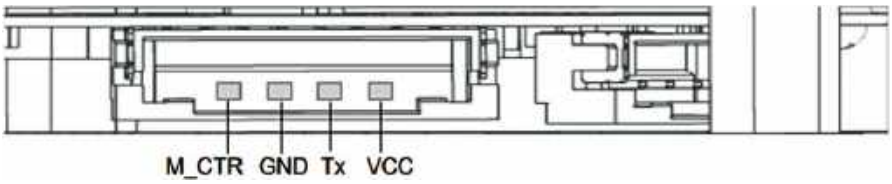
parametr	minimum	typowo	maksimum	jednostka	komentarz
częstotliwość pomiaru	–	3000	–	Hz	pomiar 3000 razy na sekundę
częstotliwość sterowania silnikiem	5	6	8	Hz	sygnał sterujący PWM, zalecana wartość: 6 Hz
zasięg	0,12	–	8	m	warunki wewnętrzne, współczynnik odbicia 80%
kąt widzenia	–	0...360	–	stopień	–
błąd bezwzględny pomiaru	–	2	–	cm	zakres ≤ 1 m
błąd względny pomiaru	–	3,5	–	%	zakres 1 m...6 m
kąt nachylenia	0,25	1	1,75	stopień	–
rozdzielczość pomiaru kąta	0,6 przy 5 Hz	0,72 przy 6 Hz	0,96 przy 8 Hz	stopień	dla różnych częstotliwości sterowania silnikiem
Uwaga: 80% jest standardową wartością współczynnika odbicia wg FQC (https://www.ydlidar.com/Public)					

eprasa.pl 39e0ebb5e6

CHART 6 YDLIDAR X2 LASER OPTICAL PARAMETERS

Item	Min	Typical	Max	Unit	Remarks
Laser wavelength	775	793	800	nm	Infrared band
FDA			Class I		

Rysunek 3. Kategoria YDLIDAR X2 wg FDA (źródło: karta katalogowa)

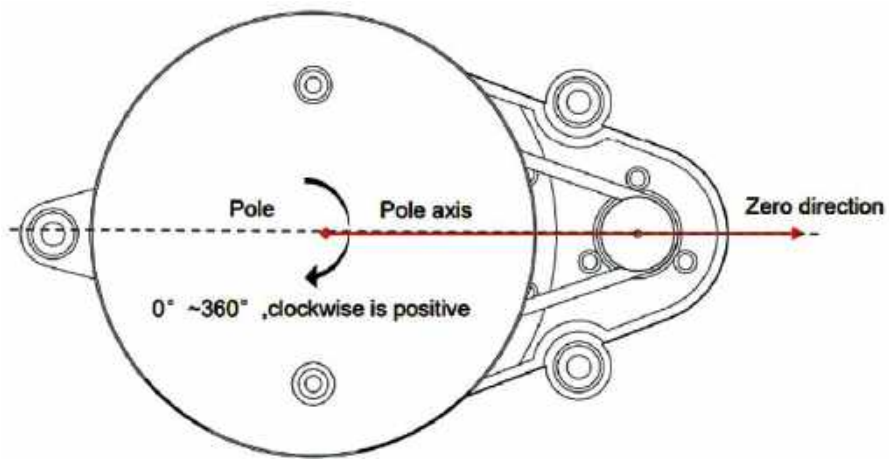


Rysunek 4. Wyprowadzenia lidara (źródło: karta katalogowa)

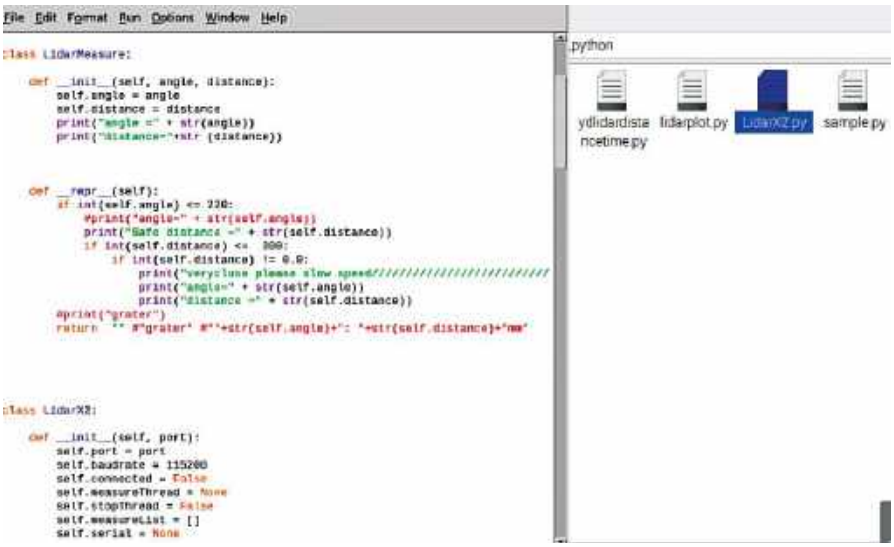
Rysunek 6. Montaż lidara na dachu samochodu

może pracować. Niektóre lidary wykorzystują do pracy laser podczerwony lub czerwony. Są takie, które wykorzystują efekt Dopplera. Jeszcze inne mogą stosować inną technikę. Musimy więc odpowiednio wybrać typ lidara, tak aby system dawał sobie radę nawet podczas mgły czy deszczu. W niniejszym projekcie wykorzystano lidar YDLIDAR X2, którego parametry są podane w **tabeli 2**, a zdjęcie przedstawiono na **rysunku 2**.

Trzecią rzeczą, na którą należy zwrócić uwagę przy wyborze lidara, są obowiązujące przepisy dotyczące zagrożenia dla zdrowia. Technika stosowana w lidarze może stwarzać zagrożenie dla zdrowia zwierząt, dzieci, a nawet dla stanu roślin. Zatwierdzone przez FDA parametry lidara YDLIDAR X2 pokazano na **rysunku 3**.



Rysunek 5. Kierunek kąta zerowego lidara (źródło: karta katalogowa)



Rysunek 7. Fragment programu oraz parametry dla lidara

Schemat połączeń

W tym projekcie nie ma ściśle określonego schematu ideowego. W zależności od użytego modelu lidara połączenia mogą się nieznacznie różnić. Większość lidarów laserowych o kącie 360° wykorzystuje komunikację szeregową, a do połączenia z systemem używa portu USB.

Jak widać na **rysunku 4**, złącze YDLIDAR X2 ma cztery piny. VCC i GND służą do podłączenia zasilania, TX do przesyłania danych. M_CTR to sygnał sterujący silnikiem. Jest sterowany z Raspberry Pi pinem używanym również do komunikacji USB. Wystarczy więc podłączyć lidar do płytki Raspberry Pi wtyczką USB.

Podczas montażu lidara należy mieć na uwadze wibracje, na jakie będzie narażony i zadbać o jego stabilne zamocowanie. Wyniki będą błędne, jeśli lidar będzie drgał zbyt mocno. Należy go zamontować na podkładce z gumy lub innego materiału pochłaniającego wstrząsy. Niemniej ważną rolę odgrywa kąt wykrywania. Ogólnie rzecz biorąc – jeśli zasięg lidara wynosi 245° lub 180°, mocujemy go tak, aby mógł widzieć to, co znajduje się przed i za pojazdem. Natomiast **rysunki 5** i **6** pokazują, jak montować lidar 360°.

Oprogramowanie

Na potrzeby tego projektu niezbędne jest użycie komputera jednopłytkowego NVIDIA Jetson RPi. Zainstaluj moduł Pythona, lidar SDK i biblioteki zgodne z używanym typem lidara. Jeśli używasz YDLIDAR X2, zainstaluj bibliotekę przeznaczoną konkretnie dla niego. Następnie zainstaluj biblioteki metaplot i numpy, niezbędne dla obliczeń matematycznych przeliczających dane z lidara na odległość i kąt.

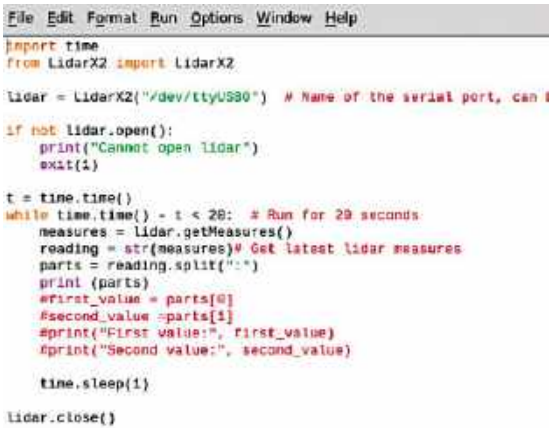
eprasa.pl 39e0ebb5e6

Aby zainstalować moduły Pythona, uruchom w terminalu następujące polecenia:

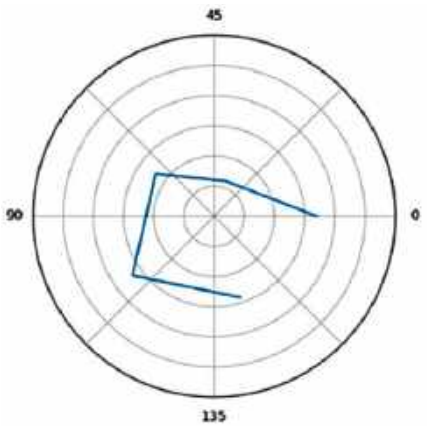
```
sudo pip3 install numpy
sudo pip3 install matplot
```

Następnie sklonuj bibliotekę YDLIDAR X2 zgodnie z https://github.com/nesnes/YDLidarX2.

Utwórz podprogram pobierania danych z lidara. Biblioteka lidar zawiera plik YDLIDAR.py, który należy otworzyć i sporządzić program do wysyłania i wyświetlania danych dotyczących kąta i odległości. Utwórz instrukcję warunkową „if", w której będą sprawdzane kąt i odległość od przeszkody. Aby utrzymać przód pojazdu w bezpiecznej odległości od przeszkody, użyj zakresu kąta około 245°. Aby utrzymać pojazd w bezpiecznej odległości od innych obiektów ze wszystkich stron, ustaw odpowiednią odległość zgodnie z własnymi wymaganiami. W bloku warunkowym „if" można wysterować wyjściowy pin GPIO, który będzie uruchamiał ostrzeżenie albo automatycznie włączy hamulec. Można też jedynie wypisać komunikat nakazujący spowolnienie jazdy. Rysunek 7 pokazuje odpowiedni fragment programu.



Rysunek 8. Ustawianie nazwy portu i szybkości transmisji



Rysunek 9. Lidar „mapujący" otoczenie

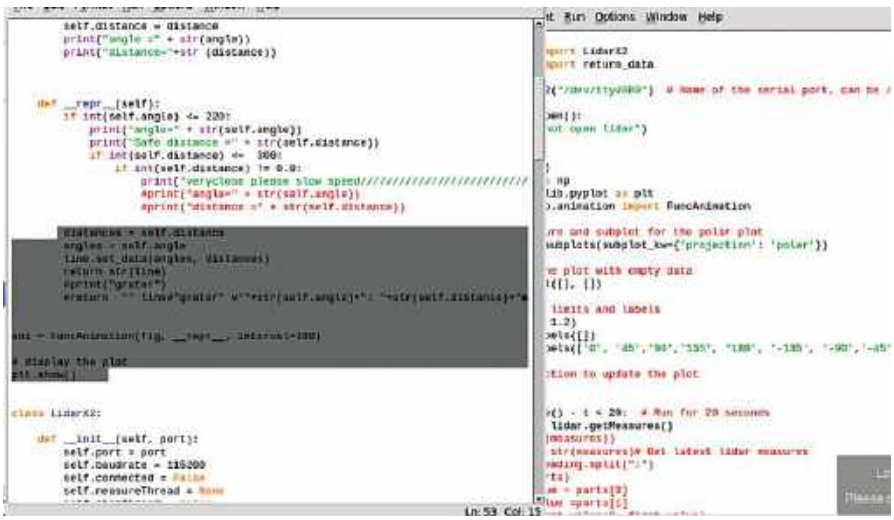
Na tym listingu pokazane są również parametry dla lidara. W programie głównym należy ustawić nazwę portu szeregowego i szybkość transmisji. Ustawiamy nazwę zgodnie z nazwą portu USB, do którego podłączamy YDLIDAR, a prędkość transmisji taką jak prędkość transmisji lidara. W prototypie autora prędkość ta wynosiła 115200 bodów. **Rysunek 8** przedstawia fragment programu ustawiający nazwę portu i szybkość transmisji.

Jeśli chcesz zobaczyć „mapę otoczenia" uchwyconego przez lidar, musisz dodać odpowiedni fragment programu. **Rysunek 9** pokazuje lidar „badający" otoczenie, a **rysunek 10** – program pozwalający uzyskać „mapę otoczenia" z danych lidara.

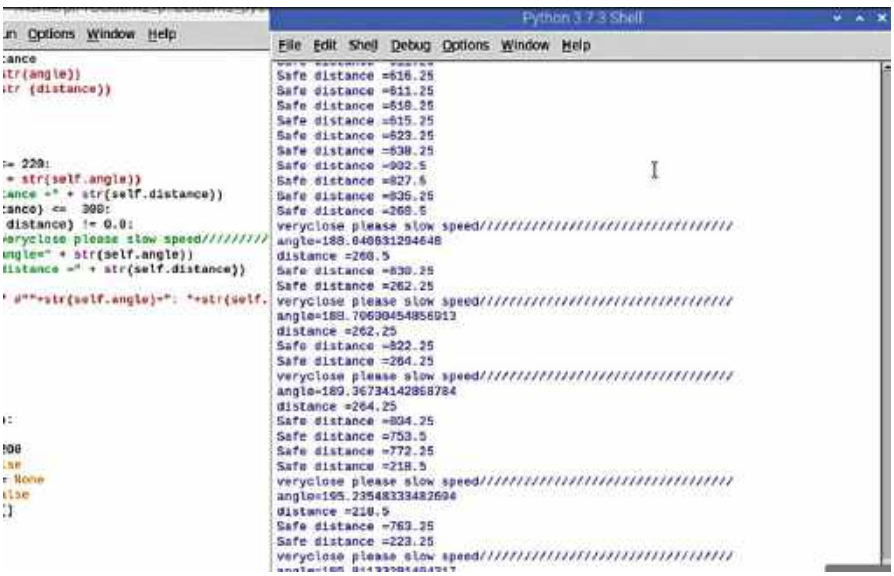
Testowanie systemu rozpoczynamy od załączenia zasilania lidara i Raspberry Pi, a następnie uruchamiamy program. System powinien ostrzegać, jeśli pojazd zbliży się do kogokolwiek lub czegokolwiek i trzeba będzie zachować ostrożność. Można uruchomić pozyskiwanie „mapy otoczenia". Dane testowe pokazano na **rysunku 11**.

Pierwsza część projektu jest gotowa. Dalsze kroki to zintegrowanie układu z systemem hamulcowym pojazdu lub robota, co zostanie omówione w drugiej części artykułu. ■

Ashwini Kumar Sinha



Rysunek 10. Program dla uzyskania „mapy otoczenia" z danych lidara



Rysunek 11. Dane testowe

Materiał filmowy do artykułu:
https://youtu.be/-RPaETPOoC8

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

Ten artykuł był wcześniej opublikowany na łamach „EFY", czerwiec 2023 (efymag.com)

eprasa.pl 39e0ebb5e6

ELEKTRONIKA dla wszystkich
nr 9/2025 (15)
JUNIOR

Oliwia – Młodzi Entuzjaści Elektroniki, Zagroda Cudów, Trójca

Z uwagi na trwające wakacje stacjonarne zajęcia Młodych Entuzjastów Elektroniki postanowiliśmy zorganizować w nieco odmiennej scenerii i w innym składzie. Odbywały się one wprawdzie nie w plenerze, bo spotkaliśmy się w budynku z kamienia i cegły, ale za to w przepięknej, pełnej niezwykłego klimatu sali, w której na co dzień mają miejsce równie ciekawe wydarzenia. Odwiedziliśmy naszych przyjaciół z Zagrody CUDów w miejscowości Trójca pod Zgorzelcem (https://tinyurl.com/ZagrodaCudow). To właśnie stąd zdamy relację z montażu kilku kolejnych gadżetów.

Oczywiście zajęcia z elektroniki były tylko jedną z naszych wakacyjnych atrakcji. Resztę czasu spędziliśmy na łonie przyrody, w otoczeniu zaprzyjaźnionych agroturystyk. Nie zabrakło spacerów z alpakami, przejażdżek konnych, długich wypraw z psami oraz wspólnego przygotowywania i wypiekania pizzy. Odwiedziliśmy także most staromiejski Zgorzelec–Görlitz, łączący Polskę i Niemcy. Był to fantastycznie spędzony czas, który będziemy jeszcze długo i miło wspominać.

Mając w pamięci list jednego z młodych Czytelników, trzeba jednak dodać, że choć wakacje to dla większości z nas czas beztroski i frajdy, nie każdemu udało się przebrnąć przez ubiegły rok szkolny bez szwanku. Ci wybrańcy zespołów pedagogicznych musieli popracować nieco w wakacje, indukując wiedzę trybem przyspieszonym w mózgowe zwoje. Choć lat mam na karku niemało, klimaty szkolne wciąż pamiętam i mogę się zgodzić, że dzierganie zadań – w zależności od przedmiotu czy działu – potrafiło zaskoczyć i zapędzić w kozi róg nawet najlepszych. Czasem człowiek nie wiedział, jak do takiego czy innego zadania podejść, jak zacząć i zamiast „jak po maśle" szło „jak po grudzie", a podejść do nauczyciela, nie wiedzieć czemu, nie zawsze miał śmiałość.

Dlatego, poczynając od bieżącego miesiąca (wrzesień jest na to idealny!), postanowiłem – opowiadając o wybranych juniorskich tematach – ubierać je w treść znaną ze szkolnych zadań. Baw się nimi, korzystaj, a jeśli Ci w czymś pomogą, będzie mi z tego powodu niezmiernie miło.

Wracając do bieżącego spotkania – pierwszym układem, którego budowę opiszemy, będzie samodzielnie zmontowane przez Oliwkę z Zagrody CUDów *Minipianino*.

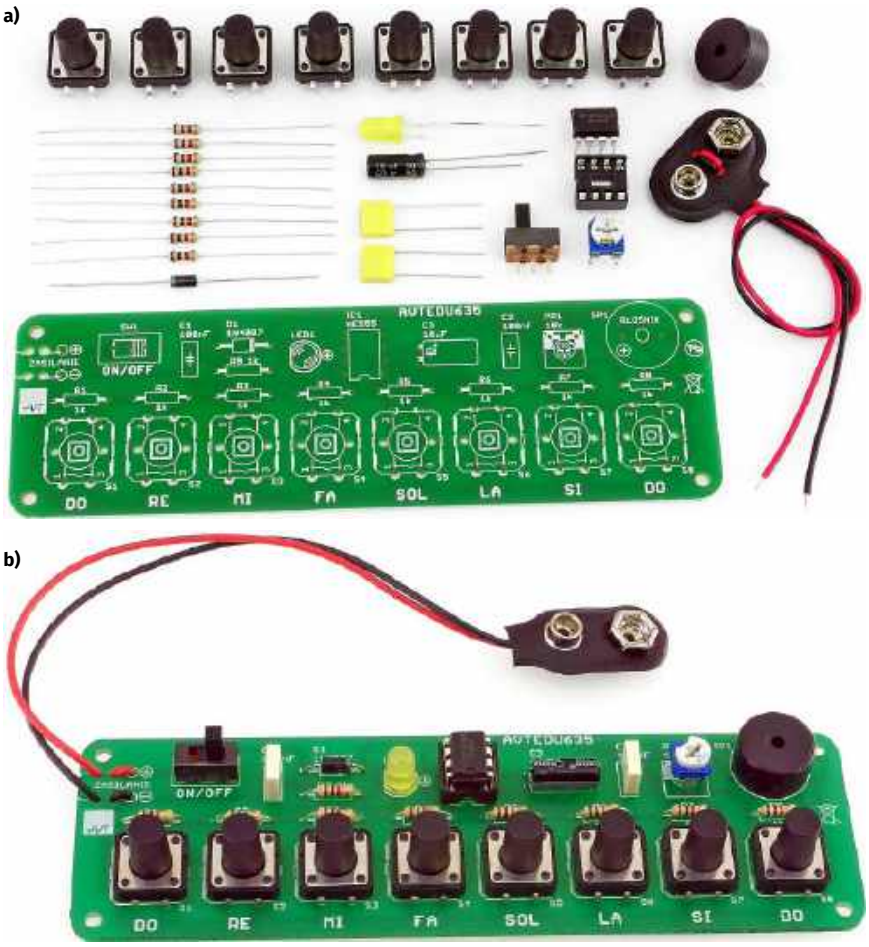
Omówienie układu

Bohaterem dzisiejszego spotkania jest zestaw do samodzielnego montażu o nazwie ***Minipianino*** i kodzie **AVTEDU635**. Jak nietrudno się domyślić, jest to bardzo prosty, a jednocześnie niezwykle wciągający instrument elektroniczny, który pozwala zagrać skalę dźwięków za pomocą ośmiu przycisków. Został on zaprojektowany z wykorzystaniem popularnych i łatwo dostępnych elementów: układu czasowego **NE555**, zestawu ośmiu przycisków, pasywnego buzzera piezoelektrycznego, kilku rezystorów i kondensatorów, potencjometru, diody prostowniczej oraz diody LED sygnalizującej obecność napięcia zasilania, a także włącznika i baterii podłączanej do układu za pomocą kabelka ze złączem typu kijanka.

Po podłączeniu zasilania i naciśnięciu jednego z przycisków układ generuje

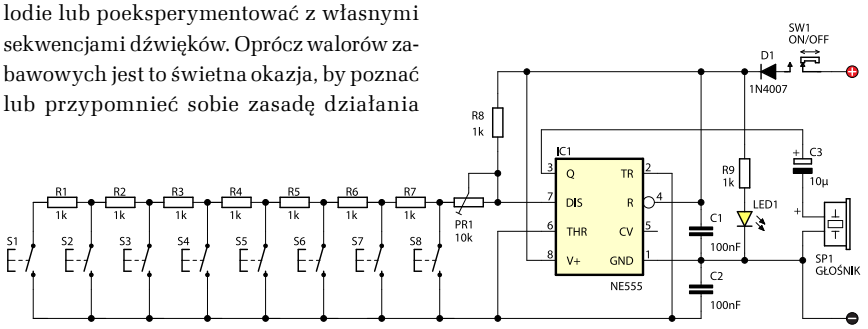
Fotografia 1. Od lewej: Oliwia, Natalia, Sebastian i Marcel podczas montażu zestawu *Minipianino* (AVTEDU635). Zajęcia Juniorów EdW odbyły się tym razem gościnnie w Zagrodzie CUDów w miejscowości Trójca pod Zgorzelcem

eprasa.pl 3[illegible]b5e6

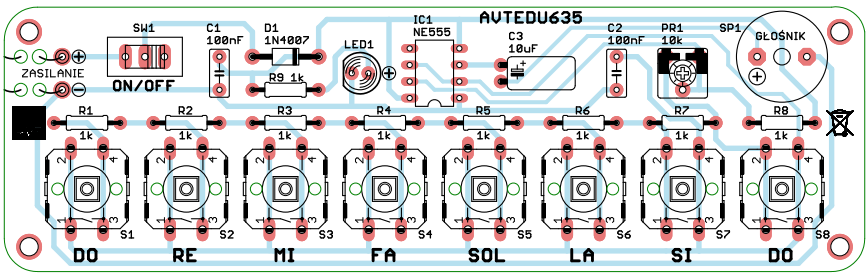


Fotografia 2. *Minipianino* (kod AVTEDU635): a) zestaw do samodzielnego montażu, b) zmontowany układ

ton odpowiadający w przybliżeniu jednej z ośmiu nut: DO, RE, MI, FA, SOL, LA, SI, DO. Dzięki temu można zagrać proste melodie lub poeksperymentować z własnymi sekwencjami dźwięków. Oprócz walorów zabawowych jest to świetna okazja, by poznać lub przypomnieć sobie zasadę działania popularnego układu NE555 w trybie astabilnym. Zestaw przed i po zmontowaniu pokazano na **fotografiach 2a** i **2b**.



Rysunek 1. Schemat ideowy układu



Rysunek 2. Schemat montażowy układu

Omówienie schematu

Sercem układu jest jeden z najbardziej rozpoznawalnych i cenionych przez elektroników układów scalonych – NE555 (IC1). W tym projekcie pracuje on jako generator sygnału prostokątnego, którego częstotliwość – a więc wysokość dźwięku – zależy od rezystancji w obwodzie ładowania i rozładowania kondensatora C2.

Do wyboru częstotliwości służą przyciski S1…S8, włączone w różne punkty łańcucha utworzonego przez rezystory R1…R7 (po 1 kΩ każdy) oraz potencjometr PR1. Naciśnięcie przycisku powoduje „skrócenie" tego łańcucha – do obwodu kondensatora C2 trafia wtedy tylko część rezystorów. Zmiana całkowitej rezystancji bezpośrednio wpływa na częstotliwość pracy NE555, a więc i na wysokość generowanego tonu.

Punkty w szeregu dobrano tak, aby częstotliwości odpowiadały – w przybliżeniu – kolejnym dźwiękom gamy muzycznej. Dokładniejsze omówienie pracy generatora znajdziesz w dalszej części tego artykułu.

Mam jednak dla Ciebie **dobrą wiadomość – a nawet dwie. Pierwsza:** jeśli uznasz, że opis działania generatora jest zbyt skomplikowany, możesz śmiało pominąć ten fragment. Jeśli chcesz po prostu złożyć *Minipianino*, możesz nawet zrezygnować z całego wstępu teoretycznego i od razu przejść do sekcji opisującej montaż kolejnych komponentów na płytce. Jeśli wykonasz poprawnie wszystkie opisane tam kroki, układ na pewno zadziała. **Druga:** jeśli zdecydujesz się jednak na lekturę części teoretycznej, istnieje spora szansa, że zdobędziesz wiedzę, którą wykorzystasz w samodzielnie projektowanych układach elektronicznych, a także świadomie uruchomisz je – na przykład na uniwersalnych płytkach stykowych, z samodzielnie dobranych komponentów. Brzmi kusząco? Owszem. Ale zdecydowanie nie jest to obowiązkowe!

Schemat ideowy *Minipianina* przedstawiono na **rysunku 1**, natomiast na **rysunku 2** znajduje się jego schemat montażowy. Ułatwia on nie tylko odnalezienie poszczególnych elementów na płytce drukowanej, ale także pozwala szybko sprawdzić poprawność wykonanych połączeń – szczególnie wtedy, gdy pojawia się wątpliwość, czy dwa znajdujące się blisko siebie pady lub ścieżki powinny być ze sobą połączone, czy też pozostać elektrycznie odseparowane.

Włącznik zasilania

Prąd z dodatniego bieguna baterii podawany jest za pomocą przylutowanego do płytki przewodu w kolorze czerwonym. Przewód

eprasa.pl 39e0ebb5e6

ten przylutowany jest do padu lutowniczego na płytce, łączącego się – za pomocą miedzianej ścieżki – z jednym ze skrajnych wyprowadzeń **włącznika** oznaczonego na schemacie i płytce za pomocą desygnatora **SW1**. Włącznik ten umożliwia włączenie lub odłączenie zasilania całego układu, dzięki czemu możemy decydować, kiedy układ pobiera prąd z baterii – a ta ma przecież ograniczoną pojemność i zapewnia tylko określony czas pracy. W prostych, budżetowych zestawach konstruktorzy często rezygnują z montażu włącznika, aby obniżyć koszty produkcji. Wtedy użytkownik musi po zakończonej zabawie samodzielnie przerwać obwód, np. wyjmując jedną z baterii z koszyczka. Choć daje to podobny efekt elektryczny (brak zamkniętej ścieżki przepływu prądu), to jednak szybkie przesunięcie dźwigni włącznika jest znacznie wygodniejsze i mniej naraża elementy na mechaniczne zużycie.

Zadanie:

Elektroniczne *Minipianino* po załączeniu przycisku SW1 pobiera z baterii w sposób ciągły prąd o natężeniu 8,5 mA , a po naciśnięciu dowolnego z klawiszy zaczyna emitować dźwięk i pobór prądu wzrasta do 13,2 mA. Zastosowano baterię typu 6F22 o napięciu nominalnym 9 V i pojemności 400 mAh.

Oblicz po jakim czasie bateria rozładuje się, gdy:

a. przełącznik SW1 jest załączony, przyciski muzyczne pozostają zwolnione (brak emisji dźwięku),

b. przełącznik SW1 załączony i przyciśnięty przycisk muzyczny (emisja dźwięku),

c. przełącznik SW1 jest wyłączony.

Obliczenia:

Być może pamiętasz z lekcji fizyki, że ładunek elektryczny Q wyraża się wzorem:

$$Q = I \cdot t$$

gdzie

Q – ładunek [C] (kulomb),

I – prąd [A] (amper),

t – czas [s] (sekunda).

Chcesz obliczyć czas, więc przekształcasz wzór:

$$t = \frac{Q}{I}$$

Pojemność baterii podano w miliamperogodzinach (mAh), więc trzeba to zamienić na kulomby.

Ale jak tego dokonać?

Wystarczy przyjrzeć się wzorowi na ładunek:

$$Q = I \cdot t$$

A w szczególności jednostkom:

$$1C = 1A \cdot 1s$$

Iloczyn ampera z sekundą daje nam zatem kulomba.

Z kolei amperogodzinę daje nam iloczyn ampera z godziną:

$$1Ah = 1A \cdot 1h$$

Tym samym zamieniając wielkość czasu z godzin na minuty, z wartości ładunku zgromadzonego w baterii wyrażonej w amperogodzinach uzyskasz wartość ładunku zgromadzonego w baterii wyrażoną w kulombach:

$$Q_{bat} = 400mAh$$
$$Q_{bat} = 0,4Ah$$
$$Q_{bat} = 0,4A \cdot 1h$$
$$Q_{bat} = 0,4A \cdot 3600s$$
$$Q_{bat} = 1440C$$

Teraz już wystarczy odpowiednie dane wprowadzić do wzoru na czas, operującego na ładunku wyrażonym w kulombach, pamiętając, że do wzorów podstawiamy zawsze wartości w jednostkach podstawowych, a 8,5 mA to inaczej 0,0085 A:

$$t_{przyspoczynku} = \frac{Q}{I_{spoczynkowy}} = \frac{1440C}{0{,}0085A} \approx 169411s$$

Wiedząc, że 1 h=3600 s, można obliczyć wartość w godzinach:

$$t_{przyspoczynku} = \frac{169411}{3600} \approx 47,05h$$

Analogicznie obliczysz czas pracy na baterii, gdy naciśnięty jest jakiś przycisk dźwiękowy:

$$t_{przyemisji} = \frac{Q}{I_{przyemisji}} = \frac{1440C}{0{,}0132A} \approx 109091s$$

Wartość w godzinach:

$$t_{przyemisji} = \frac{109091}{3600} = 30,3h$$

Gdy przełącznik SW1 jest wyłączony, obwód jest przerwany i **prąd w ogóle nie płynie przez układ**. W takim stanie wzór

$$t = \frac{Q}{I}$$

nie ma zastosowania, bo wstawienie prowadziłoby do dzielenia przez zero.

Czy to znaczy, że bateria będzie „wieczna”?

Niestety nie. Każde ogniwo chemiczne ulega z czasem **samorozładowaniu** – nawet wtedy, gdy jest odłączone od jakiegokolwiek odbiornika. Wewnątrz zachodzą powolne reakcje chemiczne, które stopniowo zużywają zgromadzony ładunek.

Dla baterii typu **6F22** (cynkowo-węglowej) typowe samorozładowanie wynosi około **10% pojemności w ciągu roku** w temperaturze pokojowej. Oznacza to, że po około **3…4 latach przechowywania** bateria może być już na tyle rozładowana, że nie będzie nadawała się do zasilania układu – nawet jeśli nigdy jej nie używaliśmy.

Dlatego producenci umieszczają na opakowaniu **datę przydatności do użycia** (zwykle 2…5 lat od daty produkcji). To praktyczny termin, po którym napięcie spoczynkowe może być zbyt niskie, aby bateria mogła poprawnie zasilać urządzenia wymagające pełnych 9 V. Warto zaznaczyć, że *Minipianino* może działać przy napięciu dużo niższym niż 9 V, więc jest szansa, że bateria będzie użyteczna nawet po upływie tych kilku lat.

Odpowiedzi:

a. Gdy przełącznik SW1 jest załączony a przyciski dźwiękowe pozostają zwolnione (brak emisji dźwięku) bateria rozładuje się po upływie 47,05 godzin.

b. Gdy przełącznik SW1 załączony i przyciśnięty przycisk dźwiękowy (emisja dźwięku jest aktywna) bateria rozładuje się po upływie 30,3 godzin.

c. Gdy przełącznik SW1 jest wyłączony bateria zachowa użyteczność przez okres około 2…4 lat, a nawet dłużej.

Zabezpieczenie przed odwrotną polaryzacją

Za włącznikiem SW1 znajduje się **dioda prostownicza D1** (1N4007) włączona szeregowo. Jej zadaniem jest ochrona układu przed błędnym podłączeniem zasilania. Jeśli przez pomyłkę podłączysz baterię na odwrót, dioda D1 zablokuje przepływ prądu, zapobiegając uszkodzeniu układu scalonego NE555. Dioda 1N4007 powoduje spadek napięcia około 0,6…0,7 V, co oznacza, że napięcie

eprasa.pl 39e0ebb5e6

mierzone względem ujemnego bieguna baterii za diodą D1 będzie około 0,6…0,7 V niższe niż to zmierzone przed nią. W tym prostym układzie nie stanowi to problemu – instrument działa poprawnie nawet przy sporo niższym napięciu zasilania.

Filtracja zasilania

Kondensator C1 służy tu do filtracji napięcia zasilającego. Odsprzęga on, czyli filtruje szumy i wysokoczęstotliwościowe zakłócenia w zasilaniu NE555, które mogłyby powodować niepożądane zmiany częstotliwości generatora lub jego pojedyncze losowe przełączenia. Warto pamiętać, że zakłócenia mogą pochodzić nie tylko z zewnątrz – źródłem impulsów zakłócających są także zastosowane w urządzeniu układy scalone, zwłaszcza podczas szybkiego przełączania stanów logicznych.

Sygnalizacja obecności zasilania

Za diodą prostowniczą prąd rozgałęzia się. Jedna z dróg prądu wiedzie przez rezystor R9 oraz diodę LED1 a następnie wraca do ujemnego bieguna baterii. Prąd w tej gałęzi płynie więc natychmiast po ustawieniu przełącznika SW1 w pozycję „ON", niezależnie od tego, co dzieje się w dalszej części układu. Tym samym dioda wskazuje obecność napięcia zasilającego w układzie.

Zadanie:

Policz, jaki prąd popłynie przez diodę LED1 z szeregowo połączonym rezystorem R9 o wartości 1 kΩ, przyjmując, że gałąź ta zasilana jest z baterii o napięciu nominalnym 9 V za pośrednictwem szeregowo włączonej diody prostowniczej o spadku napięcia 0,7 V. Załóż, że całkowity prąd z baterii płynie w gałęzi z diodą LED, a spadek napięcia na zastosowanej żółtej diodzie LED wynosi 2 V. Pozostałe gałęzi zaniedbaj (układ NE555 wyciągnięty z podstawki).

Obliczenia:

Pierwsze Prawo Kirchhoffa (prawo węzłów) mówi o tym, że **suma prądów wpływających do węzła sieci jest równa sumie prądów z niego wypływających**. W przypadku gałęzi z szeregowo połączonymi elementami węzły są tylko na jej końcach, więc prąd w każdym elemencie musi być taki sam. W obwodzie o połączeniu szeregowym ten sam prąd przepływa kolejno przez wszystkie elementy gałęzi, ponieważ nie ma się, gdzie „rozgałęzić".

Skoro prąd płynący przez wszystkie elementy w gałęzi jest taki sam, wystarczyłoby – korzystając z Prawa Ohma – policzyć, jaki prąd płynie przez rezystor o wartości 1 kΩ.

Prawo Ohma mówi o tym, że **natężenie prądu płynącego przez przewodnik jest wprost proporcjonalne do napięcia przyłożonego do jego końców i odwrotnie proporcjonalne do oporu tego przewodnika**.

$$I = \frac{U}{R}$$

Chcąc policzyć prąd płynący przez rezystor posłużymy się wzorem:

$$I_{R9} = \frac{U_{R9}}{R9}$$

Problem tylko taki, że choć znamy napięcie baterii:

$$U_{bat} = 9V$$

to nie znamy napięcia U_{R9}, jakie odłoży się na rezystorze R9. Tu z pomocą przychodzi drugie prawo Kirchhoffa.

Drugie Prawo Kirchhoffa (prawo oczek) mówi o tym, że **suma przyrostów i spadków napięć w zamkniętym oczku obwodu jest równa zeru**.

Oznacza to, że w oczku złożonym z szeregowo połączonych ze sobą elementów oraz baterii, przyrost napięcia (napięcie nominalne baterii 9 V) musi być równy sumie spadków napięć na wszystkich elementach podłączonych do baterii. Znając z treści zadania spadek napięcia na diodzie LED (2 V) oraz spadek napięcia na diodzie prostowniczej (0,7 V) możemy obliczyć spadek napięcia na rezystorze:

$$U_{bat} - U_{D1} - U_{R9} - U_{LED1} = 0$$

Porządkujemy równanie, niewiadome ustawiając po lewej stronie równania, a wiadome po prawej i obliczamy:

$$-U_{R9} = -U_{bat} + U_{D1} + U_{LED1}$$
$$U_{R9} = U_{bat} - U_{D1} - U_{LED1}$$
$$U_{R9} = 9V - 0,7V - 2V$$
$$U_{R9} = 6,3V$$

Mając już wszystkie niezbędne wartości, podstawiamy je do wzoru na Prawo Ohma i obliczamy wartość prądu płynącego przez rezystor R9, a tym samym wartość prądu płynącego przez każdy element w gałęzi, w tym przez diodę LED1:

$$I_{R9} = I_{D1} = I_{LED1} = \frac{U_{R9}}{R9}$$

$$I_{R9} = I_{D1} = I_{LED1} = \frac{6,3V}{1k\Omega}$$
$$= \frac{6,3V}{1000\Omega} = 0,0063A = 6,3mA$$

Odpowiedź: Przez diodę LED1 popłynie prąd o wartości 6,3 mA.

Separacja składowej stałej

Kondensator C3 (10 μF) znajduje się w torze sygnałowym pomiędzy wyjściem układu NE555 (pin 3) a buzzerem pasywnym SP1. Jest włączony szeregowo z buzzerem, a jego drugi koniec jest połączony z „plusem" przetwornika, którego „minus" jest dołączony do masy.

Kondensator C3 pełni tu rolę **kondensatora separującego**, nazywanego też **kondensatorem sprzęgającym** (ang. *coupling capacitor*). Na wyjściu NE555, oprócz sygnału zmiennego (dźwięku), występuje także **składowa stała** – napięcie równe mniej więcej połowie napięcia zasilania. Gdyby buzzer był podłączony bezpośrednio, dostawałby nie tylko sygnał dźwiękowy, ale też to napięcie stałe, co powodowałoby trwałe utrzymywanie ładunku elektrycznego w materiale piezoelektrycznym i długotrwałe naprężenie mechaniczne membrany.

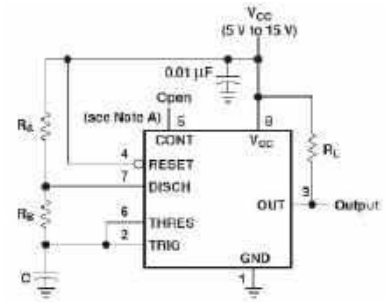
Kondensator C3 „odcina" składową stałą, przepuszczając jedynie zmienny sygnał elektryczny odpowiedzialny za wytwarzanie dźwięku. Dzięki temu membrana piezoelektryczna pozostaje w położeniu neutralnym, a jej drgania wynikają wyłącznie z przebiegu akustycznego generowanego przez układ.

Wartość kondensatora C3 (10 μF) dobrano tak, aby dobrze przepuszczał dźwięki wytwarzane przez układ. Kondensator działa trochę jak bramka – łatwiej przepuszcza sygnały, które szybko się zmieniają (wysokie tony), a słabiej te, które zmieniają się powoli (bardzo niskie tony). W elektronice istnieje prosty wzór, który pozwala obliczyć, od jakiej częstotliwości kondensator zaczyna dobrze przewodzić sygnał – uwzględnia on pojemność kondensatora oraz opór elementu, do którego jest on podłączony (w tym przypadku impedancję buzzera). Gdyby pojemność była dużo mniejsza, kondensator „odcinałby" więcej niskich tonów i dźwięk stałby się „cienki". Z kolei większa pojemność poprawiłaby przenoszenie niskich tonów, ale w tym projekcie nie jest to potrzebne, bo buzzer piezoelektryczny najlepiej działa w zakresie średnich i wyższych tonów, jakie generuje NE555.

Generator astabilny

Na pierwszy rzut oka schemat *Minipianina* wydaje się banalnie prosty – kilka rezystorów, kondensator, scalak i już. Jednak to, co dzieje się w środku tej niewielkiej, ośmionóżkowej kostki, dla niewtajemniczonych może pozostać zagadką. Sama nazwa układu nie zdradza jeszcze, jak dokładnie kształtuje się sygnał na wyjściu. Tu z pomocą przychodzi coś w rodzaju „instrukcji obsługi" dla elektronika – nota katalogowa. To właśnie w niej producenci zamieszczają nie tylko dane techniczne, ale też przykładowe

eprasa.pl 39e0ebb5e6



Rysunek 3. Przedruk rysunku 6-5 z noty katalogowej TI – konfiguracja układu dla pracy astabilnej. Źródło: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ne555.pdf

schematy i wzory, dzięki którym można zrozumieć, co tak naprawdę dzieje się w układzie. Dla popularnego NE555 wystarczy zajrzeć do dokumentacji Texas Instruments (https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ne555.pdf) i odszukać rysunek 6-5 na stronie 12. Od razu widać, że jeden z pokazanych tam przykładów bardzo przypomina fragment naszego projektu. Przedruk tego rysunku dostępny jest poniżej (**rysunek 3**).

Już sama nazwa sekcji noty katalogowej, w której odnaleźliśmy aplikację układu NE555 – dokładnie pokrywająca się z aplikacją zastosowaną na schemacie *Minipianina* – zdradza, jaką rolę odgrywa w układzie *Minipianin*a element NE555. Pełni on tutaj rolę generatora astabilnego.

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

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

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

Porównując schemat *Minipianina* z notą aplikacyjną generatora astabilnego najważniejsze jest to, aby dostrzec, że:

- R_A w nocie katalogowej, to odpowiednik **R8** w układzie *Minipianina*.
- R_B w nocie katalogowej, to odpowiednik rezystancji utworzonej przez szeregowo połączone **R1…R7+PR1** w układzie *Minipianina*.
- C w nocie katalogowej, to odpowiednik **C2** w układzie *Minipianina*.

Ze schematu z rysunku 1 wynika, że generowane na wyjściu 3 (Q) układu IC1 częstotliwości będą podawane za pośrednictwem kondensatora C3 na pasywny buzzer piezo. Ale jakie to będą w rzeczywistości przebiegi?

Aby się o tym przekonać zobaczmy, co będzie się działo na wyjściu Q gdy na Minipianinie zostanie naciśnięty przycisk podpisany jako „DO". Dla prostoty przyjmijmy, że potencjometr PR1 jest ustawiony na wartość 0 Ω (skręcony całkowicie w prawo).

Przycisk „DO" to tak naprawdę przycisk S1. Jego naciśnięcie spowoduje, że rezystancja odpowiadająca na rysunku 3 oznaczeniu R_B wyniesie:

$$R_B = R1 + R2 + R3 + R4 + \\ + R5 + R6 + R7 + PR1 = \\ 7 \cdot 1k\Omega + 0\Omega = 7k\Omega = 7000\Omega$$

Rezystancja to w układzie Minipianina rezystor R8, zatem

$$R_A = 1k\Omega = 1000\Omega$$

Pojemność to w układzie Minipianina wartość kondensatora C2, zatem

$$C = 100nF = 0,0000001F$$

Pierwszy wzór pozwala wyliczyć czas trwania stanu wysokiego:

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

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

$$t_H \cong 0,693 \cdot (1000\Omega + 7000\Omega) \\ \cdot 0,0000001F$$

$$t_H \cong 0{,}693 \cdot 8000\Omega \cdot 0,0000001F$$

$$t_H \cong 0{,}693 \cdot 8\Omega \cdot 0,0001F$$

$$t_H \cong 5{,}544\Omega \cdot 0,0001F$$

$$t_H \cong 0,000544s = 0,5544ms$$

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

Om (Ω) to jednostka oporu:

$$R = \frac{U}{I} \rightarrow 1\Omega = \frac{1V}{1A}$$

(prawo Ohma)

Farad (F) to jednostka pojemności elektrycznej:

$$C = \frac{Q}{U} \rightarrow 1F = \frac{1C}{1V}$$

Culomb (C) to jednostka ładunku elektrycznego:

$$Q = I \cdot t \rightarrow 1C = 1A \cdot 1s$$

Można więc napisać, że:

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{I \cdot t}{U}$$

$$\rightarrow 1F = \frac{1C}{1V} = \frac{1A \cdot 1s}{1V}$$

Teraz, gdy pomnożymy jednostki i otrzymamy właśnie sekundę:

$$\Omega \cdot F = \frac{\cancel{V}}{\cancel{A}} \cdot \frac{\cancel{A} \cdot s}{\cancel{V}} = s$$

I wszystko się zgadza!

No dobrze, wiemy już, że w generowanym przez NE555 sygnale napięcie bliskie napięciu zasilania będzie trwało około . Zerknijmy więc na kolejny wzór w nocie katalogowej, który służy do wyznaczenia czasu trwania stanu niskiego w generowanym sygnale:

$$t_L \cong 0{,}693 \cdot R_B \cdot C$$

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

$$t_L \cong 0{,}693 \cdot 7000\Omega \cdot 0,0000001F$$

$$t_L \cong 4{,}851\Omega \cdot 0,0001F$$

$$t_L \cong 0,0004851s$$

$$t_L \cong 0,4851ms$$

Znając czasy trwania stanu wysokiego ($t_H \cong 0,5544ms$) oraz niskiego ($t_L \cong 0,4851ms$) nie trzeba już nawet sięgać po kolejny wzór z noty katalogowej, by policzyć okres generowanego sygnału, gdyż łatwo zauważyć, że na okres składa się sumaryczny czas trwania obu następujących po sobie stanów:

$$T = t_H + t_L \cong \\ 0,5544ms + 0,4851ms \cong \\ 1,0395ms \cong 0,0010395s$$

Skoro znasz już okres generowanego sygnału, to – wiedząc, że częstotliwość i okres sygnału są własnymi odwrotnościami – możesz obliczyć również częstotliwość generowanego sygnału:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}0010395s} \cong 962Hz$$

W materiałach do bieżącego wydania EdW można odnaleźć interaktywny arkusz wyliczający generowane przez *Minipianino* częstotliwości (**tabela 1**). Z pewnością warto się nim pobawić.

Strojenie Minipianina

Sumaryczna rezystancja zastępcza, utworzona przez rezystory R1…R7 oraz potencjometr PR1, ma wpływ zarówno na czas ładowania, jak i rozładowywania kondensatora C2, a tym samym przekłada się na częstotliwość generowaną przez układ NE555. Potencjometr PR1 pozwala zgrubnie dostroić pojedynczy dźwięk dla naciśniętego w danej chwili przycisku *Minipianina*.

Niestety, z uwagi na umiejscowienie tego potencjometru w łańcuchu,

eprasa.pl 39e0ebb5e6

NE555 – kalkulator częstotliwości (astabil, metoda tH/tL)						
Wprowadź RB w kΩ dla klawiszy S1...S8. RA i C są stałe. Wyniki liczą się automatycznie.						
Stałe:					Wzory: tH = 0,693·(RA+RB)·C tL = 0,693·RB·C T = tH+tL f = 1/T	
RA [Ω]	1000					
C [F]	0,0000001					
Klawisz	RB [kΩ] (edycja)	RB [Ω]	tH [ms]	tL [ms]	T [ms]	f [Hz]
S1	7	7000	0,5544	0,4851	1,0395	962,001
S2	6	6000	0,4851	0,4158	0,9009	1110,001
S3	5	5000	0,4158	0,3465	0,7623	1311,819
S4	4	4000	0,3465	0,2772	0,6237	1603,335
S5	3	3000	0,2772	0,2079	0,4851	2061,441
S6	2	2000	0,2079	0,1386	0,3465	2886,003
S7	1	1000	0,1386	0,0693	0,2079	4810,005
S8	0	0	0,0693	0	0,0693	14430,014

Tabela 1. Interaktywny arkusz wyliczający generowane przez *Minipianino* częstotliwości

jego regulacja wpływa na wszystkie klawisze muzyczne jednocześnie, co uniemożliwia dostrojenie każdego dźwięku osobno. Taką funkcjonalność można by uzyskać, stosując szeregowo z każdym przyciskiem muzycznym dodatkowy potencjometr – najlepiej precyzyjny, wieloobrotowy.

Częstotliwości muzycznej gamy

Gdybyś w przyszłości chciał zbudować podobny instrument (na przykład na płytce stykowej), ale z idealnie wyskalowanymi dźwiękami odpowiadającymi prawdziwej gamie, musiałbyś dążyć do uzyskania częstotliwości jak na liście poniżej:

Rozpiska (częściowa) – gama C-dur w równomiernie temperowanym stroju (A4 = 440 Hz)

- **C4 (Do)** 261,63 Hz
- **D4 (Re)** 293,66 Hz
- **E4 (Mi)** 329,63 Hz
- **F4 (Fa)** 349,23 Hz
- **G4 (Sol)** 392,00 Hz
- **A4 (La)** 440,00 Hz
- **H4 (Si)** 493,88 Hz
- **C5 (Do)** 523,25 Hz
- **D5 (Re)** 587,33 Hz
- **E5 (Mi)** 659,25 Hz
- **F5 (Fa)** 698,46 Hz
- **G5 (Sol)** 783,99 Hz
- **A5 (La)** 880,00 Hz
- **H5 (Si)** 987,77 Hz
- **C6 (Do)** 1046,50 Hz

Wzór (gdybyś chciał liczyć dowolny dźwięk)

Dla stroju A4 = 440 Hz:

$$f = 440 \cdot 2^{\frac{n-69}{12}}$$

gdzie n to numer klawisza w standardzie MIDI (np. C4 = 60, A4 = 69).

Montaż układu

Montaż układów elektronicznych warto rozpoczynać od komponentów o najniższym profilu – takich jak rezystory, diody czy małe kondensatory – a kończyć na tych najwyższych, jak złącza, przekaźniki czy duże kondensatory elektrolityczne. Taka kolejność ułatwia pracę: płytka stabilnie leży na stole, a niskie elementy nie są zasłaniane przez wyższe, co pozwala na wygodne lutowanie i estetyczny montaż.

Choć ogólna zasada mówi, by zaczynać od najniższych komponentów i przechodzić stopniowo do wyższych, w praktyce zdarzają się wyjątki. Czasem trudno jednoznacznie ocenić, czy wyższy jest kondensator, czy dioda LED. W takich przypadkach warto kierować się zdrowym rozsądkiem i uwzględnić wygodę pracy. Dla zachowania estetyki i precyzji montażu, diody LED często lepiej jest przylutować wcześniej – zanim dostęp do ich wyprowadzeń utrudnią sąsiednie elementy o podobnych lub większych gabarytach. Taką zdroworozsądkową kolejność proponuję w opisie poniżej.

Montaż rezystorów

Zgodnie ze schematem i wykazem elementów w zestawie powinno znajdować się dziewięć rezystorów. Wszystkie rezystory zastosowane w układzie mają jednakową wartość: 1 kΩ.

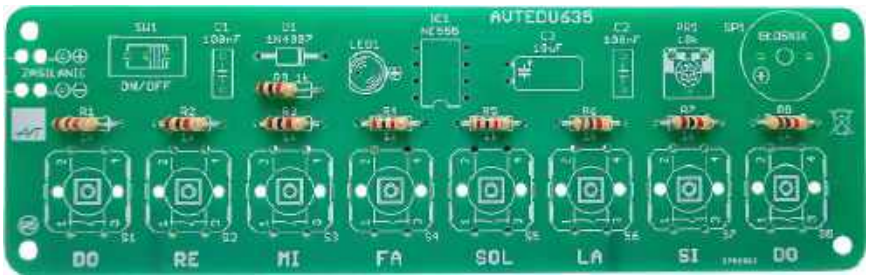
Warto jednak upewnić się, że zastosowane rezystory rzeczywiście mają wspomnianą wartość. Można to zrobić za pomocą multimetru ustawionego na funkcję omomierza.

Gdyby stanowiło to problem, skorzystaj z instrukcji dostępnej na stronie https://elportal.pl/do-pobrania – znajdziesz tam dokument „Pomiar wartości rezystorów za pomocą multimetru", przygotowany jako materiał uzupełniający do EdW 11/2024. Warto mieć go pod ręką – można go wydrukować i traktować jako praktyczną ściągę podczas każdego pomiaru.

Rezystor nie ma biegunowości – działa tak samo niezależnie od kierunku przepływu prądu. Dzięki temu jego montaż na płytce nie wymaga uwzględniania orientacji. Zgadzać się muszą jedynie lokalizacja i wartość montowanego rezystora (akurat w tym układzie wszystkie rezystory mają taką samą wartość). Kierunek montażu pozostaje dowolny. Na **fotografii 3** pokazano poprawnie zamontowane rezystory.

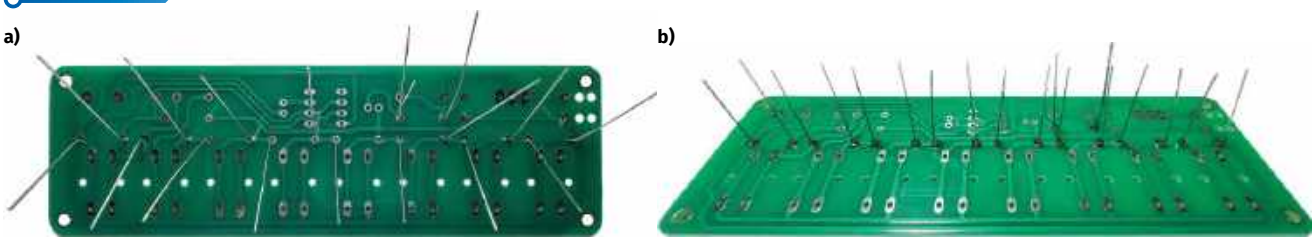
Dwa spotkania temu zwróciłem uwagę na to, w jaki sposób warto lutować do płytki komponenty przewlekane, aby w razie potrzeby można je było łatwo wymienić. Temat ten będę konsekwentnie przypominał, gdyż podczas montażu zawsze warto mieć z tyłu głowy, że któryś z komponentów może się w przyszłości uszkodzić lub – już na etapie składania – okaże się, że został użyty niewłaściwy element i konieczna będzie jego wymiana. Warto być na taką okoliczność przygotowanym, stosując się do wskazówek montażu przyjaznego naprawom. Od tego, jak zamontujemy dany komponent, zależy, czy ewentualna naprawa okaże się udręką, czy raczej czystą przyjemnością.

Zaginanie wyprowadzeń elementów THT (czyli przeznaczonych do montażu przewlekanego) może wydawać się wygodne – stabilizuje je w otworach i zapobiega wypadaniu przed lutowaniem. Niestety, taki sposób montażu znacznie utrudnia późniejszy demontaż uszkodzonych lub błędnie zamontowanych komponentów. Szczególnie kłopotliwe bywa wylutowanie diod LED z twardymi wyprowadzeniami zagiętymi pod mniejszym lub większym kątem do płytki – często kończy się to uszkodzeniem samego elementu, a czasem także płytki drukowanej.



Fotografia 3. Rezystory są elementami bez polaryzacji i montujemy je na odpowiednich pozycjach, zgodnie z wykazem elementów, w dowolnym kierunku. Wartość każdego z rezystorów warto dla pewności zmierzyć za pomocą multimetru lub sprawdzić, czy kolory i ich kolejność są zgodne z powyższą fotografią

eprasa.pl 39e0ebb5e6



Fotografia 4. a) rezystory obostronnie zagięte, celem bezpiecznego obrócenia płytki o 180° i oparcia jej o blat; b) rezystory po procesie lutowania przyjaznego naprawom – przed przylutowaniem każde wyprowadzenie rezystora zostało ustawione pod kątem prostym do płytki

Aby tego uniknąć, po umieszczeniu elementu w otworach warto jego wcześniej zagięte piny wyprostować przed lutowaniem – tak, by znów były ustawione prostopadle do płytki. Komponent nie wypadnie, ponieważ po odwróceniu całości leży oparty o stół i jest przytrzymywany przez samą płytkę.

Taka technika montażu znacznie ułatwia ewentualną wymianę elementu – skrócone, niezablokowane piny łatwo przechodzą przez otwory po ponownym rozgrzaniu lutu.

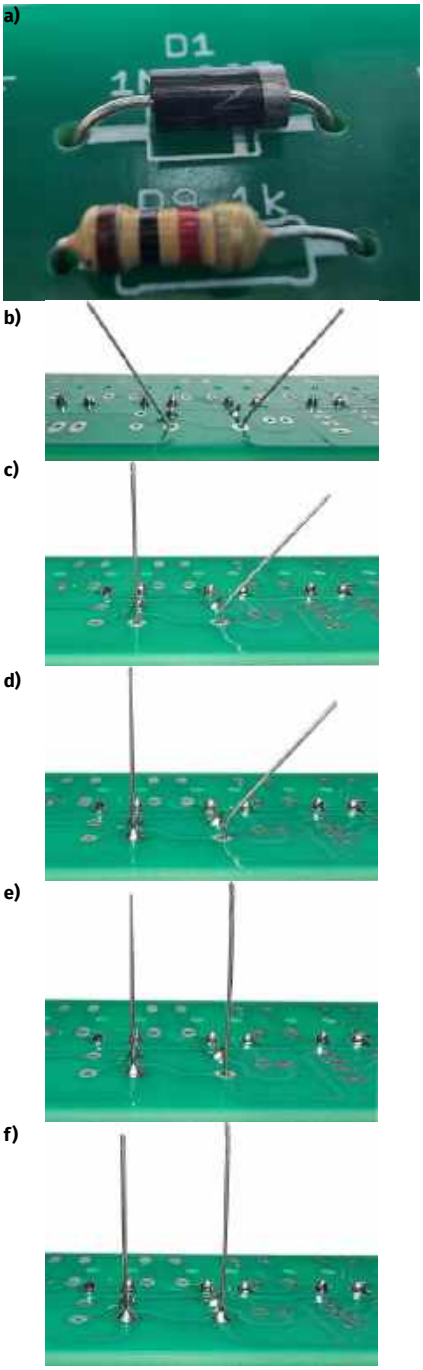
Na **fotografii 4a**, pokazano rezystory włożone do płytki, jeszcze z zagiętymi wyprowadzeniami. Po ustawieniu płytki na stole, gdy wszystkie rezystory zostały unieruchomione pod wpływem ciężaru płytki pomiędzy nią samą a stołem, kolejne wyprowadzenia były ponownie ustawiane pod kątem prostym do płytki i dopiero wtedy w niej lutowane. Efekt końcowy lutowania rezystorów pokazano na **fotografii 4b**.

Nadmiar wyprowadzeń obetnij przy użyciu obcinaczek. Pamiętaj, aby nie ścinać lutu – cięcie wykonuj dopiero za miejscem, w którym kończy się spoina i wystaje samo wyprowadzenie (**rysunek 4**).

Montaż diody prostowniczej

Ponieważ każda dioda prostownicza przewodzi prąd tylko w jednym kierunku (w przeciwnym kierunku przepuszcza jedynie śladowy prąd wsteczny), wlutuj ją tak, aby srebrny pasek na obudowie diody był zwrócony w tym samym kierunku, co biały pasek widoczny na symbolu diody na płytce PCB. **Fotografie 5a…5f** pokazują, jak zamontować diodę D1 w sposób umożliwiający jej łatwą wymianę w przyszłości.

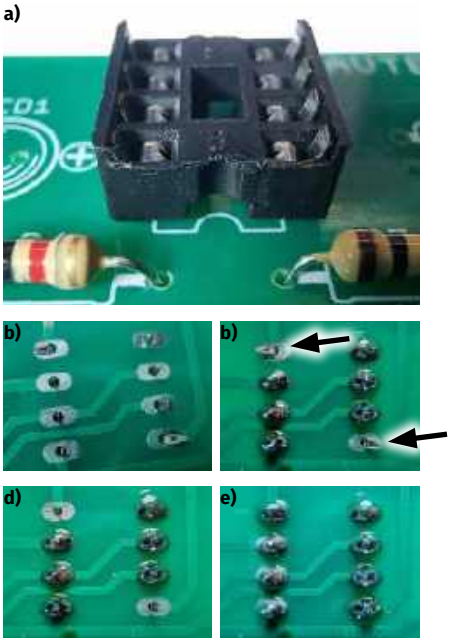
Rysunek 4. Właściwe miejsce cięcia nadmiaru wyprowadzeń po przylutowaniu komponentu. Po wykonaniu cięcia spoina powinna pozostać nienaruszona



Fotografia 5. Poprawny montaż diody prostowniczej D1 na płytce PCB: a) kierunek pasków na diodzie oraz symbol nadrukowany na płytce musi być zgodny; etapy b), c), d), e) i f) pokazują sposób montażu diody D1, który umożliwia jej łatwą wymianę w przyszłości

Montaż podstawki pod układ scalony US1

Kolejnym elementem do zamontowania jest podstawka pod układ scalony. Znacznik kierunku w podstawce (wybranie w podstawce) musi pokrywać się ze wskaźnikiem kierunku nadrukowanym białą farbą na warstwie opisowej płytki PCB (**fotografia 6a**). Po włożeniu podstawki do płytki PCB upewnij się, że wszystkie wyprowadzenia przeszły przez otwory, a następnie rozegnij na boki dwa skrajne wyprowadzenia po przekątnej, by podstawka nie wypadła z płytki po jej odwróceniu (**fotografia 6b**). Następnie przylutuj wszystkie prostopadłe do płytki wyprowadzenia (**fotografia 6c**), a po ich przylutowaniu wyprostuj (ustaw pionowo względem płytki) dwa pozostałe (**fotografia 6d**). Na koniec przylutuj dwa



Fotografia 6. a) znacznik kierunku w obudowie podstawki musi być skierowany zgodnie ze wskaźnikiem kierunku nadrukowanym na płytce PCB; b) po włożeniu podstawki do płytki PCB upewnij się, że wszystkie wyprowadzenia przeszły przez otwory, a następnie rozegnij na boki dwa skrajne wyprowadzenia po przekątnej, aby podstawka nie wypadła z płytki po jej odwróceniu; c) przylutuj wszystkie prostopadłe do płytki wyprowadzenia; d) po ich przylutowaniu wyprostuj (ustaw pionowo) dwa pozostałe; e) przylutuj wyprostowane wyprowadzenia do płytki

eprasa.pl 39e0ebb5e6

wyprostowane wyprowadzenia do płytki (**fotografia 6e**).

Podczas lutowania pinów do płytki staraj się, by pomiędzy lutowanymi wyprowadzeniami nie powstały niechciane połączenia, czyli zwarcia, zwane również mostkami lutowniczymi. Jeśli podczas lutowania pojawią się zwarcia, najłatwiej będzie, trzymając płytkę jedną ręką, ustawić ją pod kątem prostym względem blatu. Następnie należy ponownie podgrzać połączone pola lutownicze oraz przy pomocy grotu lutownicy i siły grawitacji pozwolić nadmiarowi cyny spłynąć na blat. Dzięki temu uwolnisz pady podstawki od zwarć.

Montaż kondensatorów ceramicznych

Elementami sugerowanymi do zamontowania w następnej kolejności są kondensatory C1 oraz C2, oba o tej samej wartości 100 nF. Kondensatory ceramiczne to elementy niespolaryzowane (symetryczne), w związku z czym kierunek montażu tego typu kondensatorów pozostaje dowolny. Warto sprawdzić, czy oba mają taką samą wartość i sprawdzić, czy pokrywa się ona z tą zadeklarowaną na wykazie komponentów.

Na obudowie kondensatora o wartości 100 nF (**fotografia 7**) znajduje się napis „104". Jednak w zależności od producenta kondensatora równie dobrze mógłby się tam znaleźć napis, np. „µ1" lub „100n".

- W przypadku opisu „µ1" przedrostek „mikro" został umieszczony jako przecinek pomiędzy (niewidocznym) zerem oraz jedynką („µ1" –> „0µ1" –> „0,1 µ"). Ponieważ mówimy o kondensatorach, a więc o pojemności, których jednostką jest F (Farad), domyślamy się, że „0,1 µ" –> „0,1 µF". Żeby z wartości podanej w mikrofaradach uzyskać wartość w nanofaradach, należy wartość w mikrofaradach pomnożyć przez tysiąc. $0,1\mu F \cdot 1000 = 100nF$
- W przypadku opisu pojemności (której jednostką podstawową jest Farad) „100 n" literka „n" oznacza, że wartość została podana w nanofaradach. Mamy zatem 100 nF.
- W przypadku opisu „104" brak literki „n" oznacza, że wartość podana jest w pikofaradach. Jednak ostatnia pozycja wskazuje na liczbę zer, którą należy dodać do liczby poprzedzającej. Mamy tu więc 10 i 4 zera pikofaradów, czyli: 100000 pF. Żeby otrzymać wynik w nanofaradach, trzeba pikofarady podzielić przez tysiąc. Otrzymamy zatem wynik 100 nF.

Innymi słowy, oznaczenia „µ1", „100n" oraz „104" opisują dokładnie tę samą wartość: 100 nF.

Fotografie 7b...7f pokazują, jak zamontować kondensatory C1 oraz C2, aby w przyszłości można je było łatwo wymienić.

Nadmiar wyprowadzeń obetnij przy użyciu obcinaczek. Pamiętaj, aby nie ścinać lutu – cięcie wykonuj dopiero za miejscem, w którym kończy się spoina i wystaje samo wyprowadzenie (**rysunek 4**).

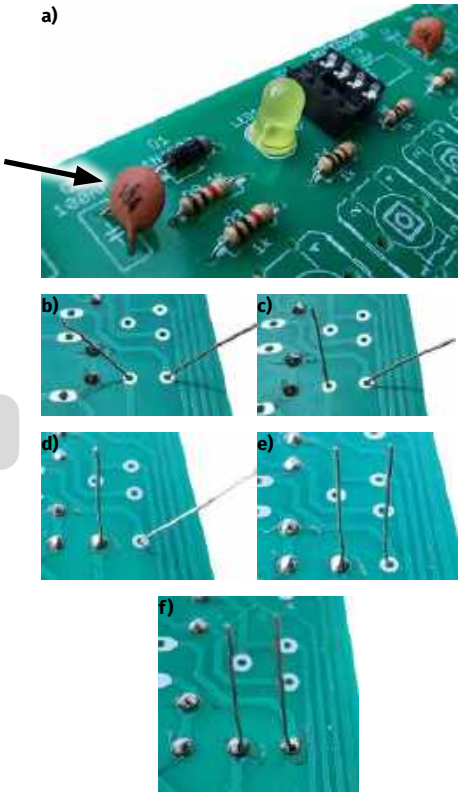
Montaż kondensatora elektrolitycznego

W prezentowanym zestawie znajdziemy tylko jeden kondensator elektrolityczny, oznaczony na schemacie i płytce drukowanej symbolem C3. Jego pojemność to 10 µF – wartość tę można odczytać bezpośrednio z obudowy, obok informacji o dopuszczalnym napięciu pracy. W moim egzemplarzu trafił się kondensator o parametrach 10 µF/63 V.

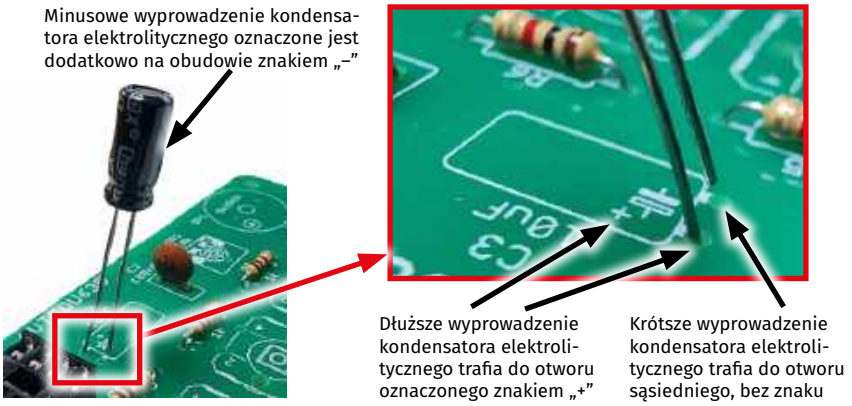
Rola napięcia roboczego kondensatora była już wielokrotnie omawiana podczas wcześniejszych spotkań. Ponieważ jednak każdy odcinek ma być samodzielną i kompletną całością, pozwolę sobie jeszcze raz przypomnieć kilka istotnych informacji.

Najważniejszym parametrem kondensatora z punktu widzenia działania układu jest jego pojemność – w przypadku tych elektrolitycznych – wyrażona w mikrofaradach. Pojemność wpływa na zachowanie obwodu. Napięcie robocze (tutaj: 63 V) określa natomiast górną granicę napięcia, jakie można bezpiecznie przyłożyć do kondensatora, bez ryzyka jego uszkodzenia. Nasz układ pracuje przy napięciu nominalnym baterii 9 V, więc zapas bezpieczeństwa jest wręcz olbrzymi.

Możemy zatem spokojnie zastosować kondensator o wyższym lub niższym napięciu dopuszczalnym, jeśli taki akurat mamy pod ręką. **Niedopuszczalne natomiast jest**



Fotografia 7. Montaż kondensatorów ceramicznych C1 oraz C2: a) kierunek montażu jest obojętny. Na obudowie kondensatora widać napis „104", informujący o pojemności 10 i 4 zera pikofaradów (100 000 pF), czyli 100 nF; b) po włożeniu kondensatorów do płytki rozegnij lekko ich wyprowadzenia, aby nie wypadły po odwróceniu płytki do góry nogami; c) oprzyj płytkę o blat, a następnie wyprostuj do pionu jedno z wyprowadzeń; d) przylutuj wyprowadzenie pod kątem prostym do płytki; e) wyprostuj do pionu drugie wyprowadzenie; f) przylutuj drugie wyprowadzenie pod kątem prostym do płytki



Rysunek 5. Poprawny, zgodny z polaryzacją sposób włożenia kondensatora elektrolitycznego C3 do płytki PCB. Na płytce znakiem „+" oznaczono otwór, w którym należy umieścić dodatnie (dłuższe) wyprowadzenie kondensatora elektrolitycznego, a na korpusie (obudowie) kondensatora w sposób bardzo wyraźny zaznaczono wyprowadzenie ujemne kondensatora, które jest przy okazji wyprowadzeniem krótszym. Należy je zamontować do sąsiedniego otworu kondensatora elektrolitycznego (bez znaku)

eprasa.pl 39e0ebb5e6

stosowanie kondensatorów, których napięcie pracy jest niższe od napięcia występującego w układzie. Może to prowadzić do awarii, a nawet (w przypadku kondensatorów elektrolitycznych) do ich wybuchu. Z tego powodu zawsze należy używać okulary ochronne przy pierwszym uruchamianiu układu – nawet jeśli układ tej zasilany jest z baterii. Trzeba też mieć na uwadze, że kondensatory przystosowane do pracy przy wyższych napięciach mają zwykle większe gabaryty. Należy więc upewnić się, że taki element fizycznie zmieści się na płytce.

Kondensator elektrolityczny, jak zapewne pamiętasz, jest elementem spolaryzowanym i, podobnie jak ma to miejsce w przypadku diod LED, tu również dłuższa nóżka nowego (nieprzyciętego jeszcze) elementu jest wyprowadzeniem dodatnim (+) a krótsza ujemnym (–). Poprawny montaż kondensatora elektrolitycznego C3 na płytce PCB pokazano na **fotografii 8a**.

Obrys komponentu na warstwie opisowej PCB (prostokąt zamiast okręgu) sugeruje, że zamysłem projektanta był montaż poziomy kondensatora, dlatego – zgodnie z takim zamysłem – kondensator ten warto zamontować w pozycji leżącej. Poprawnie zamontowany kondensator elektrolityczny pokazano na fotografii 8a.

Fotografie 8b...8f pokazują, jak zamontować kondensator C3 w sposób umożliwiający jego łatwą wymianę w przyszłości (lutowanie wyprowadzeń prostopadle do PCB).

Montaż potencjometru

W układzie zastosowano tylko jeden potencjometr, więc nie ma ryzyka pomylenia wartości. Niemniej jednak warto upewnić się, że do zestawu dołączono potencjometr o właściwej wartości. Na jego obudowie powinieneś odnaleźć napis „103", który oznacza, że potencjometr ten ma wartość „10 i 3 zera" Ω, a więc 10 000 Ω, czyli 10 kΩ, co pokrywa się z wartością wskazaną w załączonej do zestawu liście materiałowej.

Ze względu na niesymetryczny układ wyprowadzeń tego komponentu, praktycznie niemożliwe jest jego błędne zamontowanie. Należy osadzić go w trzech otworach na pozycji opisanej jako PR1, a następnie z wyczuciem docisnąć do płytki PCB (**fotografia 9a**), tak aby wszystkie trzy wyprowadzenia potencjometru przeszły przez płytkę PCB i wystawały po stronie lutowania na taką samą wysokość (**fotografia 9b**). Na koniec pozostaje przylutować do płytki PCB wszystkie trzy wyprowadzenia.

Montaż diod LED

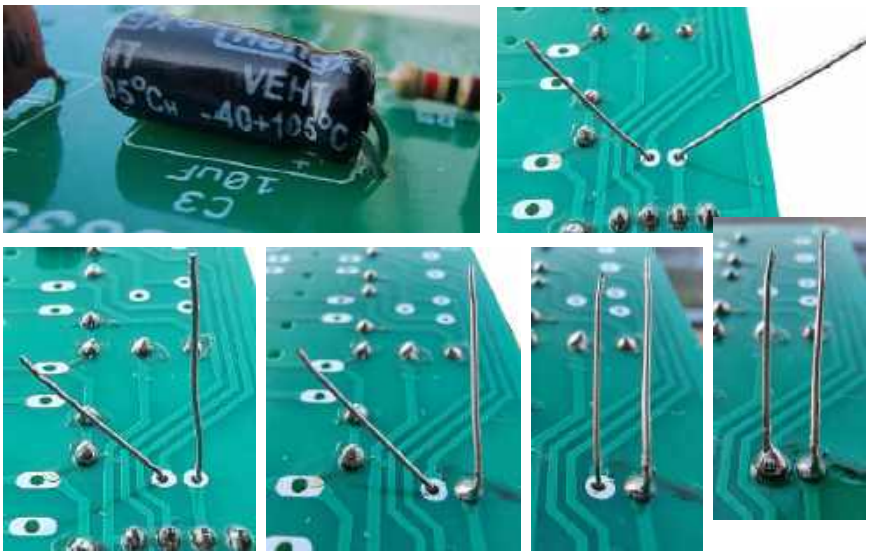
Podczas montażu diod LED należy zachować szczególną ostrożność, ponieważ każda dioda jest elementem spolaryzowanym. Każda z diod posiada anodę, którą należy podłączyć do dodatniego potencjału zasilania oraz katodę, którą podłącza się do ujemnego bieguna zasilania. W przypadku diod LED anoda jest zawsze wyprowadzeniem dłuższym a katoda jest krótsza (**rysunek 6**).

Rysunek 7 przedstawia poprawny montaż diody LED do płytki, a **fotografie 10a...10e** pokazują, jak przylutować diodę LED1 w sposób umożliwiający jej łatwą wymianę w przyszłości.

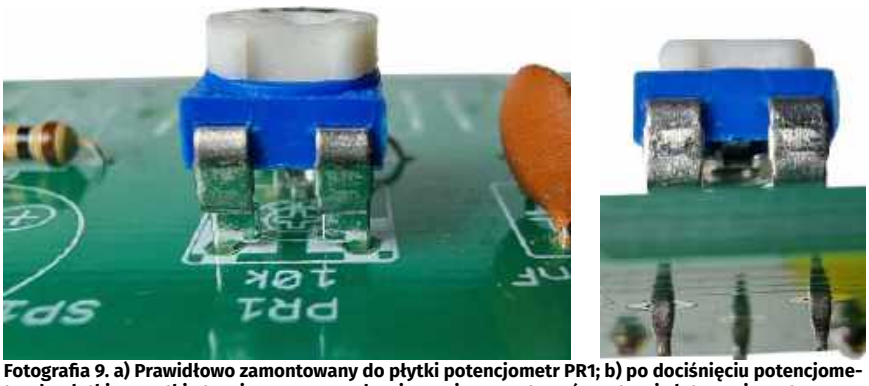
Nadmiar wyprowadzeń obetnij przy użyciu obcinaczek. Pamiętaj, aby nie ścinać lutu – cięcie wykonuj dopiero za miejscem, w którym kończy się spoina i wystaje samo wyprowadzenie (rysunek 4).

Przykład poprawnie zamontowanej diody LED pokazano na **fotografii 11**.

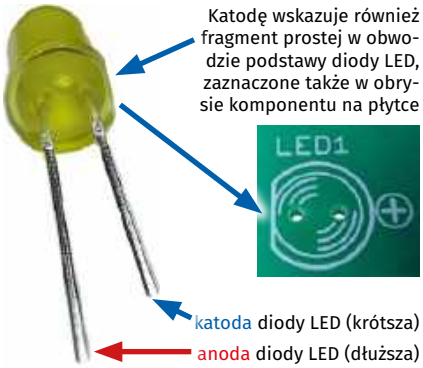
Należy pamiętać, że jeśli przylutujemy diodę LED w niewłaściwym kierunku, nie będzie ona świeciła, a ponadto, na skutek wymuszonego przepływu pądu wstecznego może ona ulec trwałemu uszkodzeniu. Zdarza się, że gdy zorientujemy się, że diodę LED zamontowaliśmy w sposób



Fotografia 8. Montaż kondensatora elektrolitycznego C3: pamiętając o konieczności zachowania właściwej polaryzacji: a) zamontuj kondensator na leżąco; b) rozegnij lekko jego wyprowadzenia, aby nie wypadł po odwróceniu płytki do góry nogami; c) odegnij do pionu jedno z wyprowadzeń; d) przylutuj odgięte do pionu wyprowadzenie prostopadle do płytki; e) odegnij do pionu drugie wyprowadzenie; f) przylutuj odgięte do pionu wyprowadzenie prostopadle do płytki

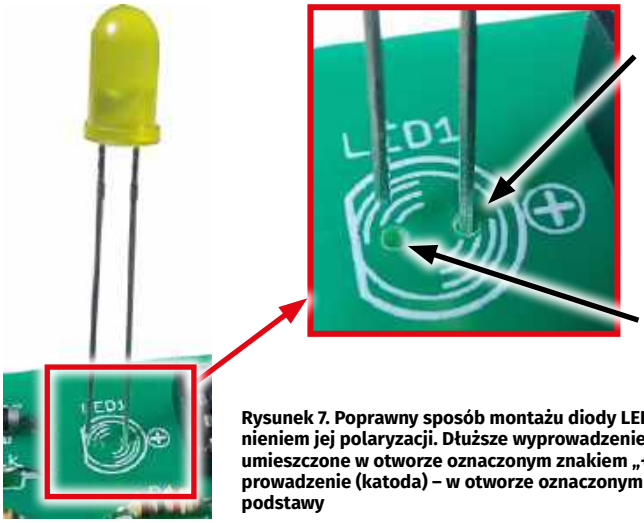


Fotografia 9. a) Prawidłowo zamontowany do płytki potencjometr PR1; b) po dociśnięciu potencjometru do płytki wszystkie trzy jego wyprowadzenia powinny wystawać po stronie lutowania na tę samą długość

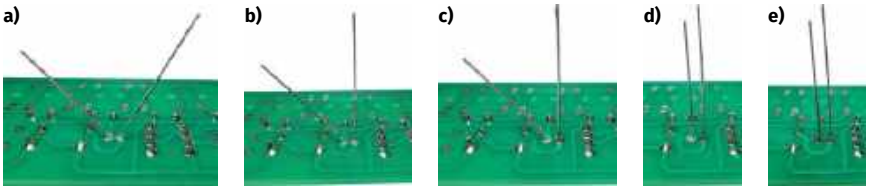


Rysunek 6. Opis wyprowadzeń diody LED („plusowe" wyprowadzenie dłuższe, „minusowe" krótsze)

eprasa.pl 39e0ebb5e6



Rysunek 7. Poprawny sposób montażu diody LED w płytce PCB z uwzględnieniem jej polaryzacji. Dłuższe wyprowadzenie (anoda) powinno zostać umieszczone w otworze oznaczonym znakiem „+”, natomiast krótsze wyprowadzenie (katoda) – w otworze oznaczonym linią prostą w obrysie podstawy



Fotografia 10. Zalecany sposób montażu diody LED, który umożliwi jej łatwą wymianę w przypadku uszkodzenia lub omyłkowego zamontowania w odwrotnym kierunku: a) rozegnij wyprowadzenia diody LED w taki sposób, by dało się bezpiecznie odwrócić płytkę do góry nogami; b) po ustawieniu płytki na blacie odegnij jedno wyprowadzenie do pionu; c) przylutuj odgięte do pionu wyprowadzenie prostopadle do płytki; d) ustaw do pionu drugie wyprowadzenie; e) przylutuj je prostopadle do płytki

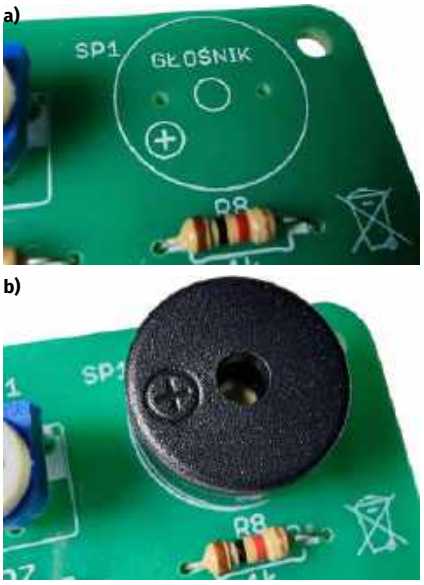
Fotografia 11. Przykład poprawnie zamontowanej diody LED. Płaskie ścięcie na obwodzie diody LED, symbolizujące katodę, musi pokrywać się z fragmentem linii prostej w obrysie komponentu zaznaczonym na płytce

nieprawidłowy, po jej wylutowaniu i ponownym przylutowaniu, już we właściwym kierunku, dioda wciąż nie będzie chciała świecić. Dlatego po wylutowaniu błędnie zamontowanej diody LED warto sprawdzić jej kondycję przy użyciu multimetru – ustawionego w tryb pomiaru diod lub testu ciągłości obwodu – aby upewnić się, że element nadal działa poprawnie. W tym celu, po ustawieniu wspomnianego trybu pracy multimetru, do anody diody LED przykładamy czerwoną jego sondę a do katody przykładamy sondę czarną (**fotografia 12**). Jeśli w tym momencie dioda LED się zaświeci, oznacza to, że jest ona sprawna, i możemy przylutować ją ponownie, tym razem pamiętając o właściwym kierunku montażu.

Fotografia 12. Sprawdzanie diody LED za pomocą multimetru ustawionego funkcję testowania diod. Po przyłożeniu sondy czerwonej do anody, a czarnej do katody, sprawna dioda LED powinna się zaświecić. Jeśli dioda ma odpowiednio długie (jeszcze nie przycięte) wyprowadzenia można się wspomóc krokodylkami

Montaż pasywnego buzzera PIEZO

Przyszła pora na montaż pasywnego buzzera piezoelektrycznego, opisanego jako PIEZO. Słowo „pasywny” oznacza, że element ten sam z siebie nie generuje dźwięku, nawet po przyłożeniu napięcia. Nie ma on zaimplementowanej elektroniki, która generowałaby przebieg akustyczny, dlatego element ten pełni funkcję analogiczną



Fotografia 13. a) Oznaczenie polaryzacji na płytce w obrysie pasywnego buzzera; b) oznaczenie polaryzacji na obudowie pasywnego buzzera piezo dołączonego do zestawu; na obu fotografiach pozycję „plusowego” wyprowadzenia komponentu zaznaczono znakiem „+”

do głośnia magnetoelektrycznego, choć jest on zbudowany zupełnie inaczej. Kilka słów na temat różnicy pomiędzy pasywnym buzzerem piezo a głośnikiem magnetoelektrycznym znajdziesz w EdW 9/2024 na stronie 88, gdzie opisywałem budowę *Konsoli Audiochaos* (AVTEDU624).

Buzzery piezo są z definicji elementami bez polaryzacji, czasem próżno więc szukać na ich obudowie tego typu oznaczeń. Zdarza się, że buzzer pasywny posiada zaimplementowaną diodę ochronną, redukującą napięcie wsteczne, bądź w których przyjęta konstrukcja powoduje, że buzzer działa optymalnie przy określonej polaryzacji. W takich przypadkach należy podążać za nadrukowaną na płytce i obudowie buzzera polaryzacją (**fotografie 13a** i **13b**).

Montaż przełącznika zasilania

Pora na zamontowanie przełącznika zasilania, opisanego na schemacie i PCB jako SW1. Przełącznik tego typu łączy swój pin środkowy z jednym z dwóch skrajnych, w którego kierunku jest w danym momencie skierowany hebelek przełącznika. Z uwagi na taką konstrukcję, kierunek montażu tych elementów nie ma żadnego znaczenia. Warto o tym pamiętać montując przełącznik do płytki. Dodatkowe linie, symbolizujące pozycję hebelka w obrysie komponentu na płytce, mają jedynie rozwiać wątpliwości, że w tym miejscu należy zamontować przełącznik (**fotografia 14a**). Z polaryzacją lub kierunkiem montażu,

eprasa.pl 39e0ebb5e6

Fotografia 14. a) Sposób oznaczenia miejsca do zamontowania przełącznika SW1 na płytce drukowanej; b) zanim przylutujesz wszystkie wyprowadzenia, przylutuj w pierwszej kolejności pin środkowy i sprawdź, czy komponent przylega prostopadle do płytki. Jeśli wszystko jest w porządku przylutuj dwa pozostałe wyprowadzenia; c) tym sposobem przełącznik został poprawnie przylutowany i dobrze przylega do płytki

czy też „wymaganą" pozycją hebelka nie mają niczego wspólnego. Przełącznik ma sztywne piny, które nie nadają się do wyginania. Dlatego podczas lutowania trzeba przytrzymać go ręką albo poprosić o pomoc opiekuna, którego – mam nadzieję – podczas zabaw z prądem elektrycznym masz zawsze gdzieś w pobliżu. Podczas montażu warto przylutować środkowy pin do płytki PCB (**fotografia 14b**), a dopiero po upewnieniu się, że komponent dobrze przylega do jej powierzchni, przylutować pozostałe. Poprawnie zamontowany przełącznik SW1 pokazano na **fotografii 14c**.

Montaż przycisków

Jako przedostatnie należy zamontować na płytce drukowanej przyciski służące do wyzwalania poszczególnych dźwięków gamy muzycznej. Kierunek montażu tych elementów nie ma znaczenia – istotne jest jedynie to, aby w przypadku każdego przycisku wszystkie cztery nóżki przeszły przez otwory w płytce PCB, a sam element stabilnie na niej leżał. Podstawa przycisku powinna całkowicie przylegać do powierzchni płytki (**fotografia 15**).

Montaż złącza baterii 9 V

Na koniec pozostaje przylutować do płytki PCB kabelki od dołączonego do zestawu złącza baterii 9 V (tzw. kijanka). Podobnie jak w przypadku pozostałych zestawów serii AVTEDU, kabelki najpierw przeciągamy przez otwory pomocnicze, pełniące funkcję stabilizującą przewody w miejscu zamocowania. Dzięki takiemu rozwiązaniu połączenie będzie miało lepszą wytrzymałość mechaniczną i kabelki nie oderwą się tak szybko od płytki. Przewody należy wprowadzić w te otwory, tym razem od strony komponentów (**fotografia 16a**). Następnie, patrząc „od spodu", należy ponownie przewlec oba kabelki przez kolejną parę otworów pomocniczych (**fotografia 16b**). Na końcu, uprzednio pozbawione izolacji, skręcone i pocynowane końcówki należy umieścić w otworach docelowych (**fotografia 16c**) i przylutować. Czerwony kabelek powinien trafić do otworu oznaczonego znakiem „+", natomiast czarny kabelek należy zamontować do otworu oznaczonego znakiem „–". Na koniec należy skrócić pętle przewodów – zarówno po stronie komponentów (**fotografia 16d**) jak i od strony lutowania (**fotografia 16e**).

Fotografia 15. Poprawny montaż przycisków dźwięku. Po lewej stronie widoczny jest obrys komponentu. Po prawej – przycisk już zamontowany. Wszystkie nóżki przycisku przeszły przez otwory na PCB, a podstawa przycisku przylega bezpośrednio do powierzchni PCB

Montaż układu scalonego w podstawce

Ponieważ w podstawce zostanie umieszczony układ scalony, na tym etapie warto sprawdzić, czy na odpowiednich pinach zasilających pojawia się właściwe napięcie po podłączeniu baterii. Ten pomiar trzeba wykonać jeszcze przed włożeniem układu w podstawkę. Jak pokazano na schemacie (rysunek 1), układ NE555 wymaga podania „plusa" zasilania na pin 8, oraz „minusa" na pin 1. Sprawdźmy, czy tak jest w rzeczywistości!

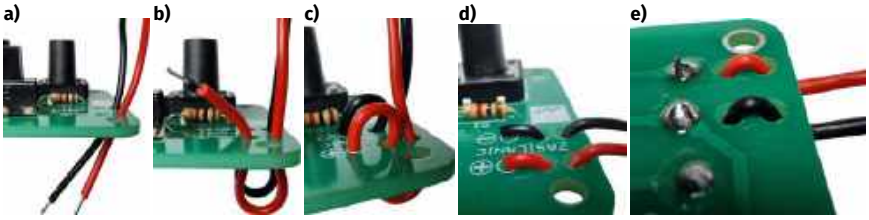
Ustaw proszę multimetr w tryb pomiaru napięcia stałego w zakresie do 20 V, upewniając się, że sondy pomiarowe są wpięte do multimetru w sposób prawidłowy (**fotografia 17**).

Fotografia 17. Poprawne podłączenie kabli na przykładzie multimetru DT-830B, ustawionego na funkcję woltomierza napięć stałych

Fotografia 18. Pomiar na zaciskach 8 („plus") i 1 („minus") podstawki pod układ NE555 wskazał poprawne napięcie baterii (bez znaku „–", który sugerowałby błędną polaryzację), pomniejszone o spadek napięcia na diodzie D1. Można teraz odłączyć zasilanie i zamontować układ NE555 w podstawce

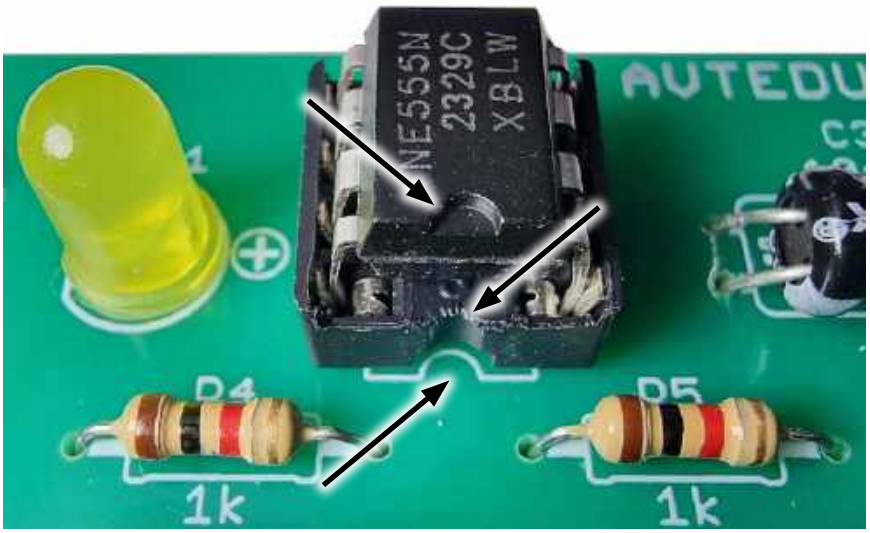
Teraz podłącz baterię, a następnie, ustaw przełącznik SW1 w pozycji „ON", przyłóż sondy pomiarowe: czerwoną do pinu numer 8 podstawki, a czarną do pinu numer 1 podstawki. Na wyświetlaczu miernika powinna pojawić się wartość napięcia bliska napięciu nominalnemu baterii 9 V, pomniejszona o spadek napięcia na diodzie D1 (**fotografia 18**).

Jeśli na wyświetlaczu pojawi się znak „–", oznacza to, że podczas montażu popełniliśmy błąd, na przykład zamieniając miejscami przewody od baterii. Wyświetlenie cyfry „1"



Fotografia 16. Kabelki złącza baterii należy: a) przeprowadzić przez otwory pomocnicze od strony komponentów; b) patrząc „od spodu", przełożyć je przez kolejną parę otworów pomocniczych; c) włożyć kabelki do odpowiednich pól lutowniczych na płytce PCB i przylutować je; d) pozbyć się pętli przewodów po stronie komponentów, wyciągając kabelki możliwie jak najbliżej do dołu; e) pozbyć się pętli przewodów po stronie lutowania, wyciągając kabelki jak najwyżej ku górze

eprasa.pl 39e0ebb5e6



Fotografia 19. Przed zamontowaniem układu scalonego w podstawce należy upewnić się, że znaczniki kierunku montażu – na płytce, w podstawce i na układzie scalonym – znajdują się w tej samej pozycji

Fotografia 20. Poprawnie zmontowany układ Minipianina. Widok płytki a) od strony komponentów; b) od strony lutowania

informuje nas, że przekroczyliśmy zakres pomiarowy, na przykład próbując mierzyć napięcie 9 V za pomocą multimetru ustawionego na zakres do 2 V. Jeśli na wyświetlaczu pojawią się trzy zera, oznacza to zwarcie na liniach zasilania. W takim przypadku należy niezwłocznie odłączyć baterię, aby uniknąć jej niepotrzebnego rozładowania, a następnie zlokalizować i usunąć nadmiarowe połączenie.

Jeśli sytuacja u Ciebie jest taka jak na fotografii 18, możesz odłączyć baterię i zamontować układ scalony w podstawce.

Osadzenie układu w podstawce wydaje się prostą czynnością, jednak wymaga skupienia i ostrożności. Należy tu zadbać nie tylko o prawidłowy kierunek układu scalonego w podstawce (o czym przypomnę za chwilę), ale także o to, by wszystkie wyprowadzenia tego układu (a jest ich tu aż osiem) trafiły w odpowiednie gniazda podstawki, nie wygięły się ani nie złamały. Dodam tylko, że nawet jeśli jakieś wyprowadzenie odłamałoby się od układu scalonego, można by je było uzupełnić poprzez przylutowanie w ich miejsce fragmentów odciętych pinów od przylutowanych już do płytki komponentów, które zapewne masz pod ręką.

Drugą, obok ostrożności podczas montażu sprawą, o jaką należy zadbać, to właściwy kierunek montażu mikrokontrolera w podstawce. W tym celu należy przypilnować, by kropka lub wycięcie na układzie scalonym, wskazujące kierunek montażu, pokrywały się z pozostałymi znacznikami w podstawce oraz na warstwie opisowej PCB (**fotografia 19**). Gdy lokalizacja znacznika na układzie scalonym zgadza się z pozostałymi, można przystąpić do wciśnięcia układu w podstawkę.

Podsumowanie montażu

Po ukończeniu montażu sprawdź, proszę, czy wszystkie połączenia lutowane są błyszczące i nie ma zimnych lutów oraz czy żadne sąsiednie pola lutownicze nie są ze sobą błędnie połączone. Poprawnie zmontowany układ powinien wyglądać jak na **fotografiach 20a** oraz **20b**.

Po podłączeniu baterii oraz ustawieniu włącznika zasilania w pozycji „ON", dioda LED1 zaświeci się, a *Minipianino* zacznie reagować na przyciskanie klawiszy odpowiedzialnych za poszczególne dźwięki muzycznej gamy. Generowane tony możesz nieco dostroić za pomocą potencjometru PR1. W sekcji opisującej strojenie *Minipianina* wytłumaczyłem, dlaczego w tym prostym układzie nie można indywidualnie dostroić każdego z dźwięków. Wspomniałem też, co należałoby zmodyfikować w układzie, by stało się to możliwe. Gdybyś w przyszłości postanowił zbudować własny instrument, np. sięgając po Arduino, pamiętaj o użytecznej „ściądze" w postaci rzeczywistych częstotliwości charakteryzujących każdy dźwięk w gamie, którą zostawiłem Ci w sekcji *Częstotliwości muzycznej gamy*. Zatem życzę Ci miłej zabawy, owocnych eksperymentów i żeby Ci wszystko (również w życiu) pięknie zagrało!

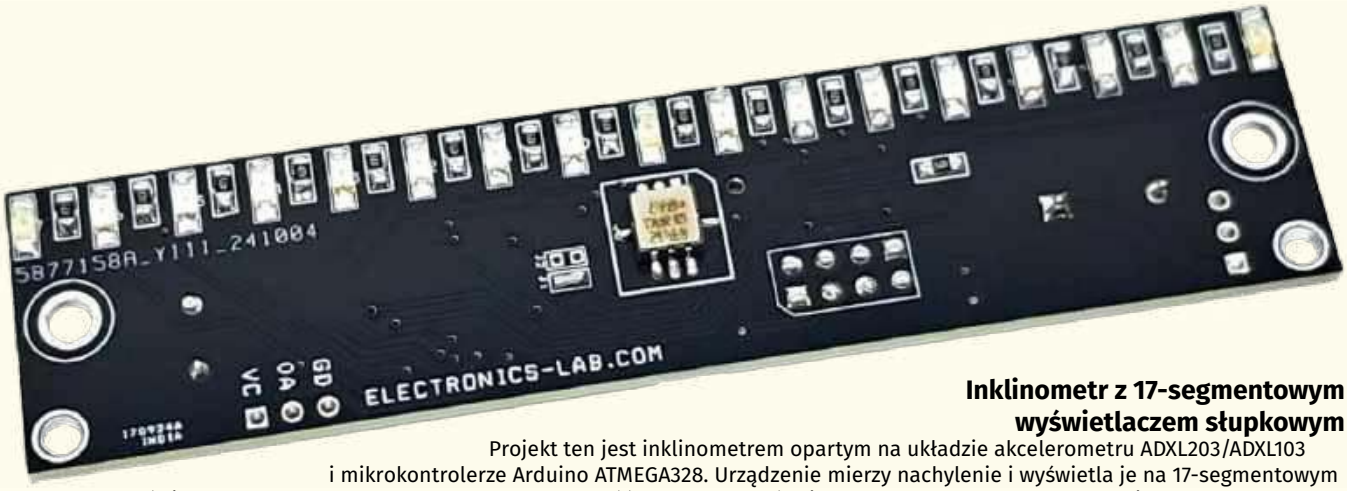
Podsumowanie

Zbudowałeś kolejny układ z serii AVTEDU! Jeszcze trochę i będziesz musiał sobie zorganizować jakiś większy organizer na te swoje cudeńka. Albo gablotkę! Ja swojego czasu wykorzystywałem tablicę korkową, na którą przypinałem kolejne zbudowane układy. W każdym razie musze przyznać, że piękna to była kolekcja!

Dziś po raz kolejny użyłeś kostkę NE555 – wcześniej zastosowałeś ją w *Dwukolorowym kwiatku LED* (AVTEDU643), którego zbudowałeś w ramach jedenastego spotkania Juniorów (EdW 5/2025). A to z pewnością nie koniec przygód z tym lubianym przez elektroników scalakiem! Następnym razem opowiem Ci o kolejnym zestawie, który zmontowaliśmy na wakacjach w Zagrodzie (CUDów). A zatem, do następnego spotkania – już za miesiąc! ■

Mariusz Ciszewski

eprasa.pl 39e0ebb5e6



Inklinometr z 17-segmentowym wyświetlaczem słupkowym

Projekt ten jest inklinometrem opartym na układzie akcelerometru ADXL203/ADXL103 i mikrokontrolerze Arduino ATMEGA328. Urządzenie mierzy nachylenie i wyświetla je na 17-segmentowym wyświetlaczu słupkowym. ADXL203 dostarcza wartość analogową, która jest odczytywana przez przetwornik analogowo-cyfrowy A0 mikrokontrolera ATMEGA328 i wyświetlana na wykresie słupkowym LED. Projekt zawiera również opcjonalny wbudowany brzęczyk i obwód sterujący, które mogą być użyte do wywołania alarmu przy określonym stopniu nachylenia.

https://youtu.be/gICs-GPEHSA

Izolowany repeater USB – USB 2.0

Jest to galwanicznie izolowany repeater USB 2.0, który izoluje host USB i urządzenie USB, obsługujący komunikację z prędkością 1,5 Mb/s...12 Mb/s. Projekt automatycznie łączy się i wykrywa prędkość magistrali. Zasilany z portu USB. Wbudowany izolowany przetwornik DC-DC U1 dostarcza napięcie 5 V do drugiej strony obwodu i portu USB. U2 LDO dostarcza napięcie 3,3 V do układu scalonego. Ferrytowe cewki L1 i L2 zapewniają odporność na zakłócenia w magistrali DC. Projekt chroni port USB hosta przed zakłóceniami i wysokim napięciem.

https://youtu.be/Kurc3FrInjY

Niektóre projekty aktualnie dostępne tylko dla prenumeratorów EdW w rubryce DIY PLUS na www.elportal.pl:

1. Knight Rider Light – 16 diod LED dużej mocy (kompatybilny z Arduino)
2. Dźwięk do kolorowych efektów świetlnych (kompatybilny z Arduino)
3. Nowy i ulepszony licznik Geigera – teraz z Wi-Fi!
4. Detektor zalania
5. Lampa nastrojowa LED o dużej mocy
6. Kontroler dzwonów kościelnych
7. Arduino Nano – włączanie/wyłączanie urządzeń za pomocą pilota na podczerwień (dwa kanały)
8. Lampa sufitowa LED z czujnikiem ruchu PIR – kompatybilna z Arduino
9. Inteligentny ściemniacz LED z Bluetooth – 4-kanałowy włącznik/wyłącznik Bluetooth
10. Czterokanałowy izolator cyfrowy, wzmocniony, szybki, o niskim poborze mocy
11. Sterowanie prędkością, kierunkiem i zatrzymaniem silnika DC z modułem RF NRF24L01
12. Nadajnik zdalnego sterowania z pojedynczym joystickiem wykorzystujący NRF24L01
13. 8-kanałowy zdalny nadajnik RF z protokołami: Holtek i szeregowym
14. 8-kanałowy zdalny odbiornik RF z protokołami: Holtek i szeregowym
15. Pojemnościowy czujnik wilgotności do konwertera wyjścia analogowego
16. Mostek H dla wysokiej mocy szczotkowego silnika prądu stałego z czujnikiem prądu
17. Przetwornica DC-DC buck 12...75 V na 10 V na wyjściu
18. Czujnik prądu low-side 10 μA...10 mA
19. Kontroler ramienia robota z bezprzewodowym pilotem PS3
20. Termiczny czujnik masowego przepływu powietrza – anemometr stałotemperaturowy
21. Precyzyjny wzmacniacz transimpedancyjny z przełączanym integratorem
22. Wysokowydajny monofoniczny wzmacniacz audio klasy D o mocy 20 W
23. Kontroler pełnego mostka z przesunięciem fazowym i prostowaniem synchronicznym wykorzystujący UCC28950
24. Monitorowanie poziomu cieczy za pomocą czujnika ciśnienia – wyświetlacz słupkowy
25. Sterowanie silnikiem DC za pomocą joysticka
26. 16-kanałowy sterownik serwomechanizmów RC z interfejsem I²C
27. Programowalny kondycjoner sygnału z czujnika rezystancyjnego mostkowego
28. Choinka z Arduino i pikselowymi diodami
29. 20-segmentowy wyświetlacz słupkowy w rozmiarze jumbo
30. Stacja pogodowa lilygo ttgo t5-4.7 z wyświetlaczem typu e-papier
31. Półprzewodnikowy przekaźnik mocy DC z prądowym sprzężeniem zwrotnym
32. Wyłącznik nadprądowy – przekaźnik wyłączający nadprądowy
33. TinyML – Rozpoznawanie ruchu przy pomocy RPi Pico
34. Uniwersalny konwerter napięcia AC – wyjście 18 V DC z wejścia 85...265 V AC
35. Moduł procesora echa głosu – urządzenie opóźniające do efektów dźwiękowych, echo, reverb

Miesięcznik „**Elektronika dla Wszystkich**”
(12 numerów w roku) jest wydawany we współpracy z kilkoma redakcjami zagranicznymi

Wydawnictwo:
AVTKorporacja Sp. z o.o.
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
tel. 22 257 84 99, e-mail: avt@avt.pl

Wydawca:
Wiesław Marciniak

Redaktor naczelny:
Mariusz Ciszewski
mariusz.ciszewski@elportal.pl

Adres redakcji:
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
e-mail: edw@elportal.pl, www.elportal.pl

Dział reklamy:
Katarzyna Gugała
katarzyna.gugala@elportal.pl, tel. 22 257 84 64

Szef Pracowni Konstrukcyjnej:
Jakub Sobański
jakub.sobanski@elportal.pl

Sekretarz redakcji:
Dariusz Welik
dariusz.welik@elportal.pl

DTP, redakcja strony internetowej www.elportal.pl:
MAD Sp. z o.o.

Prenumerata:
W Wydawnictwie AVT, e-mail: prenumerata@avt.pl
tel. 22 257 84 22, (godz. 10:00–14:00)
www.ulubionykiosk.pl

Copyright AVTKorporacja Sp. z o.o., Warszawa, ul. Leszczynowa 11. Projekty publikowane w „Elektronice dla Wszystkich” mogą być wykorzystywane wyłącznie do własnych potrzeb. Korzystanie z tych projektów do innych celów, zwłaszcza do działalności zarobkowej, wymaga zgody redakcji „Elektroniki dla Wszystkich”. Przedruk oraz umieszczanie na stronach internetowych całości lub fragmentów publikacji zamieszczanych w „Elektronice dla Wszystkich” jest dozwolone wyłącznie po uzyskaniu pisemnej zgody redakcji. Redakcja nie odpowiada za treść reklam i ogłoszeń zamieszczanych w „Elektronice dla Wszystkich”.

eprasa.pl 39e0ebb5e6

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

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

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

BESTSELLERY sklepu AVT – sklep.avt.pl

Trzecia ręka

Rabat dla Czytelników EdW przy zakupie podaj kod EdW2505TR **-3%**

Kod ważny do 30.09.2025

Rabat dla Prenumeratorów EdW przy zakupie podaj numer prenumeraty **-6%**

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

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

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

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

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

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

eprasa.pl 39e0ebb5e6

Elektor Bestsellers

SAVE UP TO 26% NOW!

www.elektor.com/sale/deals

Elektor SUMMER SALE

elektor
design > share > earn

eprasa.pl 39e0ebb5e6