Edukacja w EdW dla szkół i uczelni:
Wykład 34 – Tłumiki pasywne

JUNIOR



strona 76

Elektronika dla wszystkich

nr 10/2025 (357) • październik • www.elportal.pl

DIY PLUS tylko dla prenumeratorów

PROJEKTY dla elektroników

- „Elektroniczny scyzoryk”, czyli wielofunkcyjny przyrząd warsztatowy
- SMD Tweezers – kolejne wcielenie pęsety pomiarowej SMD, część 1
- Aktywny „miękki start” do obciążeń sieciowych, część 2
- Wzmacniacz monofoniczny klasy D o mocy 1 kW+, część 2

DIY dla wszystkich

- System antykolizyjny dla pojazdów, część 2
- Wszczepialne chipy do identyfikacji i śledzenia zwierząt, część 2

TUTORIALE

- Ekscytacje Maxa: Migające diody LED i śliniący się inżynierowie, część 25
- Więcej o pamięci komputerowej
- Elektroniczne bloki konstrukcyjne: Zdalne sterowanie na odległość 300 m
- Chirurgia obwodowa: Generator Royera

Elektroniczny scyzoryk



Pęseta pomiarowa SMD



ISSN 1425-1698 Indeks 33362X
9 771425 169252 10
18,90 zł (w tym 8% VAT)

Pomocna dłoń

automatykaB2B.pl

EP.com.pl
Największy portal dla elektroników konstruktorów

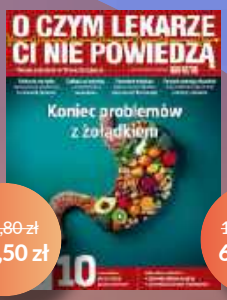


FIRMA PIEKARZ
CZĘŚCI ELEKTRONICZNE
przełączniki
półprzewodniki
złącza
przekaźniki
radiatory
obudowy
i wiele więcej...
www.piekarz.pl

eprasa.pl 5641c41152

Prenumerata

Rodzina i zdrowie



~~190,80 zł~~ 114,50 zł



~~107,40 zł~~ 64,50 zł



~~179,00 zł~~ 107,40 zł

Dom, wnętrza



~~152,10 zł~~ 91,30 zł

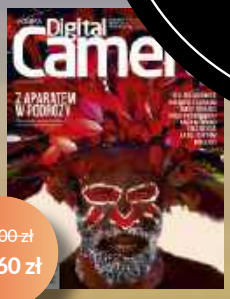


~~199,00 zł~~ 119,40 zł

Fotografia



~~116,00 zł~~ 69,60 zł



~~116,00 zł~~ 69,60 zł

Jesienna promocja

–40%

na wszystkie prenumeraty

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

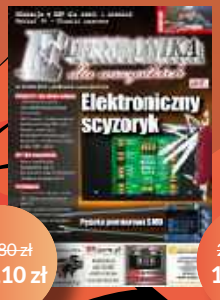


~~178,80 zł~~ 107,30 zł

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 5641c41152

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

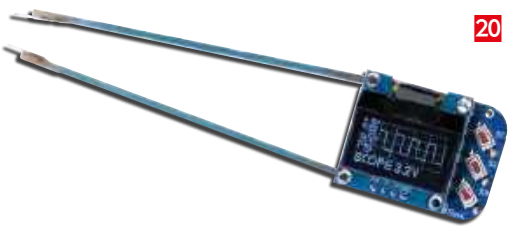
ELEKTRONIKA dla wszystkich

Październik 2025 • 10 (357)



Projekty dla elektroników:

„Elektroniczny scyzoryk", czyli wielofunkcyjny przyrząd warszatowy 8
SMD Tweezers – kolejne wcielenie pęsety pomiarowej SMD, część 1 20
Aktywny „miękki start" do obciążeń sieciowych, część 2 28
Wzmacniacz monofoniczny klasy D o mocy 1 kW+, część 2 34



Tutoriale:

Ekscytacje Maxa:
Migające diody LED i śliniący się inżynierowie, część 25 41
Edukacja w EdW dla szkół i uczelni:
Wykład 34 – Tłumiki pasywne 47
Więcej o pamięci komputerowej 55
Elektroniczne bloki konstrukcyjne:
Zdalne sterowanie na odległość 300 m 61
Chirurgia obwodowa: Generator Royera 64



DIY dla wszystkich:

Wszczepialne chipy przechowujące informacje, część 2 71
System antykolizyjny do pojazdów, część 2 74



Elektronika dla Wszystkich – Junior:

Szesnaste spotkanie z najmłodszymi pasjonatami elektroniki 76

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

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

Przerwania zewnętrzne (sprzętowe) i przerwania zegara w microPython .. 90
Laserowy czujnik odległości z wyświetlaczem OLED i RP2040 90



Rubryki stałe:

Prenumerata 3
Od redakcji 5
Poczta 6

eprasa.pl 5641c41152

A za miesiąc w listopadowym EdW



Mikrofon pomiarowy
Nie musisz wydawać fortuny, by mieć precyzyjne narzędzie do pomiaru dźwięku. Ten projekt pokazuje, jak samodzielnie zbudować mikrofon pomiarowy o jakości porównywalnej z drogimi modelami komercyjnymi. Prosty montaż, szczegółowa kalibracja i świetne rezultaty – idealne rozwiązanie dla akustyków, hobbystów i audiofilów.

Zaawansowana pęseta pomiarowa do SMD, część 2
W tej części autor opisuje montaż mechaniczny, wgranie oprogramowania i procedurę kalibracji. Gotowe urządzenie prezentuje szerokie możliwości – od pomiaru elementów pasywnych, przez pracę jako woltomierz, prosty oscyloskop czy analizator logiczny, aż po generator przebiegów i dekoder UART. Wyniki widoczne są na czytelnym wyświetlaczu OLED, a całość mieści się w kompaktowej obudowie z druku 3D i jest zasilana baterią guzikową. To narzędzie można zbudować samodzielnie – zyskując przyrząd o precyzji, jakiej oczekują nawet profesjonaliści.

Kamera termowizyjna oparta na Raspberry Pi Pico
Miniaturowa kamera termowizyjna oparta na czujniku AMG8833 i Raspberry Pi Pico pozwala zobaczyć różnice temperatur w czasie rzeczywistym. Pomiar 64 punktów na raz, funkcja skalowania obrazu i prosty interfejs LCD sprawiają, że urządzenie świetnie nadaje się do diagnostyki układów elektronicznych i zastosowań domowych. Dzięki trybom pracy 1 i 10 FPS można wybrać między większą dokładnością a płynniejszym obrazem. Całość mieści się w kompaktowej obudowie z druku 3D i pracuje pod kontrolą interpretera PicoMite BASIC – gotowa kamera do złożenia za grosze.

Prosty generator sygnałów RF
Niedrogi i funkcjonalny generator sygnałów radiowych, idealny do strojenia i testowania odbiorników AM/FM w paśmie VHF. Zbudowany w oparciu o układ NE612 i programowalny generator Si5351, oferuje płynną regulację częstotliwości za pomocą enkodera i czytelny wyświetlacz OLED. Może służyć jako źródło nośnej lub modulowanego sygnału testowego. Świetne narzędzie warsztatowe dla każdego radioamatora.

Wartościowe Tutoriale

Projekty DIY

Juniorzy EdW złożą kolejny zestaw z serii AVTEDU

W kioskach od 27 października

Październikowe eksperymenty – od mocy kilowata po szept liści



Październik to czas, gdy dni stają się krótsze, a wieczory dłuższe – idealne warunki, by usiąść przy biurku z lampką i może z podopiecznym bądź podopiecznymi, jeśli razem rozwijacie to hobby. Z partnerem czy partnerką bywa trudniej – elektronika rzadko staje się wspólną pasją. Jeśli jednak u Was to działa, koniecznie pochwalcie się, jak to robicie! Jedni marzą o wzmacniaczach wielkiej mocy, inni chcą usłyszeć... to, czego normalnie słyszeć się nie da. Niezależnie od konstelacji, w tym numerze EdW znajdziecie inspiracje wszelakiego koloru i maści.

Na początek prawdziwa gratka dla miłośników dużych mocy: monofoniczny wzmacniacz klasy D o mocy ponad 1 kW. To druga część cyklu, w której autor pokazuje, jak bezpiecznie połączyć sześć zasilaczy impulsowych i umieścić całość w… skrzynce narzędziowej. Mobilność, prostota montażu i praktyczne porady sprawiają, że projekt jest dostępny także dla mniej doświadczonych konstruktorów.

Nie mniej praktyczny jest aktywny miękki start do obciążeń sieciowych – również w odsłonie drugiej części. To układ, który zadba o bezpieczeństwo elektronarzędzi, sprzętu Hi-Fi czy innych urządzeń o dużym poborze prądu. Dzięki przemyślanemu połączeniu NTC, tranzystora MOSFET i przekaźnika, konstrukcja eliminuje udary prądowe, gwarantując długowieczność i niezawodność.

Kolejny temat to swoisty elektroniczny scyzoryk – wielofunkcyjny przyrząd warsztatowy oparty na STM32. Łączy w sobie miernik napięcia, analizator protokołów, tester sygnałów i wiele innych funkcji. Kolorowy wyświetlacz TFT oraz modularna budowa sprawiają, że mamy do czynienia z narzędziem niemal nieograniczonych możliwości – takim, które łatwo dopasować do własnych potrzeb.

Dla miłośników pracy z elementami SMD przygotowaliśmy coś wyjątkowego – nową wersję pęsety pomiarowej. W pierwszej części artykułu znajdziecie schemat i listę elementów, które pozwolą zbudować poręczną pęsetę łączącą funkcje multimetru, oscyloskopu, analizatora UART i generatora sygnału.

Nie zabraknie także tematów z pogranicza elektroniki i robotyki. W 25. odsłonie cyklu „Ekscytacje Maxa" śledzimy kolejne etapy prac nad animatroniczną głową robota – tym razem ruchy w trzech osiach i mechanizm oczu, który zachwycił nawet doświadczonych inżynierów.

W artykule „Więcej o pamięci komputerowej" kontynuujemy temat rozpoczęty w ubiegłym miesiącu. Tym razem jest to opowieść o tym, jak w pamięci RAM zapisuje się liczby, obrazy, dźwięki i modele 3D – z przeglądem SRAM-ów, DRAM-ów, pamięci w procesorach Apple M1/M2 i najnowszej DDR5.

W Chirurgii obwodowej przyglądamy się oscylatorom Royera, które choć kojarzone głównie z przeszłością, wciąż znajdują swoje miejsce w przetwornicach. Autor analizuje zasadę działania, nasycenie magnetyczne, a także trudności w symulacji i porównuje Royera z pokrewnym oscylatorem Baxandalla.

Znajdziecie także zdalne sterowanie na odległość 300 m, oparte na prostym module 433 MHz i zewnętrznej antenie – praktyczne rozwiązanie do sterowania oświetleniem lub innymi urządzeniami sieciowymi. W wykładzie 34 czekają na Was tłumiki pasywne – od prostych potencjometrycznych, po precyzyjne układy T-pad i π-pad, z objaśnieniem ich zastosowań w pomiarach i technice w.cz.

Nie zabrakło też tematów futurystycznych. W drugiej części artykułu o wszczepialnych chipach RFID/NFC pokazujemy, jak zapisać i odczytać zaszyfrowane informacje bezpośrednio z implantu – futurystyka, która służy edukacji i pokazuje możliwości biohackingu. Z kolei w projekcie systemu antykolizyjnego dla pojazdów (również część 2) autor łączy lidar z kamerą i bibliotekami OpenCV, tworząc prototyp systemu ADAS na bazie Raspberry Pi lub NVIDIA Jetson.

Na koniec coś dla najmłodszych (i nie tylko): w ramach Junior EdW prezentujemy zestaw Super Ucho – wzmacniacz, który pozwala usłyszeć szelest liści czy szept z drugiego końca sali. To świetna okazja, by nauczyć się lutowania i odkryć fascynujący świat akustyki.

Październikowy numer EdW to podróż przez różne światy elektroniki – od kilowatowych wzmacniaczy, przez laboratoryjne tłumiki i animatroniczne roboty, aż po mikroskopijne chipy wszczepiane pod skórę. Wierzę, że każdy znajdzie tu coś dla siebie – inspirację do eksperymentów, wiedzę do zgłębiania i radość z tworzenia.

Mariusz Ciszewski

eprasa.pl 5641c41152

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.



Dawnych wspomnień czar

Szanowny Panie Profesorze,

w tym roku już po raz drugi miałem przyjemność zaprezentować swoje skromne stoisko na wystawie komputerów zabytkowych (VCF West) w Kalifornii. Przybliżyłem amerykańskiej publiczności, bodaj po raz pierwszy, konstrukcje polskich komputerów osobistych z lat osiemdziesiątych, jak Elwro Junior 800 i Meritum, a także dwie wersje komputera Cobra – konstrukcji Sirko i Gancarza, którego opis opublikowano kiedyś w miesięczniku „Hi-Fi Audio Video” w 1984 roku. Na wystawie, oprócz oryginalnej Cobry 1, pokazałem wersję Cobra Color, którą – z wielkim wysiłkiem, nakładem czasu i z pomocą paru kolegów z forum elektroda.pl – budowałem przez ostatnie osiem miesięcy specjalnie na to wydarzenie, w zaprojektowanej przeze mnie do tego celu obudowie, która, na marginesie, jest pierwszą „z prawdziwego zdarzenia” od momentu powstania projektu, czyli od 40 lat.

Wystawę w ciągu dwóch dni odwiedziło 3 500 gości, co było prawdziwym rekordem w historii tego wydarzenia. VCF West odbywa się co roku, na początku sierpnia, w budynku największego na świecie Muzeum Historii Komputerów w Mountain View, w Kalifornii. Na marginesie: budynek ten był kiedyś siedzibą firmy Hewlett-Packard; po przeniesieniu firmy został przekazany miastu i przekształcony w muzeum.

- *Link do krótkiej relacji w postaci wideo na YouTube (zapraszam do obejrzenia): https://youtu.be/aet2HGi4fJw*
- *Moja strona internetowa poświęcona retro-komputerom: https://8051labs.com*
- *Dedykowana Cobrze strona internetowa, którą założyłem i prowadzę: https://www.cobra1.pl*

Szkoda, że polskie media i strony poświęcone komputerom zabytkowym nie zainteresowały się tym wydarzeniem. Istnieje zatem doskonała okazja, aby podzielić się z polskimi Czytelnikami tym skromnym pokazem polskiej myśli technicznej w dalekiej Kalifornii. Przekazuję niniejszy krótki list z w/w wiadomością na wyłączność AVT i będę wdzięczny za wzmiankę w którymś z miesięczników. Pod linkiem (2) zamieściłem kilka zdjęć z wystawy; jeśli będzie taka potrzeba, proszę o skorzystanie z nich w notce prasowej – byłbym za to bardzo wdzięczny, szczególnie że temat stoiska dotyczył polskich konstrukcji komputerowych.

Pozostaję z wyrazami szacunku.
Sławek Surowiński

Autor tego listu, Sławek Surowiński, był w latach dziewięćdziesiątych pracownikiem AVT i starsi Czytelnicy zapewne pamiętają jego rewelacyjne projekty na łamach „Elektroniki Praktycznej”.

Od dawna mieszka w USA. Jestem pełen podziwu dla jego pasji do krzewienia w USA wiedzy o niezwykłych dokonaniach polskich elektroników z lat osiemdziesiątych. Byłem redaktorem w miesięczniku Audio-Video i pamiętam, jak wielkim wydarzeniem była publikacja projektu komputera Cobra w 1984 roku – w roku startu AV.

Mimo spartańskich warunków wielu Czytelników AV zbudowało ten komputer. Koszt takiego hobby był wtedy niezwykle wysoki. Układy scalone można było kupić tylko z kontrabandy, a ich ceny w dolarach były wiele razy wyższe niż obecnie.

Dla lepszej orientacji dodam, że na stanowisku docenta zarabiałem 30 USD miesięcznie według realnego czarnorynkowego kursu. Zbudowanie komputera Cobra kosztowało majątek, a mimo to ten projekt stał się sensacją. Dziękuję Panu Sławkowi, że pokazuje Amerykanom, jak niewielki dystans dzielił kiedyś polskich pasjonatów elektroniki od czołówki światowej (około 8 lat), mimo amerykańskiego embarga technologicznego i wszelkich innych przeciwności losu doświadczanych w PRL.

Wiesław Marciniak

Aktywne głośniki monitorujące – z subwooferem czy bez?

Dzień dobry!

W numerze 5 „Elektroniki dla Wszystkich” rozpoczął się projekt „Wysokiej klasy aktywne monitory z subwooferem”. Część druga miała się ukazać w następnym numerze (i tak się stało), a następnie miał się pojawić opis subwoofera, jednak po tym ostatnim ślad zaginął.

Czyli start w numerze 5, potem część w numerze 6, a w numerach 7...9 nic w temacie. Czy część trzecia ukaże się jeszcze w EDW, czy mam szukać w archiwalnych numerach Silicon Chip?

Pozdrawiam
Ryszard Wrona, Tarnów



Red. Dziękujemy za Pana list i doceniamy, że z takim zainteresowaniem śledzi Pan nasze publikacje. Projekt „Wysokiej klasy aktywne głośniki monitorujące” to kompletne, dwuczęściowe opracowanie (EdW 5–6/2025), które można samodzielnie zbudować i bezpiecznie uruchomić. Subwoofer traktujemy jako dodatkową opcję.

Z przyjemnością informujemy, że materiały – i to aż dwa odcinki! – dotyczące subwoofera ukażą się w numerach kwietniowym i majowym 2026 roku. Decyzja o przesunięciu wynika z programu redakcyjnego – chcieliśmy wzbogacić kolejne wydania o teksty z innych dziedzin elektroniki ale też dodać do przedruków redakcyjne uzupełnienia.

Dziękujemy za wyrozumiałość i zapewniamy, że efektem będzie kompletny, dopracowany i praktyczny materiał wart oczekiwania.

Z poważaniem
Redakcja

eprasa.pl 5641c41152



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



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



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

BESTSELLERY sklepu AVT – sklep.avt.pl

Mierniki Testery FNIRSI

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

-3%

Rabat dla Prenumeratorów EdW
przy zakupie podaj numer prenumeraty

-6%



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



FN-LCR-P1
Tester elementów FNIRSI LCR-P1



FN-HRM10
Tester rezystancji wewnętrznej akumulatorów FNIRSI HRM-10



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



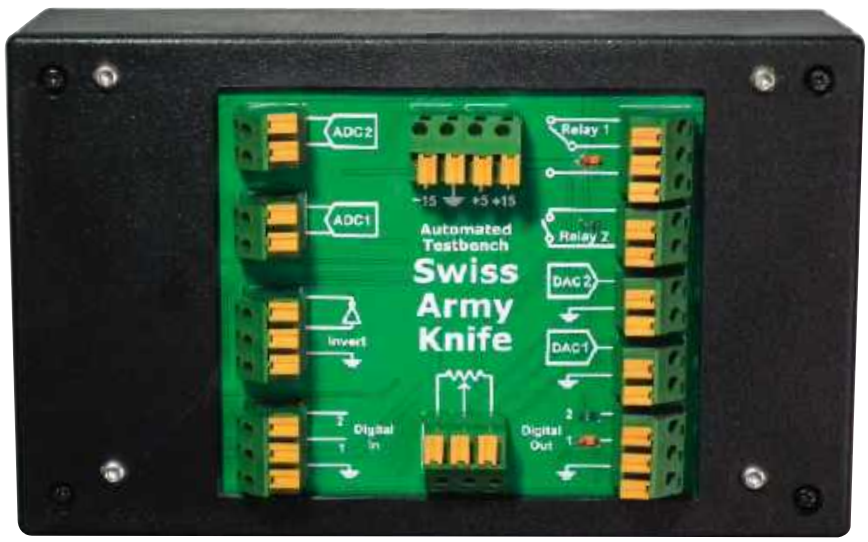
FN-DWS200-F245
Stacja lutownica 200 W z kolbą F245, FNIRSI DWS200



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

„Elektroniczny scyzoryk”, czyli wielofunkcyjny przyrząd warsztatowy

Opisywany układ to podręczny przyrząd z wieloma różnymi funkcjami. Wytwarza napięcia i sygnały testowe, symuluje zmienną rezystancję, dołącza i odłącza elementy do/od układu, mierzy napięcia. Przyrząd daje się sterować przez oprogramowanie, dzięki czemu może automatycznie wykonywać testy oraz rejestrować wartości wejściowe i wyjściowe do celów analizy.



Podczas testowania jakiegoś układu często muszę przeszukiwać szufladę w poszukiwaniu przełącznika, potencjometru lub podobnego elementu. Potrzebuję go, by przetestować układ w różnych zakresach napięć, z innymi wartościami elementów lub z jakimś podzespołem wstawionym do obwodu albo wyjętym z niego. Zazwyczaj mierzę również – w jednym lub dwóch punktach – wpływ różnych zmian na układ.

Zauważyłem, że najczęściej sięgam po te same elementy: przełącznik, potencjometr 100 kΩ, generator sygnału sinusoidalnego, źródło napięcia sterującego 0...10 V.

Zestaw tych najczęściej używanych elementów byłby na stanowisku testowym czymś takim jak scyzoryk. Większość scyzoryków nie próbuje wywołać wrażenia, że zawierają wszelkie narzędzia, jakie kiedykolwiek będą potrzebne, ani że są to narzędzia absolutnie najlepsze. Scyzoryki oferują po prostu solidny zestaw przyborów podstawowych. Dzięki scyzorykowi dajemy sobie radę, jeśli narzędzia idealnego nie ma pod ręką lub nie zachodzi potrzeba sięgania po niego.

Koszt i złożoność układu zostały zredukowane dzięki sterowaniu przez interfejs sieciowy Wi-Fi. Nie było potrzeby stosowania wyświetlacza. Sterowanie zdalne oznacza, że układ można sprząc z oprogramowaniem do automatyzacji testów, jak np. TestController, i zautomatyzować wiele zadań wykonywanych na stanowisku testowym.

Podstawowe cechy
- Wyjście napięciowe 0...10 V z przetwornika cyfrowo-analogowego (256 kroków)
- Generator sinusoidy 133 Hz...55 kHz
- Dwa różnicowe wejścia analogowe ±10 V (16-bitowy przetwornik ADC)
- Inwerter analogowy o zakresie wejściowym i wyjściowym ±10 V
- Dwa wyjścia cyfrowe 3,3 V
- Dwa wejścia cyfrowe tolerujące 5 V
- Potencjometr cyfrowy 100 kΩ z zakresem napięć na zaciskach ±15 V
- Jeden przekaźnik SPDT 10 A
- Jeden przekaźnik kontaktronowy SPST 350 mA
- Linie zasilania ±15 V i +5 V
- Zdalne sterowanie poprzez terminal szeregowy i Wi-Fi
- Interfejs WWW
- Połączenie z programem TestController
- Zasilanie z zasilacza wtyczkowego 5 V
- Kod „open-source” (z wyjątkiem interfejsu WWW)

Funkcje i wydajność

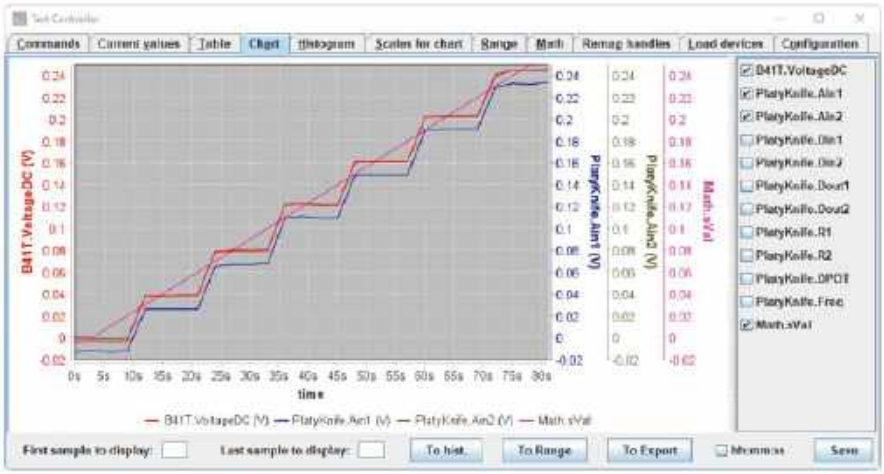
Są scyzoryki o pojedynczym ostrzu, są też monstra o ponad trzydziestu funkcjach. W projekcie zdecydowaliśmy się na dziewięć funkcji i skupiliśmy się na tym, aby były one z jednej strony proste w stosowaniu, a z drugiej – w granicach rozsądku – odporne na błędy użytkownika.

Połączenia wejściowe i wyjściowe wykonano za pomocą zacisków sprężynowych i zapewniono dostateczną liczbę połączeń masy.

Dwa wejścia analogowe z zabezpieczeniem nadnapięciowym, o 16-bitowej rozdzielczości, mogą mierzyć napięcia stałe w zakresie ±10 V z dokładnością do kilku miliwoltów z doskonałą liniowością. Można również mierzyć różnicę napięć obu wejść (do 20 V), o ile ich potencjały znajdują się w podanym zakresie. Zakres można rozszerzyć, dołączając do wejść rezystancje szeregowe.

Napięciowe wyjście analogowe 0...10 V jest ustawiane w 256 krokach po około 40 mV (**zrzut ekranu 1**). Dokładność nie jest tak wysoka jak dla wejść analogowych, ale 256 poziomów do większości zastosowań powinno wystarczyć.

eprasa.pl 5641c41152



Zrzut ekranu 1. Wyjście DAC-a zostało dołączone do obu wejść ADC. Widzimy wartość oczekiwaną napięcia (wykres fioletowy) w stosunku do napięcia rzeczywistego odczytanego przez multimetr (wykres czerwony), pierwszy kanał ADC (wykres niebieski) i drugi kanał ADC (wykres ciemnoszary) w zakresie 0...250 mV. Wykres ADC2 prawie dokładnie zgadza się z odczytem multimetru. ADC1 ma niewielki błąd przesunięcia spowodowany użyciem w prototypie rezystorów 5%

Generator fali sinusoidalnej pracuje w zakresie 133 Hz...55 kHz. Generator ma dwa zakresy napięcia wyjściowego o poziomach odpowiednio 6 V_{pp} (2,1 V_{sk}) i 775 mV_{pp} (0,27 V_{sk}). Wytwarzane częstotliwości są wielokrotnościami 133,33 Hz. Oprogramowanie zaokrągla ustawiane wartości w dół do najbliższej wielokrotności. Pomimo sterowania z przetwornika cyfrowo-analogowego (DAC) o tylko 8 bitach, szumy i zniekształcenia po filtrowaniu dolnoprzepustowym wynoszą w całym zakresie mniej niż 1,5% (**oscylogramy 1** i **2**). Głównymi czynnikami przyczyniającymi się do powstawania zniekształceń są kroki napięcia DAC-a, szczególnie skok o kilka kroków w punkcie przejścia przez zero. Artefakty te są znacznie mniej widoczne przy ustawieniu większego poziomu wyjściowego. Zaleca się zatem używanie tego właśnie ustawienia. Gdy wymagane jest dokładniejsze ustawianie amplitudy sygnału, generator można połączyć z cyfrowym potencjometrem, co dla każdego z obu podstawowych ustawień poziomu wyjściowego zapewni dalsze 256 kroków ustawiania.

Dodatkową elastyczność w postaci obsługi ujemnych napięć na wejściu lub wyjściu zapewnia inwerter oparty na wzmacniaczu operacyjnym.

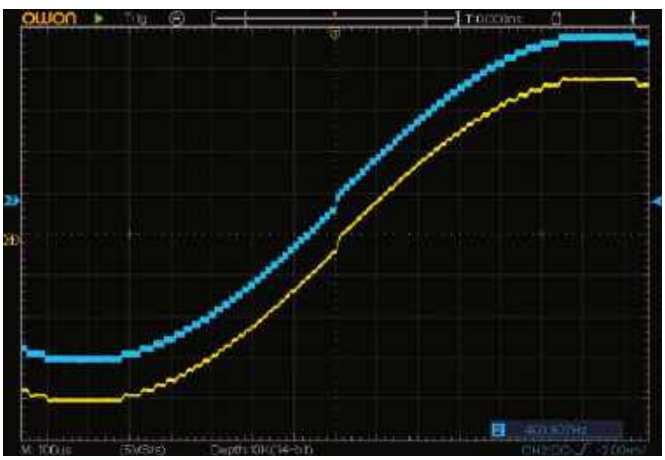
W zestawie znajdują się dwa różne przekaźniki. RLY1 to przekaźnik kontaktronowy SPST 350 mA, przydatny do przełączania małych sygnałów, natomiast RLY2 to przekaźnik SPDT 10 A, który może przełączać napięcia zasilania. Oba przekaźniki mają wskaźniki LED. Maksymalne zalecane napięcie na stykach każdego z przekaźnika wynosi 50 V – co podyktowane jest względami bezpieczeństwa podczas pracy warsztatowej, a nie parametrami samych przekaźników. Oba przekaźniki mogą się przełączać w czasie krótszym niż 10 ms.

Wejścia i wyjścia cyfrowe prowadzą do pinów wejścia/wyjścia w standardzie 3,3 V modułu ESP32 poprzez rezystory szeregowe, mające ograniczać prąd w przypadku dołączenia tych pinów do nieprawidłowego potencjału. Wejścia są zabezpieczone diodami Zenera. Tolerują napięcia do 20 V i poprawnie odczytują logikę 5 V. Wszystkie wejścia i wyjścia mają wskaźniki LED.

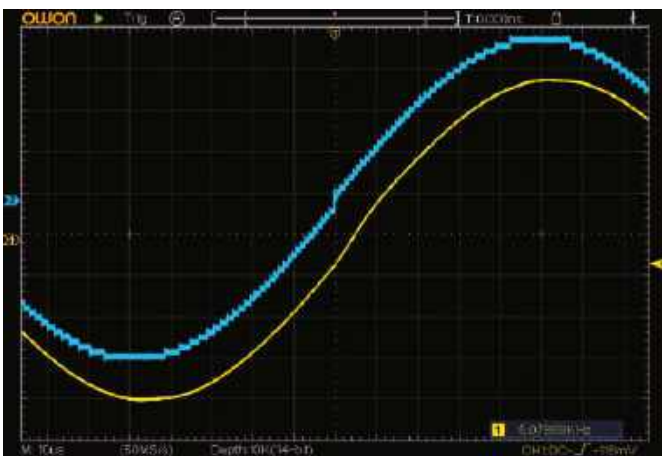
Zestaw funkcji uzupełnia 256-stopniowy potencjometr cyfrowy 100 kΩ. Użyliśmy typu, który pozwala na dołączenie jego zacisków do dowolnych potencjałów nieprzekraczających napięć zasilających ±15 V. Jeśli wolicie inną rezystancję (lub po prostu nie możecie dostać wersji 100 kΩ), możecie ją zastąpić inną wartością w ramach typu MCP45HV (5 kΩ, 10 kΩ lub 50 kΩ).

Cały układ jest umieszczony w obudowie UB1 i zasilany z zasilacza wtyczkowego 5 V. Do zasilania wzmacniaczy operacyjnych i potencjometru cyfrowego napięciem ±15 V wykorzystywany jest łatwo dostępny moduł przetwornicy podwyższającej. Napięcia zasilające ±15 V i +5 V są wyprowadzone z układu i mogą służyć do zasilania obwodów zewnętrznych. Przetwornica może dostarczyć 500 mA z +15 V i 200 mA z –15 V.

W stanie oczekiwania urządzenie pobiera z 5 V poniżej 100 mA, natomiast gdy oba przekaźniki są załączone, a wszystkie LED-y zapalone, pobór wzrasta do około



Oscylogram 1. Sygnał sinusoidalny 400 Hz pobierany bezpośrednio z przetwornika cyfrowo-analogowego (wykres niebieski) wykazuje w niższym zakresie poziomu wyjściowego znaczne zniekształcenia (szum) oraz nieciągłość przy przejściu przez zero. Na wyjściu za filtrem (wykres żółty) widzimy znaczną redukcję szumu kosztem niewielkiego „przeregulowania" widocznego przy każdym kroku przetwornika



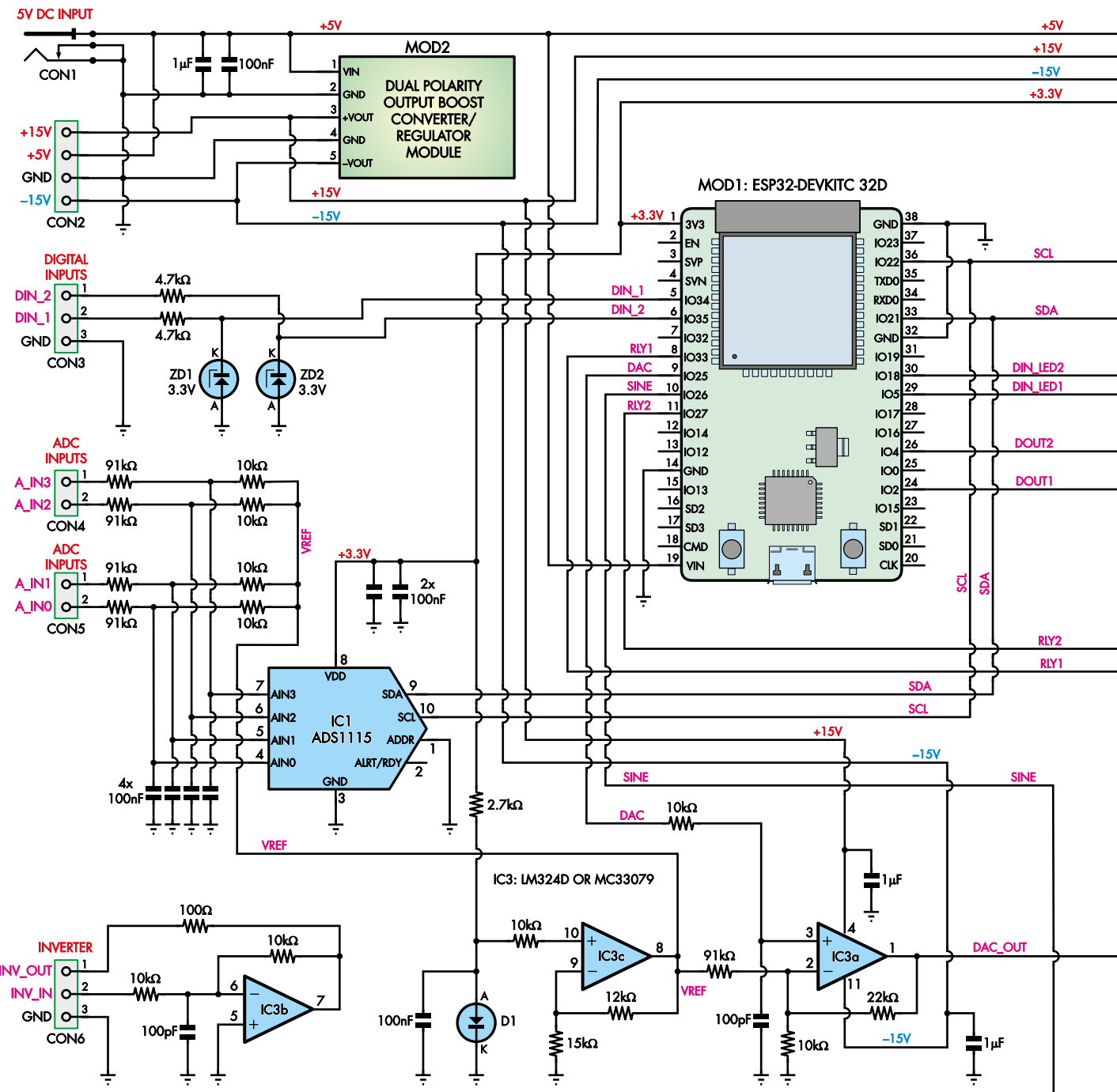
Oscylogram 2. Przy częstotliwości 5 kHz czas każdego kroku jest znacznie krótszy, a artefakty na wyjściu za filtrem są o wiele mniej widoczne

eprasa.pl 5641c41152

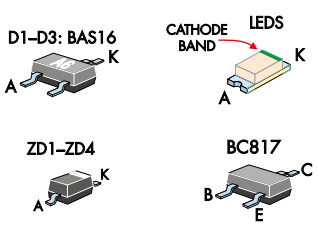
200 mA. Do zasilania urządzenia wystarczy więc zasilacz 1 A, choć, jeśli mają być zasilane rozbudowane układy zewnętrzne, zalecamy typ na 1,5 A.

Niezależnie jak duża jest sprawność przetwornicy, pobór prądu z zasilania 5 V będzie ponad trzy razy większy niż pobór z linii +15 V albo –15 V i ponad sześć razy większy niż pobór prądu układu dołączonego między tymi liniami.

W fazie uruchamiania urządzenie może być zasilane z zasilacza USB. Spadek napięcia



‘SWISS ARMY KNIFE’ TEST BENCH MULTITOOL



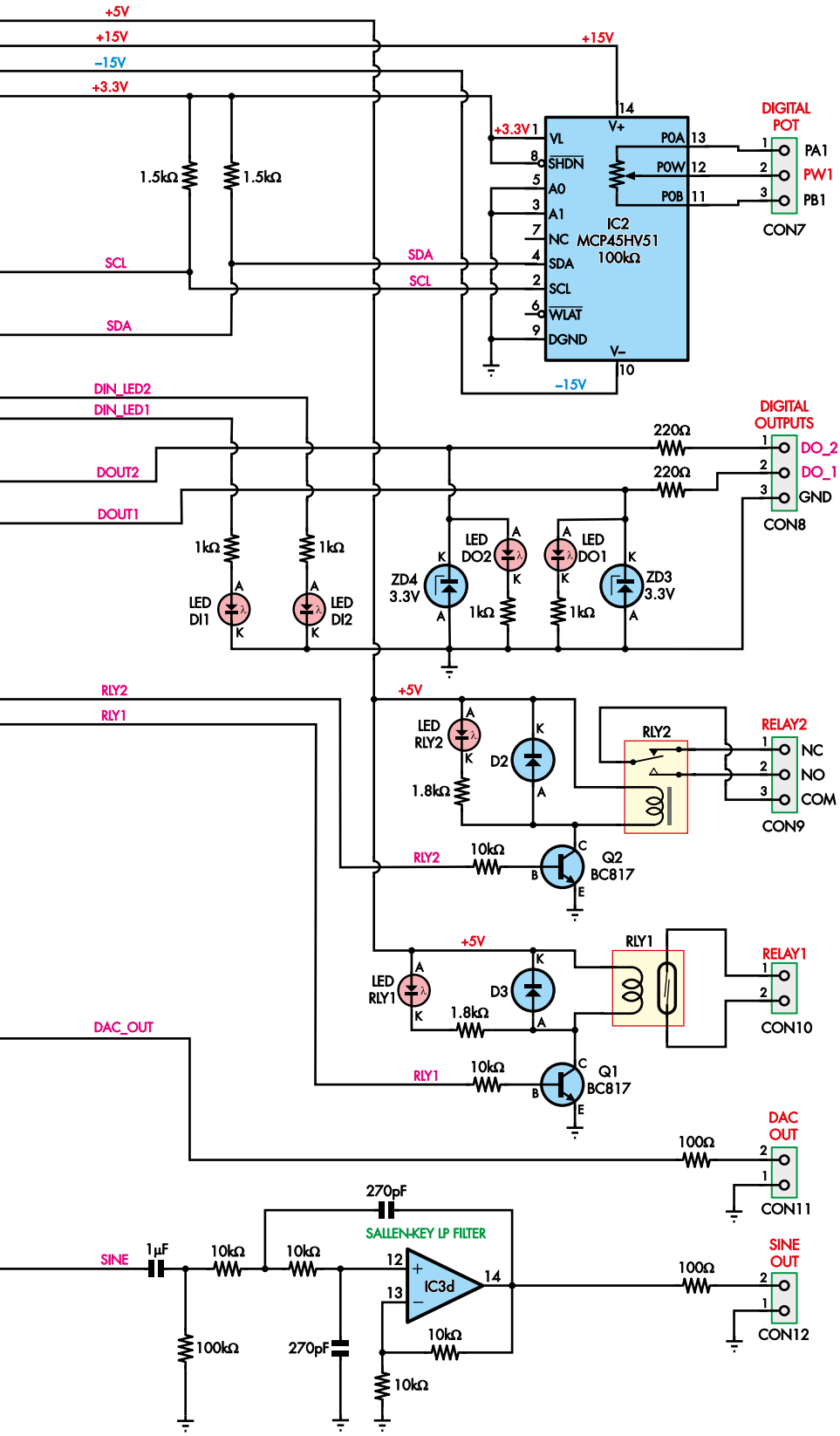
Rysunek 1. Konstrukcja „scyzoryka” jest oparta na module mikrokontrolera ESP32 Wi-Fi. Oprócz cyfrowych wejść i wyjść modułu wykorzystywany jest wewnętrzny przetwornik cyfrowo-analogowy (pin 9; IO25). Przetwornik ADC w ESP32 jest słabej jakości, więc zastosowano zewnętrzny dwukanałowy układ ADC z wejściami różnicowymi i interfejsem I²C (IC1). Jest też potencjometr cyfrowy (IC2) oraz poczwórny wzmacniacz operacyjny, który buforuje i filtruje sygnał wyjściowy z DAC-a oraz realizuje inwerter napięcia (IC3b) udostępniony do wykorzystania

eprasa.pl 5641c41152

na kablu USB może jednak powodować w module ESP32 wykrywanie zaniku napięcia zasilającego i skutkować powtarzającymi się w nieskończoność cyklami startu.

Układ ma elastyczny zestaw funkcji sterowanych zdalnie – choć samo urządzenie nie zawiera żadnych elementów sterujących! Zostało zaprojektowane specjalnie do współpracy z programem TestController i sterowania poprzez jego interfejs internetowy. Można sterować nim również poprzez polecenia tekstowe SCPI z monitora szeregowego USB w Arduino lub przez Telnet z programu terminalowego jak np. PuTTY. Szczegółowe informacje o zestawie poleceń SCPI i parametrach komunikacji znajdują się w podręczniku dostępnym w plikach do pobrania dołączonych do projektu.

Ustaliliśmy, że – w myśl koncepcji „scyzoryka„ – jako rezystory o wartościach krytycznych będą użyte łatwo dostępne typy o tolerancji 1%. Dokładność przyrządu „na dzień dobry" jest na poziomie kilku procent. Prosty proces kalibracji, wymagający użycia jedynie multimetru, zapewni dokładność analogową lepszą niż 1%. „Scyzoryk" nie będzie nigdy przyrządem precyzyjnym. Ma jednak wystarczającą dokładność, elastyczność i możliwości komunikacyjne, aby znacznie poprawić efektywność pracy na stanowisku testowym.



Szczegóły układowe

Sercem projektu – jak widać na **rysunku 1** – jest moduł mikrokontrolera ESP32 Wi-Fi. Moduł obsługuje cyfrowe wejścia i wyjścia, używając bezpośrednio swoich pinów cyfrowych. Zawiera przetwornik cyfrowo-analogowy i realizuje wyjście analogowe oraz generator sinusoidy. Ponadto zarządza komunikacją Wi-Fi i szeregową.

Wejścia cyfrowe w standardzie 3,3 V zawierają rezystory szeregowe 4,7 kΩ i diody Zenera ZD1 i ZD2 na napięcie 3,3 V, dzięki czemu są dość odporne na uszkodzenia. Pobierają tylko minimalny prąd z zasilania 3,3 V i około 0,3 mA z 5 V. Wejścia rejestrują stan wysoki przy napięciach powyżej 2,5 V na stykach 5 i 6 modułu (IO34 i IO35). Wejścia mają rezystory ściągające o dużej rezystancji (50 kΩ) wewnątrz modułu ESP32. Aby uniknąć obciążania wejść cyfrowych, odpowiadające im wskaźniki LED są sterowane przez oddzielne piny: 29 i 30 (IO5 i IO18).

Piny 24 i 26 (IO2 i IO4) sterują wyjściami cyfrowymi. Gdy są w stanie niskim, mają napięcie poniżej 0,3 V, a w stanie wysokim – powyżej 2,7 V. Rezystory szeregowe 220 Ω ograniczają prąd wyjściowy i wraz z diodami Zenera ZD3 i ZD4 stanowią ochronę przed nieprawidłowym podłączeniem.

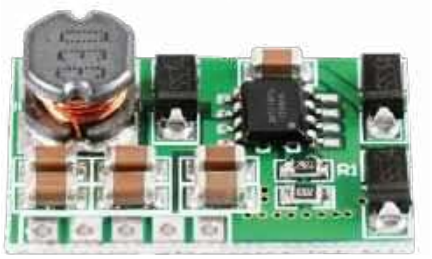
Sygnał wyjściowy z przetwornika cyfrowo-analogowego (DAC; pin 9) o zakresie 0...3,3 V jest przez wzmacniacz operacyjny IC3a wzmacniany do zakresu 0...10 V. Rezystor sprzężenia zwrotnego wzmacniacza został dobrany tak, aby zapewnić wzmocnienie nieco większe niż wymagane trzykrotne,

eprasa.pl 5641c41152

dzięki czemu tolerancje wartości elementów można skorygować poprzez kalibrację. Rezystor 10 kΩ i kondensator 100 pF tworzą filtr dolnoprzepustowy zmniejszający szumy przetwornika.

Na wyjściu sinusoidalnym jest wzmacniający filtr dolnoprzepustowy Sallen-Key'a (IC3d) o częstotliwości granicznej –3 dB około 70 kHz. Wzmocnienie wzmacniacza operacyjnego wynosi dwa. Filtry Sallen-Key'a o wzmocnieniu większym niż trzy są niestabilne.

Zakres napięcia wyjściowego wzmacniacza operacyjnego MC33079 rozciąga się aż do 1,5 V od każdej z linii zasilających (w przedstawionym układzie zakres ten wynosi około ±13,5 V; przypis redaktora). Wzmacniacze mają impedancję wejściową 175 kΩ. Ich prąd wyjściowy wynosi do ±30 mA. Mają funkcję ograniczania prądu zwarciowego. Rezystory 100 Ω w szeregu z wyjściami zapewniają dodatkowy margines bezpieczeństwa w przypadku nieprawidłowego podłączenia tych wyjść. Wzmacniacz operacyjny ma standardową obudowę i rozkład wyprowadzeń, zatem możliwe jest zastąpienie go innym typem. MC33079 to nowoczesny wzmacniacz operacyjny o dobrych parametrach. Do większości zadań „scyzoryka" nada się również „czcigodny" LM324.



Przedstawiony moduł przetwornicy 5 V na ±15 V ma układ wyprowadzeń pasujący do płytki drukowanej (MOD2). Można użyć innych typów modułów, ale może to wymagać zmian w połączeniach

Moduł ESP32 zawiera przetwornik analogowo-cyfrowy (ADC), ale nie jest on wystarczająco liniowy jak na potrzeby nawet podstawowych pomiarów. Napięcia analogowe podawane na złącza CON4 i CON5 są mierzone przez dwukanałowy 16-bitowy różnicowy przetwornik ADS1115 (IC1), zaprogramowany na zakres wejściowy 2,048 V. Dzielniki rezystancyjne 91 kΩ/10 kΩ na wejściach redukują sygnały z zakresu 10 V do wartości nieco poniżej 1 V, umożliwiając wykrywanie napięć wejściowych spoza zakresu znamionowego i skorygowanie tolerancji elementów w procesie kalibracji. Przewidziany jest pomiar napięć zarówno dodatnich, jak i ujemnych, więc sieci dzielników są dołączone do napięcia odniesienia +1,1 V (V_{REF}), a nie do masy.

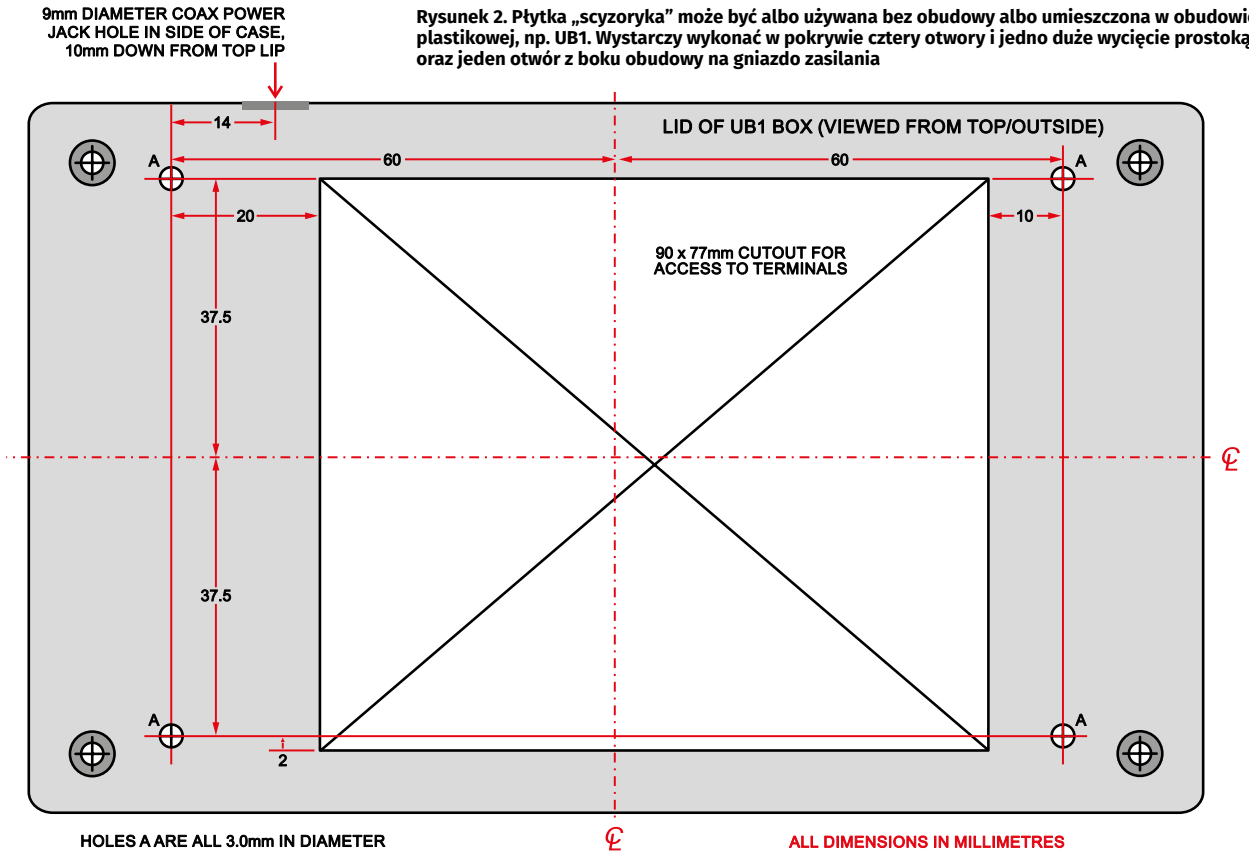
ADS1115 ma wbudowane zabezpieczenie przed przepięciem i napięciem ujemnym, pod warunkiem, że prądy wejściowe są mniejsze niż 10 mA. Prądy te są ograniczane przez rezystory w dzielnikach.

Jeśli będą trudności z nabyciem ADS1115, można go zastąpić ADS1015, co spowoduje niewielki spadek dokładności.

Napięcie odniesienia przetwornika ADC pochodzi z układu IC3c. Układ wzmacnia napięcie przewodzenia diody D1 (0,65 V) do wymaganego 1,1 V. Dioda jest zasilana prądem 1 mA z linii 3,3 V poprzez rezystor ograniczający prąd 2,7 kΩ.

Funkcje analogowe uzupełnia wzmacniacz odwracający IC3b. Para rezystorów 10 kΩ wyznacza jego wzmocnienie równe –1 i impedancję wejściową 10 kΩ. Kondensator 100 pF filtruje szumy wejścia z częstotliwością graniczną 160 kHz=1/(2π·10 kΩ·100 pF). Przypis redaktora: przedstawiony tu filtr nie spełni zadania z uwagi na to, że pracuje w obwodzie „wirtualnej masy" wzmacniacza operacyjnego. Częstotliwość graniczna tego filtru nie wynosi 160 kHz, lecz teoretycznie sięga dziesiątek gigaherców! Zaleca się dołączyć filtr do wejścia (–) wzmacniacza nie bezpośrednio, lecz przez dodatkowy rezystor 10 kΩ. Aby zachować wzmocnienie –1, należy wówczas zmienić wartość rezystora w sprzężeniu zwrotnym na 20 kΩ,

Rysunek 2. Płytka „scyzoryka" może być albo używana bez obudowy albo umieszczona w obudowie plastikowej, np. UB1. Wystarczy wykonać w pokrywie cztery otwory i jedno duże wycięcie prostokątne oraz jeden otwór z boku obudowy na gniazdo zasilania



eprasa.pl 5641c41152

ponadto trzeba zwiększyć pojemność kondensatora do 200...220 pF, ponieważ „widzi" on teraz rezystancję 5 kΩ, a nie 10 kΩ.

Potencjometr cyfrowy

W potencjometrach cyfrowych napięcia na „ścieżce oporowej" są zazwyczaj ograniczone do potencjałów napięcia zasilania części cyfrowej układu scalonego. MCP45HV51 (IC2) jest elementem nieco nietypowym, z rozszerzonym zakresem napięcia części analogowej. Napięcia zasilania analogowego wynoszą w nim ±15 V, a potencjały na zaciskach potencjometru mogą przyjmować dowolne wartości z tego zakresu. Do prototypu wybraliśmy wersję 100 kΩ. Seria MCP45HV ma również wersje 5 kΩ, 10 kΩ i 50 kΩ. Można użyć każdej z nich bez żadnych zmian w układzie.

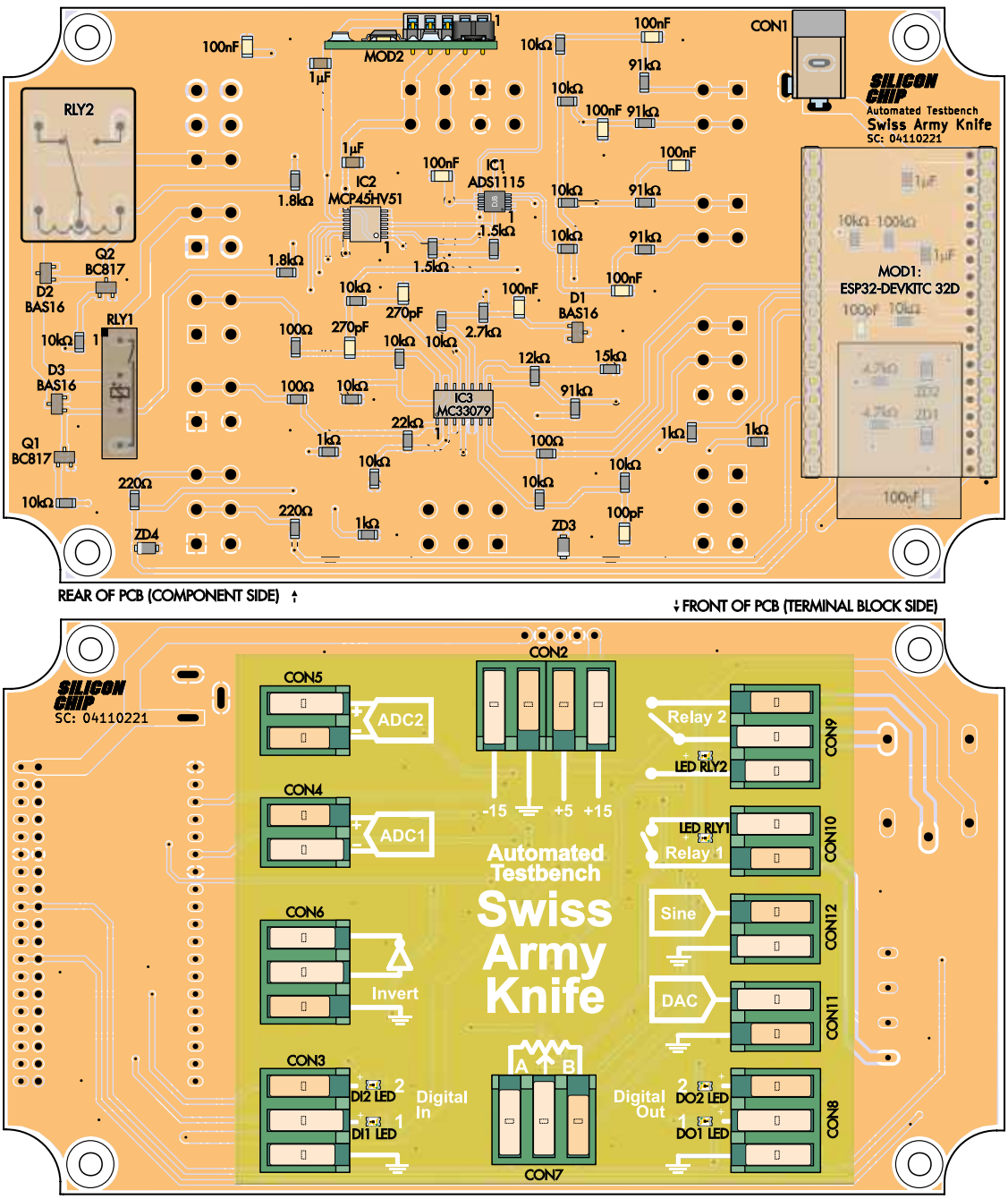
Zarówno przetwornik ADS1115 jak i cyfrowy potencjometr MCP45HV są sterowane przez moduł ESP32 po magistrali szeregowej I²C. W obu układach dodatkowe piny adresowe są ustawione na poziom niski.

„Scyzoryk" zawiera dwa przekaźniki, sterowane przez tranzystory NPN Q1 i Q2, z diodami D2 i D3 do rozładowania prądów cewek przy wyłączaniu. RLY1 to przekaźnik kontaktronowy SPST 350 mA z cewką 15 mA, natomiast RLY2 to przekaźnik dużej mocy 10 A ze stykami SPDT i cewką 5 V/85 mA. Gdy przekaźniki są załączane, zapalają się wskaźniki LED.

Zasilanie całego układu pochodzi z zasilacza wtyczkowego 5 V i modułu przetwornicy podwyższającej (MOD2), która dostarcza ±15 V. Wszystkie trzy linie zasilające są wyprowadzone do bloku zacisków i udostępnione do użycia w układach prototypowych.

Przygotowanie obudowy

Zamiast standardowej pokrywy użyliśmy własnej, wycinanej laserem. W przypadku użycia pokrywy standardowej należy zacząć



Rysunek 3 i 4. Elementy montujemy na płytce jak pokazano na rysunku, zwracając szczególną uwagę na kierunek montażu układów scalonych, diod LED, diod Zenera, przekaźnika RLY1 i modułu przetwornicy. Nie należy również pomylić ze sobą tranzystorów (Q1 i Q2) i diod małosygnałowych (D1 i D2). Orientacja rezystorów i kondensatorów nie jest istotna. Rezystory, w przeciwieństwie do kondensatorów, mają wartości oznaczone kodami. Na rysunku moduł przetwornicy jest wmontowany pionowo na złączu prostym. Można go też zamontować poziomo, jak na zdjęciu

eprasa.pl 5641c41152



Większość elementów jest montowanych na spodzie płytki drukowanej. Prototyp na zdjęciu nie był wersją ostateczną i zawierał dodatkowe przewody i elementy

od zaznaczenia i wycięcia w niej otworów (**rysunek 2**). Do wywiercenia są tylko cztery narożne otwory montażowe o średnicy 3 mm oraz prostokątne wycięcie. Można je zrobić, wiercąc serię otworów wewnątrz prostokątnego obrysu, przecinając otwory w celu usunięcia plastiku wewnątrz, a następnie wygładzając krawędzie do pełnego rozmiaru wycięcia.

Robimy to przed zmontowaniem płytki drukowanej, ponieważ gołą płytkę można umieścić na spodniej stronie pokrywy (stroną elementów do góry) i wtedy łatwo jest zlokalizować miejsca na otwory. Płytka powinna dokładnie przylegać do wypustek pozycjonujących. Zaznaczamy i wiercimy cztery otwory montażowe, a następnie wykonujemy wycięcie. Powinno się ono znajdować o 3 mm poza obrysem listew zaciskowych na płytce.

Dobrze byłoby użyć śrub z łbem stożkowym, a otwory montażowe odpowiednio sfazować, aby łby śrub licowały z powierzchnią pokrywy.

Montaż płytki drukowanej

Biorąc pod uwagę chwilowe niedobory elementów elektronicznych, może być konieczne zastąpienie niektórych typów podzespołów aktywnych innymi. Typy alternatywne były wymieniane wyżej w opisie układu, są również podane w liście elementów. Problemy z nabyciem elementów znikają w przypadku zakupu zestawu do samodzielnego montażu, o którym jest mowa w liście elementów.

Dwustronna płytka drukowana o wymiarach 142×83,5 mm oznaczona jest kodem 04110221. Rozmieszczenie elementów pokazano na **rysunku 3** i **4**. Większość elementów, łącznie z modułem ESP32, znajduje się po jednej stronie, a tylko złącza i LED-y po drugiej.

Na początku najlepiej jest zamontować trzy układy scalone w obudowach SMD. Lokalizujemy ich piny nr 1 i układy kładziemy na płytce tak, by piny te pokrywały się z padami oznaczonymi „1” (rysunek 3). Rozprowadzamy pastę topnikową na wyprowadzeniach układu scalonego, a następnie lutujemy jeden narożny pin każdego układu scalonego do odpowiedniego pada. Sprawdzamy, czy element leży płasko na płytce drukowanej i czy wszystkie wyprowadzenia leżą równo na padach, kontrolujemy jeszcze raz, czy pozycja pinu 1 jest prawidłowa, po czym lutujemy piny znajdujące się na przekątnych układów. Następnie lutujemy pozostałe piny, używając minimalnej ilości lutowia. Usuwamy wszelkie ewentualne zwarcia między pinami, stosując pastę topnikową i plecionkę lutowniczą. Po zakończeniu usuwamy wszystkie pozostałości topnika i sprawdzamy polutowane piny przez lupę, aby zadbać o to, by wszystkie połączenia zostały prawidłowo wykonane.

W podobny sposób lutujemy cztery elementy w obudowach SOT-23. Taką samą obudowę mają elementy dwóch różnych typów, należy więc uważać, aby ich nie pomylić. Następnie przylutowujemy cztery diody Zenera, upewniając się, że paski oznaczające katodę są zorientowane tak, jak na rysunku.

Dalej montujemy rezystory i kondensatory SMD. Rezystory są oznaczone kodami wskazującymi ich wartości. Na kondensatorach ceramicznych nie ma kodów i należy kierować

Wykaz elementów:

1 dwustronna płytka drukowana 142 mm × 83,5 mm; kod 04110221
1 obudowa UB1 [Altronics H0201 lub H0151, Jaycar HB6011]
1 pokrywa obudowy UB1 wycinana laserowo; akryl 3 mm (opcjonalna) [Silicon Chip SC6337]
1 zasilacz prądu stałego 5 V 1 A lub 1,5 A z wtyczką o średnicy wewnętrznej 2,1 mm [Altronics M8903A, Jaycar MP3144]
1 moduł ESP32-DEVKITC-32D (MOD1) [Silicon Chip SC4447, Altronics Z6385A, Jaycar XC3800]
1 moduł przetwornicy +5 V na ±15 V (MOD2) [Silicon Chip SC6587]
1 kabel micro-USB do programowania modułu MOD1
1 przekaźnik kontaktronowy 5 V SIP (RLY1) [Pan Chang SIP-1A05, Littelfuse HE3621A0510, Teledyne SIP-1A05-D]
1 przekaźnik SPDT 10 A z cewką na 5 V (RLY2) [Altronics Z6325, Jaycar XC4419]
2 złącza „goldpin” żeńskie 19-stykowe, raster 2,54 mm (do MOD1)
1 złącze „goldpin” żeńskie 5-stykowe (może być wycięte z dłuższego złącza), raster 2,54 mm (do MOD2)
1 gniazdo zasilania o średnicy wewnętrznej 2,1 mm, do montażu na płytce (CON1) [Altronics P0620, Jaycar PS0519]
7 zacisków sprężynowych 2-biegunowych typu „Euro” o rastrze 5 mm (CON2, CON4, CON5, CON10...CON12) [Altronics P2068, Jaycar HM3140, DECA MX722-500M lub Eaton EM278502]
5 zacisków sprężynowych lub krzywkowych 3-biegunowych typu „Euro” o rastrze 5 mm (CON3, CON6...CON9) [Altronics P2070, Jaycar HM3142, DECA MX732-500M lub Eaton EM278503]
4 śruby z łbem stożkowym M3 × 12 mm
4 nakrętki sześciokątne M3
8 podkładek nylonowych M3 × 1 mm

Półprzewodniki
1 przetwornik analogowo-cyfrowy ADS1115IDGST lub ADS1115IDGSR, MSOP-10 (IC1)
1 potencjometr cyfrowy 8-bitowy I²C MCP45HV51-x0xE/ST, TSSOP-14 (IC2) („x0x” oznacza 502 [5 kΩ], 103 [10 kΩ], 503 [50 kΩ] lub 104 [100 kΩ])
1 poczwórny wzmacniacz operacyjny LM324D lub MC33079, SOIC-14 (IC3) [Altronics Y2523, Jaycar ZL3342]
2 tranzystory NPN SMD BC817 lub BC846-BC850, SOT-23 (Q1, Q2) [Altronics Y1312, Jaycar ZT2118]
6 diod LED SMD, M2012/0805 lub „gull-wing” [Altronics Y1107, Jaycar ZD2000]
4 diody Zenera 3,3 V 1/2 W, DO-214 AC lub DO-213 AA/SOD-80/MiniMELF (ZD1...ZD4) [np. BZG05C3V3 czy MLL5226B]
3 diody małosygnałowe BAS16, BAV99 lub podobne, SOT-23 (D1...D3) [Altronics Y0089].

Kondensatory (wszystkie ceramiczne, 50 V, SMD, rozmiar M2012/0805)

2 szt. 100 pF NP0	2 szt. 270 pF NP0	8 szt. 100 nF X7R	4 szt. 1µF X7R

Rezystory (wszystkie metalizowane, 1%, SMD, rozmiar M2012/0805)

3 szt. 100 Ω	2 szt. 220 Ω	4 szt. 1 kΩ	2 szt. 1,5 kΩ	2 szt. 1,8 kΩ
1 szt. 2,7 kΩ	2 szt. 4,7 kΩ	15 szt. 10 kΩ	1 szt. 12 kΩ	1 szt. 15 kΩ
1 szt. 22 kΩ	5 szt. 91 kΩ	1 szt. 100 kΩ		

Zestaw SC6589
Zestaw zawiera płytkę drukowaną, pokrywę, wszystkie elementy SMD, moduł przetwornicy 5 V na ±15 V i przekaźnik kontaktronowy SIP. Wszystkie pozostałe elementy, takie jak obudowa, złącza, przekaźnik 10 A itp. są dostępne u sprzedawców detalicznych (Lista elementów).

eprasa.pl 5641c41152

```
OTA loader and Swiss Army Knife basic tests.
Starting with WiFi with SSID = [MYSSID], password = [MYPASSWD]
.......
Connected to MYSSID
IP address: 192.168.1.XX
OTA loader at http://SwissArmy.local or the IP address above.
ADC NOT found at I²C address 0x48
Digital pot NOT found at I²C address 0x3C
Setup done. Now toggling relays and digital outputs, DAC staircases.
```

Zrzut ekranu 2. Typowe komunikaty programu OTA-Test na monitorze szeregowym, zanim ESP32 będzie dołączony do głównej płytki drukowanej



Zrzut ekranu 3. Strona logowania Over The Air (OTA), wyświetlana przy pierwszym dostępie przez przeglądarkę do ESP32

się oznaczeniami na opakowaniach – lub mierzyć kondensatory przed wlutowaniem.

Na odwrotnej stronie płytki przylutowujemy sześć LED-ów SMD. Specjalnie oznaczone są zwykle ich katody. Powinny się one znaleźć z przeciwnej strony niż oznaczenia „+" na rysunku 4 i na płytce drukowanej (+ oznacza anodę). Przed wlutowaniem polaryzację LED-ów można sprawdzić multimetrem cyfrowym z funkcją testowania diod. LED-y powinny się lekko zaświecać, gdy przewód czerwony styka się z anodą, a czarny z katodą.

Po przylutowaniu na płytce wszystkich elementów SMD i przed zamontowaniem elementów przewlekanych usuwamy wszelkie pozostałości topnika. Do modułów ESP32 i przetwornicy podwyższającej przewidzieliśmy podstawki. Moduły można przylutować bezpośrednio, nie zalecamy jednak tego, ponieważ może to poważnie utrudnić uruchamianie płytki i programowanie ESP32.

Na stronie płytki zawierającej większość elementów montujemy gniazdo zasilania 5 V (CON1), moduły ESP32 (MOD1) i przetwornicy (MOD2) oraz przekaźniki. Montaż przetwornicy wykonujemy w oparciu o rysunek 3 i o zdjęcie zmontowanej płytki. Na płytce drukowanej znajduje się dodatkowy rząd pinów dla ESP32, ponieważ niektóre warianty tego modułu mają węższy odstęp wyprowadzeń. Podstawkę wkładamy oczywiście w ten rząd, który pasuje do posiadanego modułu.

Po drugiej stronie płytki montujemy złącza zaciskowe CON2...CON12. Najlepiej zorientować je tak, aby przewody wchodziły w złącza od zewnątrz płytki, ponieważ będzie wtedy najwygodniej dokonywać połączeń.

Montaż końcowy

Płytkę drukowaną montujemy pod pokrywą obudowy, tak aby otwór wycięty w jej górnej części odsłaniał prostokątny obszar pokazany na rysunku 4. Dopasowanie jest ciasne i może być konieczne niewielkie przycięcie elementów obudowy ustalających położenie płytki. Nie ma potrzeby stosowania naklejki z opisami, ponieważ najważniejsze opisy są naniesione sitodrukiem na płytce drukowanej.

Po stronie opisu na PCB obcinamy lub spiłowujemy wszystkie piny elementów przewlekanych, wystające na wysokość większą niż 1,5 mm. Montujemy płytkę na pokrywie, używając elementów dystansowych 2 mm (np. dwóch podkładek o grubości 1 mm), zapewniając prześwit dla pinów. Zaznaczamy i wiercimy w obudowie otwór na koncentryczne gniazdo zasilania (rysunek 2).

Ładowanie programu

Pora na zaprogramowanie modułu ESP32 (poza płytką drukowaną). Do ESP32 można wgrywać skompilowane programy w zintegrowanym środowisku programistycznym jak np. Arduino IDE, ale może również ładować pliki binarne w programie aktualizacji „over-the-air" (OTA). Daje to wygodną możliwość aktualizacji oprogramowania układowego bez komputera.

Pierwszym krokiem jest załadowanie programu OTA, który przeprowadza również test płytki. Instalujemy pliki dla płytki Arduino ESP32, postępując zgodnie z instrukcjami ze strony www.siliconchip.au/link/abh9. Następnie instalujemy dekoder wyjątków ESP32 i wtyczkę do przesyłania plików (wersje: https://github.com/me-no-dev/EspExceptionDecoder).

W Arduino IDE w menu Narzędzia wybieramy jako płytkę „ESP32 Dev Module". Edytujemy plik „OTA-Test.ino" z pakietu pobierania projektu (na stronie Silicon Chip), aby dołączyć swoje dane uwierzytelniające Wi-Fi.

Program kompilujemy i uruchamiamy. Szybkość transmisji Monitora Portu Szeregowego Arduino musi być ustawiona na 115 200. Monitor Portu Szeregowego wyświetli adres IP modułu ESP32. Wyniki powinny być podobne jak na **zrzucie ekranu 2**. Zgodnie z oczekiwaniami, program nie znalazł przetwornika ADC i potencjometru cyfrowego. Jeśli przegapicie jakieś komunikaty w konsoli, wciśnijcie po prostu przycisk startu (EN) na module ESP32, a program uruchomi się ponownie.

Wyłączamy zasilanie modułu ESP32 i wtykamy go do podstawki na płytce, z gniazdem USB skierowanym w stronę gniazda zasilania, nie wtykając na razie modułu przetwornicy. Ponownie podłączamy kabel USB do komputera. Powinny być teraz wyświetlane dwa wykryte układy I²C. Wszystkie sześć diod LED i oba przekaźniki powinny się załączać i wyłączać w dwusekundowych odstępach.

Teraz na chwilę wyłączamy zasilanie i wtykamy przetwornicę podwyższającą. Załączamy zasilanie i sprawdzamy napięcia linii ±15 V, nadal zasilając płytkę z łącza USB. Napięcie wyjściowe przetwornika DAC na listwie zaciskowej powinno powoli zmieniać się w zakresie od 0 do 10 V. Wyjście sygnału sinusoidalnego na listwie zaciskowej powinno mieć postać serii impulsów, ponieważ jego bufor jest sprzężony dla napięć zmiennych, a my podajemy mu sygnał schodkowy.

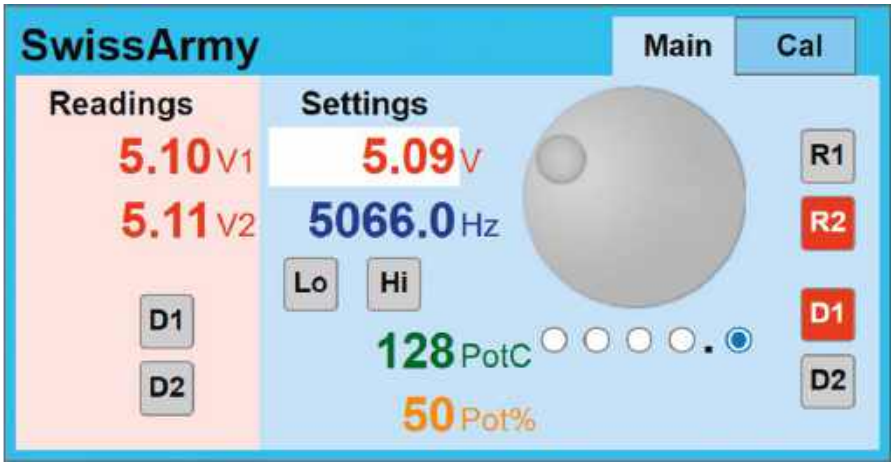
Podłączamy sygnał z przetwornika cyfrowo-analogowego (DAC) do wejścia wzmacniacza odwracającego i sprawdzamy, czy jego wyjście zmienia się odwrotnie do napięcia z DAC-a. Potencjometr cyfrowy i przetwornik ADC można będzie w pełni przetestować po załadowaniu programu głównego. Na razie potwierdziliśmy, że reagują one na komunikaty magistrali I²C.

W folderze Data, powiązanym z programem „OTA-Test", edytujemy plik „profile.json". Znajdujemy fragment, który wygląda jak poniżej, i zastępujemy wartości „ssid" i „pass" wartościami dla sieci Wi-Fi:

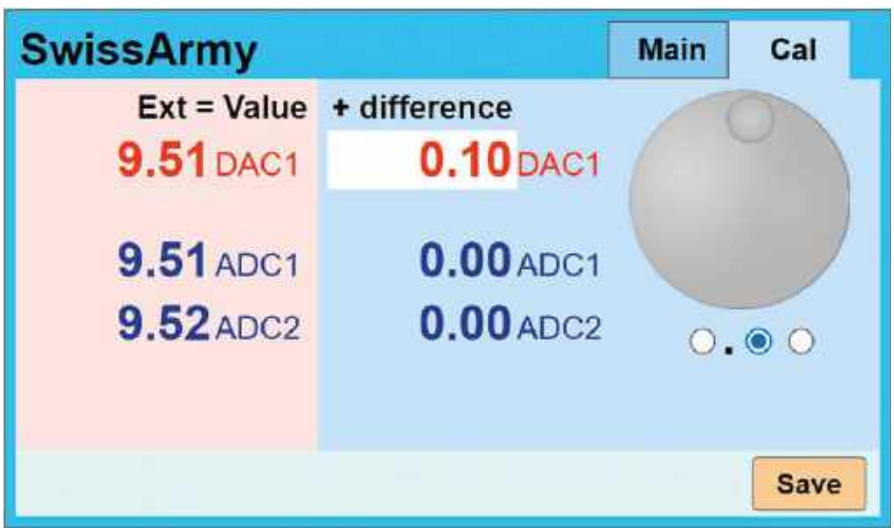
```
{
 "ssid" : "Twój identyfikator SSID",
 "pass" : "hasło WiFi",
 "hostname" : "SwissArmy"
}
```

Zamykamy następnie okno Monitora Portu Szeregowego. W menu Arduino Tools klikamy „ESP32 Sketch Data Upload" w celu skopiowania plików z folderu Data do lokalnego systemu plików ESP32. Pozostałe pliki w tym folderze są niezbędne dla interfejsu internetowego. Przesłany system plików pozostanie nienaruszony po dosłaniu nowych programów.

eprasa.pl 5641c41152



Zrzut ekranu 4. Strona główna internetowego interfejsu „scyzoryka". Przetworniki ADC1 i ADC2 odczytują napięcia odpowiednio 5,10 V i 5,11 V. Wejścia cyfrowe D1 i D2 są w stanie niskim. Na panelu ustawień przekaźnik RLY2 jest załączony, a wyjście cyfrowe D1 jest w stanie wysokim. Potencjometr cyfrowy jest ustawiony na krok nr 128 (50%). Aktualnie załączony jest generator przebiegu sinusoidalnego (parametr podświetlony) o amplitudzie 5,09 V; obracanie pokrętła będzie powodować zmiany z krokiem 0,1 V (wybieranym przyciskami pod pokrętłem)



Zrzut ekranu 5. Strona kalibracji. Gdyby zewnętrzny multimetr odczytywał 9,61 V, to odczyt napięcia wyjściowego DAC1 należałoby zwiększyć o 0,1 V. Do momentu kliknięcia przycisku Save („zapis") zmiany nie są zapisywane. Po zapisaniu wartości kalibracyjne są stosowane po rozpoczęciu każdej sesji

Kod źródłowy i inne pliki z oprogramowaniem są dostępne w serwisie GitHub pod adresem: https://github.com/palmerr23/SwissArmyKnife

Otwieramy stronę internetową, używając adresu IP lub URL wskazanego przez Monitor Portu Szeregowego. Logujemy się w interfejsie internetowym programu „OTA-Test" przy użyciu poświadczeń „admin" i „admin" (**zrzut ekranu 3**). Po zalogowaniu wybieramy pobierany plik BIN projektu przyciskiem „Choose file", a następnie naciskamy „Update". Strona internetowa będzie śledzić postęp przesyłania, a po krótkim czasie ESP32 uruchomi się ponownie.

Znów otwieramy Monitor Portu Szeregowego Arduino. Powinny zostać wyświetlone polecenia startowe, kończące się pytaniem „SCPI Command?". Jeśli w polu poleceń Monitora Portu Szeregowego wpiszemy „*IDN?" (bez cudzysłowów) i klikniemy „Wyślij", oprogramowanie powinno odpowiedzieć czymś w rodzaju „Platy,SwissArmy,00,v0.1".

Układ można teraz zamknąć w obudowie, zasilić z zasilacza wtyczkowego i sterować zdalnie poprzez interfejs internetowy.

W przypadku korzystania z połączenia USB zdecydowanie zalecamy od tego momentu używanie izolatora USB, co zapobiegnie uszkodzeniu modułu ESP32 w przypadku nieprawidłowego połączenia.

Zmiana poświadczeń Wi-Fi

Jeśli macie trudności z połączeniem się z siecią lokalną Wi-Fi albo musicie zmienić ustawienia, możecie wydać następujące polecenia w programie terminalowym lub w Monitorze Portu Szeregowego:

```
:SYST:SSID your-WiFi-SSID-without-quote-marks (Nazwa sieci Wi-Fi bez cudzysłowu)

:SYST:PASS your-WiFi-Password-without-quote-marks (Hasło Wi-Fi bez cudzysłowu)
```

Poświadczenia Wi-Fi można również zmienić, edytując na komputerze plik „profile.json" i przesyłając go ponownie, korzystając z przytoczonych wyżej instrukcji. Wystarczy otworzyć program „OTA-Test" i ponownie przesłać dane szkicu. Program „OTA-Test" nie musi być kompilowany ani przesyłany, ale układ po przesłaniu profilu będzie wymagał ponownej kalibracji.

Zdalne sterowanie i kalibracja

Układ został zaprojektowany przede wszystkim do współpracy z oprogramowaniem „open source" TestController (www.siliconchip.com.au/link/abev) lub za pośrednictwem interfejsu internetowego. Polecenia SCPI mogą być również wydawane poprzez izolowane połączenie szeregowe USB lub przez Wi-Fi, przy użyciu programu terminalowego takiego jak PuTTy czy TeraTerm. TestController używa komend SCPI do sterowania wszystkimi funkcjami poza kalibracją i ustawieniami komunikacji. Dalsze szczegóły dotyczące trybów zdalnego sterowania i poleceń SCPI są zawarte w podręczniku dołączonym w plikach do pobrania do tego projektu: www.siliconchip.com.au/Shop/6/58.

Interfejs sieciowy może sterować wszystkimi wyjściami i wyświetlać wszystkie wartości z wejść w zakładce Main (**zrzut ekranu 4**). Oferuje również funkcje kalibracji (zakładka Cal; **zrzut ekranu 5**).

Najlepiej, aby w danym momencie aktywna była tylko jedna metoda zdalnego sterowania, ponieważ zmiany wprowadzane w jednym interfejsie mogą nie zostać prawidłowo odzwierciedlone w pozostałych.

Interfejs sieciowy

Główna zakładka interfejsu internetowego znajduje się pod adresem http://swissarmy.local i zawiera po lewej stronie wartości odczytywane z wejść, a po prawej – ustawienia. Aby ustawić wartość liczbową, należy kliknąć na ustawienie, które ma być zmienione, i obracać pokrętłem. Wielkość przyrostu – od 0,1 do 100 jednostek – określają przyciski pod pokrętłem.

eprasa.pl 5641c41152

„Scyzoryk” testuje sam siebie

Wykresy na zrzucie ekranu 1 i **zrzucie ekranu 8** zostały utworzone poprzez podłączenie wyjścia analogowego „scyzoryka” do wejścia analogowego, a następnie sterowanie wyjściem analogowym w programie TestController. Program ten rejestrował mierzone wartości, włączając w to wyniki z multimetru podłączonego przez Bluetooth.

TestController został również użyty do utworzenia wykresów. Wyniki można było także w celu analizy wyeksportować do Excela. W tym celu napisałem skrypt (pokazany obok). TestController ma wbudowaną funkcję generatora schodkowego, która równie dobrze by się tutaj sprawdziła. Uruchomiłem skrypt kilka razy z różnymi parametrami. Pierwsza iteracja przeprowadziła podstawowy test liniowości układu przed kalibracją. Wartość kontrolna (Math.sVal) zmieniała się w zakresie od 0 do 10 V z krokiem 0,25 V.

Na zrzucie ekranu 8 wykres wejścia analogowego (niebieski) jest niemal całkiem ukryty za wykresem multimetru (czerwony), co wskazuje na doskonałą liniowość. Wyjście analogowe (wykres szary) nie zostało przed uruchomieniem testu skalibrowane i wykazuje błąd skali wynoszący około 300 mV.

Drugi test (zrzut ekranu 1), wykonany z krokiem 10 mV, sprawdzał zachowanie w pobliżu 0 V i sposób konwersji zmiennoprzecinkowej wartości sterującej na napięcie wyjściowe przetwornika cyfrowo-analogowego o 256 poziomach. Ponieważ każdy poziom wyjścia analogowego to 40 mV, napięcie wyjściowe pozostaje takie samo dla czterech przyrostów zmiennej sterującej (10 mV), co pozwala na czterokrotne spróbkowanie każdego poziomu wyjściowego.

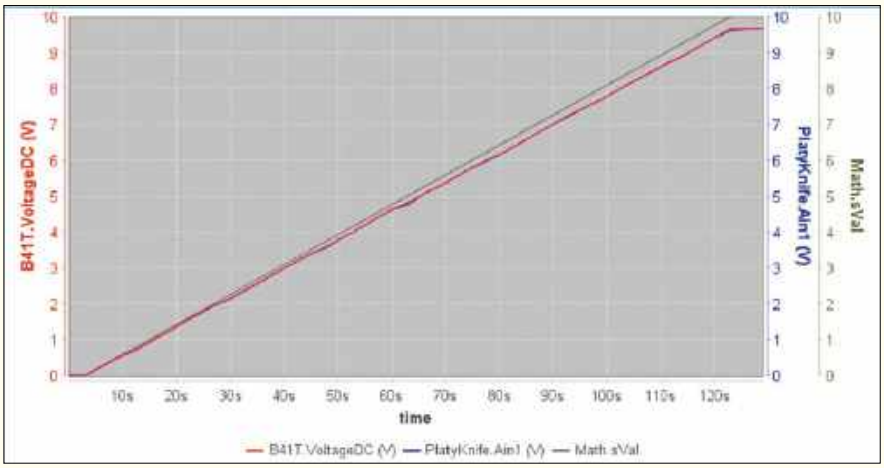
Wejście ADC1 ma ujemne przesunięcie („offset”) równy –10 mV. Wynika to z niedopasowania rezystorów dzielnika R2 i R4, ponieważ w prototypie zastosowano rezystory 10 kΩ o tolerancji 5%. Drugie wejście analogowe (wykres ciemnoszary) prawie nie wykazuje przesunięcia i dokładnie zgadza się z odczytami multimetru w całym zakresie.

Program uśrednia na każdy odczyt 16 próbek, co zmniejsza rozrzut odczytywanych wartości. ADS1115 mierzy do 860 próbek na sekundę. W przypadku dwóch kanałów ADC uśrednianie szesnastu próbek pozwala na 25 odczytów na sekundę, co dla naszych celów jest więcej niż wystarczające. Aby się przekonać, jak bardzo to pomaga, można porównać zrzut ekranu 1 ze **zrzutem ekranu 9**, na którym są te same pomiary bez uśredniania. Pomiar wejścia analogowego (wykres niebieski) wykazuje nierówności, reprezentujące wahania kilku odczytów z ADC.

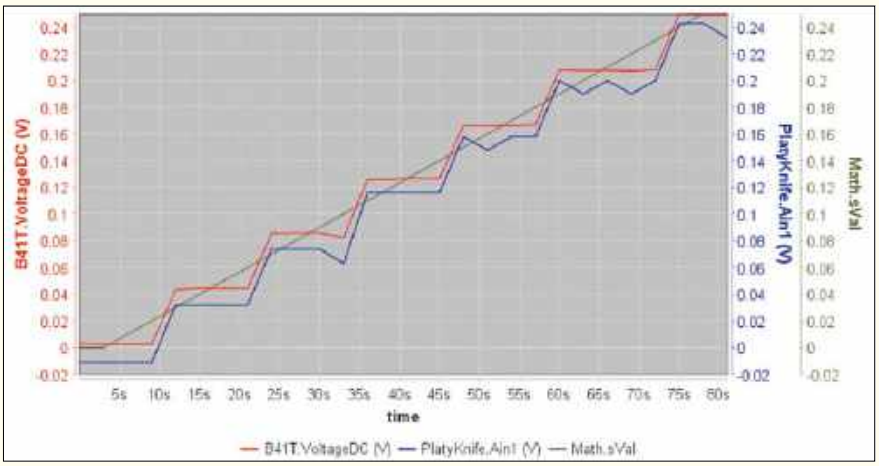
Skrypty te były uruchamiane wielokrotnie podczas pracy nad projektem, pozwalając zaoszczędzić czas i uniknąć błędów transkrypcji. Nawet gdy przyjmiemy skromną stawkę godzinową, zaoszczędzony czas był cenniejszy niż całkowity koszt elementów „scyzoryka”.

```
; ADC & DAC voltage tracking test
; create a control variable that can be logged
=globalvar sVal=0
; set initial value, let it settle and wait until value is logged
=sVal=0.0
PlatyKnife::SOUR:A1 0.00
#delay 3
; don't log commands and log values every 3 seconds
#logcmds 0
#log 3
#hasLogged
; each iteration: update analogue output and wait for logging
#while (sVal<10.2)
 PlatyKnife::SOUR:A1 (sVal)
 #hasLogged
 =sVal=(sVal+0.25)
#endwhile
#hasLogged
#log 0
```

Skrypt do TestControllera, którego użyłem do przetestowania „scyzoryka”. Po ustawieniu wartości początkowych napięcie wyjścia analogowego jest skokowo zwiększane o 0,25 V aż do osiągnięcia maksimum. W każdym cyklu przed przejściem do następnej wartości następuje zapis wyników do „dziennika”

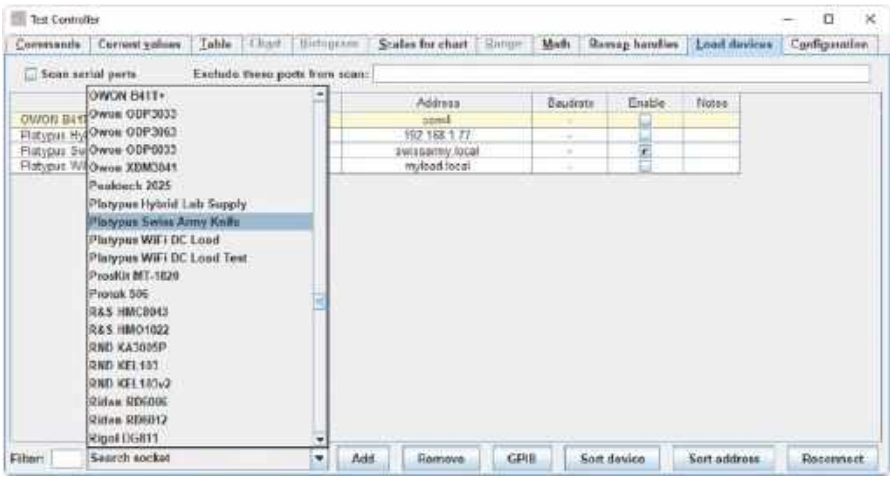


Zrzut ekranu 8. Porównanie wartości z wejścia i wyjścia analogowego względem wyników pomiaru multimetrem B41T w pełnym zakresie wyjściowym 0...10 V. Zauważmy, że wartość wejścia analogowego pokrywa się z odczytami multimetru, natomiast wyjście analogowe (Math.sVal) nie zostało jeszcze skalibrowane i wykazuje odchyłkę



Zrzut ekranu 9. Dokładność w pobliżu zera skali analogowej, bez uśredniania próbek wejściowych. Widać „schodki” przetwornika cyfrowo-analogowego wynoszące nieco ponad 40 mV. Błąd przesunięcia przetwornika ADC wynosi około -1 mV, a wartość ADC przy niskich napięciach pokrywa się z wynikami z multimetru. Widoczny tutaj jitter na poziomie 1 LSB zostaje prawie całkowicie wyeliminowany, gdy działa uśrednianie wykonywane przez oprogramowanie

eprasa.pl 5641c41152



Zrzut ekranu 6. Dodanie „scyzoryka” w oknie „Load devices” („wczytaj urządzenia”) programu TestController. Opcja ta staje się dostępna dopiero po zainstalowaniu pliku definicji urządzenia i ponownym uruchomieniu programu TestController

Pod ustawieniem częstotliwości generatora sinusoidalnego znajdują się przyciski do wyboru dolnego lub górnego zakresu napięcia wyjściowego.

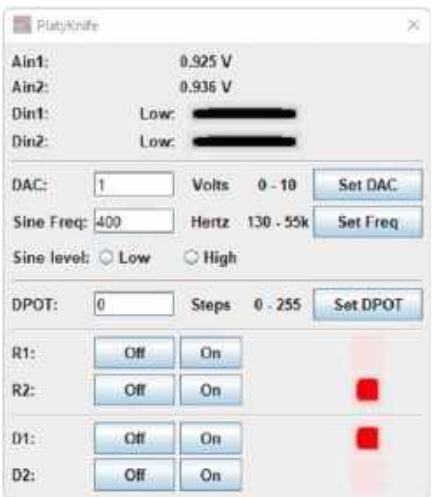
Potencjometr cyfrowy ma dwie powiązane skale – jedną od 0 do 255, a drugą w procentach obrotu. Można używać jednej z nich, a druga będzie się zmieniać synchronicznie. Przyciski przekaźnika i wyjścia cyfrowego znajdują się po prawej stronie.

Kalibracja

Wejścia i wyjścia analogowe można skalibrować w zakładce Cal przy użyciu multimetru. Podłączamy wyjście analogowe do obu wejść analogowych, w zakładce Main ustawiamy wartość DAC około 9,5 V, a następnie przechodzimy do zakładki Cal.

Mierzymy multimetrem napięcie na wejściu analogowym i w kolumnie „różnica” wpisujemy różnicę między wskazaniem multimetru a odczytem wejścia analogowego dla każdego wejścia (wartość dodatnią, jeśli wskazanie multimetru było wyższe niż odczyt wejścia). Po wykonaniu tej czynności ustawiamy wartość różnicy przetwornika cyfrowo-analogowego, a następnie klikamy przycisk „Zapisz”.

Kalibracja przetwornika cyfrowo-analogowego jest nieco mniej dokładna niż w przypadku przetworników ADC, ponieważ DAC ma tylko 256 kroków pokrywających cały zakres 10 V.



Zrzut ekranu 7. Wyskakujące okno TestController Setup pokazuje odczyty i umożliwia sterowanie większością funkcji. Wartości wejściowe są aktualizowane co sekundę

Nie trzeba kalibrować wszystkich wejść i wyjść jednocześnie, ponieważ kalibracja dla dowolnego wejścia czy wyjścia, gdy wartość różnicy wynosi zero, po kliknięciu przycisku „Zapisz” pozostanie niezmieniona.

Połączenie z programem TestController

Interfejs TestController może sterować wszystkimi funkcjami z wyjątkiem kalibracji i parametrów komunikacji. Do podfolderu Devices w folderze, w którym program TestController został zainstalowany, musi zostać załadowany plik definicji urządzenia „SwissArmyKnife.txt” (znajdujący się wśród plików do pobrania). Lokalizacja domyślna to „C:\TestController\Devices”.

Uruchamiamy ponownie TestController (**zrzut ekranu 6**) i w zakładce „Load devices” dodajemy urządzenie, używając adresu „swissarmy.local” a nie numeru IP, który, jeśli urządzenie nie było używane przez jakiś czas, może ulec zmianie. Następnie klikamy przycisk „Połącz ponownie”.

W oknie poleceń klikamy przycisk „Setup” (konfiguracja), co spowoduje wyświetlenie okna przedstawionego na **zrzucie ekranu 7**. Wartości wejściowe będą wyświetlane w górnej części okna i aktualizowane raz na sekundę, a wszystkie wartości wyjściowe można ustawiać w części dolnej.

Wnioski

Projekt, choć stosunkowo prosty, może znacznie usprawnić efektywność i elastyczność pracy na stanowisku testowym. Szczególnie gdy jest używany w połączeniu z innymi zdalnie sterowanymi instrumentami, takimi jak programowany hybrydowy zasilacz laboratoryjny (Silicon Chip maj i czerwiec 2021 r.; www.siliconchip.au/Series/364; EdW 3/2024) czy programowane sztuczne obciążenie stałoprądowe sterowane przez Wi-Fi (Silicon Chip wrzesień i październik 2022 r.; www.siliconchip.au/Series/388; EdW 4/2025). ■

Richard Palmer

Materiały dodatkowe dostępne są na stronie Silicon Chip:
https://www.siliconchip.com.au/Shop/8/6588

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

REKLAMA



eprasa.pl 5641c41152



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



SMD Tweezers – kolejne wcielenie pęsety pomiarowej SMD, część 1

Pęseta pomiarowa SMD (EdW 2/2024), podobnie jak jej ulepszona wersja (EdW 10/2024), to narzędzie proste, ale wielce przydatne. A my opracowaliśmy teraz kolejną wersję pęsety – z większym ekranem, łatwiejszym w użyciu interfejsem oraz wieloma dodatkowymi funkcjami i ulepszeniami.

Jeśli nigdy nie zbudowaliście pęsety SMD, to możecie się zastanawiać, o co tutaj chodzi.

W październiku 2021 r. opublikowaliśmy projekt prostej pęsety pomiarowej (www.siliconchip.com.au/Article/15057), a w kwietniu 2022 r. drugą wersję (www.siliconchip.au/Article/15276), i oba projekty stały się bardzo popularne. Sprzedano setki tych zestawów.

Obie te konstrukcje służyły do badania elementów SMD. Test odbywał się poprzez przykładanie napięcia do elementu za pośrednictwem rezystora. Używany był niewielki 8-pinowy mikrokontroler 8-bitowy, zasilany z pojedynczej baterii pastylkowej CR2032. Pierwotna wersja pęsety mierzyła rezystancję, pojemność lub napięcie przewodzenia diody i pokazywała wyniki na niewielkim wyświetlaczu OLED.

Druga, ulepszona wersja wykorzystywała taki sam sprzęt, ale mikrokontroler miał większą pamięć FLASH. Pozwoliło to dać dodatkowe funkcje – takie jak możliwość obrócenia treści wyświetlacza o 180°, aby pęsetę można było wygodnie używać każdą ręką, czy rozszerzony zakres pomiaru pojemności.

Funkcje zaawansowane

Oba warianty pęsety zostały zaprojektowane tak, by były proste, miały niewielkie rozmiary i niski koszt wykonania. W obu użyto jak najtańszego mikrokontrolera i jak najmniejszego wyświetlacza. Biorąc pod uwagę popularność, jaką cieszyła się pęseta, musieliśmy stworzyć kolejną wersję – i było oczywiste, że musi ona po prostu „zwalać z nóg”.

Żeby było jasne – w stosunku do pierwszych dwóch wersji dokonała się nie drobna zmiana, ale wręcz rewolucja. Już z listy funkcji widać, że nowa pęseta potrafi znacznie więcej niż jej dwie poprzedniczki.

Jedną z funkcji, których oczekiwaliśmy od mikrokontrolera, było 12-bitowe przetwarzanie analogowo-cyfrowe (ADC). Zapewniłoby to lepszą rozdzielczość niż w przypadku przetwornika 10-bitowego, standardowego w większości 8-bitowych mikrokontrolerów PIC, również w tych, których używaliśmy w poprzednich pęsetach. W czasopiśmie Silicon Chip w numerze z października 2022 r. (www.siliconchip.au/Article/15505) dokonaliśmy przeglądu wybranych nowych typów 8-pinowych mikrokontrolerów PIC. Od tego też czasu zaczęliśmy w niektórych projektach używać mikrokontrolera PIC16F18146.

Pęseta zaawansowana jest nieco większa od wersji wcześniejszych, ale tylko dlatego, że ma większy wyświetlacz i dodatkowe przyciski. Są również nowe tryby pomiarowe, w tym oscyloskop, woltomierz, generator charakterystyk napięciowo-prądowych (charakterograf) i generator przebiegów prostokątnych

W naszej zaawansowanej pęsecie zdecydowaliśmy się jednak nie używać układu 8-bitowego. Wybraliśmy model 16-bitowy, PIC24FJ256GA702, o 28 pinach. Ma on 12-bitowy przetwornik ADC, uzyskujemy więc lepszą rozdzielczość. Zawiera również kilka innych interesujących układów peryferyjnych, z których chętnie skorzystaliśmy.

Typ ten nie jest dużo droższy od mikrokontrolerów 8-bitowych, a bez wątpienia jest o wiele bardziej wydajny. Co ważne, ma dużo więcej pamięci RAM i FLASH, dzięki czemu mogliśmy wprowadzić znacznie więcej

eprasa.pl 5641c41152

trybów pracy i ustawień. Dodatkowa pamięć oznaczała również, że czcionka blokowa, używana we wcześniejszych wersjach pęsety, mogła zostać zastąpiona czcionką większą i znacznie bardziej czytelną.

Zaimplementowaliśmy też kilka ciekawych sposobów testowania i pomiaru. Przedstawmy więc oferowane tryby testowania.

Tryby pracy

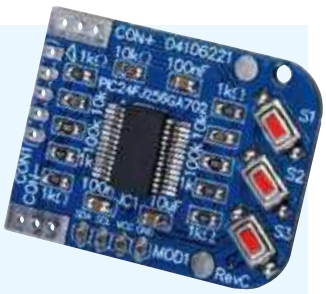
Poprzednie wersje pęsety miały tylko jeden tryb pracy – próbę zidentyfikowania testowanego elementu i wyświetlenie jego wartości. W przypadku rezystora czy kondensatora pęseta pokazywała rezystancję lub pojemność. W przypadku diody było mierzone jej napięcie przewodzenia oraz polaryzacja i wyświetlane były oba te parametry. Diody podwójne, połączone antyrównolegle, jak np. dwukolorowe diody LED, nie były wykrywane, ponieważ przewodzą w obu kierunkach.

W pęsecie zaawansowanej jest wiele nowych trybów, które pokrótce przedstawimy. Potem, w drugiej części artykułu (w części dotyczącej używania pęsety), przejdziemy do bardziej szczegółowych informacji.

Jest kilka trybów, które, tak jak w wersjach poprzednich, służą do scharakteryzowania elementu – rezystora, kondensatora czy diody. Ale teraz pęseta, zamiast sama wybierać jeden z tych rodzajów, może wyświetlać wszystkie swoje oceny jednocześnie. Dzięki dużemu wyświetlaczowi nie stanowi to problemu. Sposób ten znacznie redukuje ryzyko nieprawidłowej identyfikacji elementu. Nadal istnieją tryby przeznaczone konkretnie dla rezystorów, kondensatorów albo diod, a w każdym z tych trybów dużą, wyraźną czcionką wyświetlana jest tylko jedna wartość. Tryb taki musi być jednak świadomie wybrany przez użytkownika. Te dedykowane tryby przydają się szczególnie w przypadku kondensatorów SMD, które zazwyczaj nie mają nadrukowanych żadnych oznaczeń. W trybie przeznaczonym dla diod, do elementu wysyłany jest mały prąd polaryzujący o stałej wartości, przerywany tylko podczas cyklu odczytu. Ma to tę zaletę, że w przypadku diody LED natychmiast wiadomo, czy działa i jaki ma kolor.

Jedną z największych zalet pęsety jest możliwość sprawdzenia niemożliwych lub trudnych do odczytania wartości elementów SMD. Przydaje się to szczególnie w przypadku kondensatorów oraz diod LED, których oznaczenia polaryzacji są zwykle słabo widoczne.

Pęseta ma też tryb woltomierza cyfrowego, w którym odbywa się pomiar napięcia między końcówkami w zakresie do ±30 V.



Specyfikacja

- 10 trybów pomiarowych
- Zasilanie z jednej baterii litowej CR2032
- Prąd w stanie uśpienia: < 1µA
- Dokładność pomiaru rezystancji: ~1% (po kalibracji)
- Dokładność pomiaru napięcia: ~2% (po kalibracji)
- Dokładność pomiaru pojemności: ~5% (po kalibracji)
- Regulowany czas uśpienia
- Regulowana jasność wyświetlacza
- Przy pracy ciągłej usypianie może zostać wstrzymane
- Obraz na wyświetlaczu można obrócić, dostosowując pęsetę do osoby prawo- lub leworęcznej
- We wszystkich trybach jest wyświetlane napięcie baterii
- Automatyczna kalibracja niektórych parametrów
- Przyrząd działa przy spadku napięcia baterii do 2,4 V
- Żywotność baterii w trybie gotowości: równa jej okresowi przechowywania
- Żywotność baterii podczas działania: zazwyczaj kilka godzin

Tryby pomiarowe

1. Rezystancja: 1 Ω...40 MΩ, ± 1%
2. Pojemność: 10 pF...150µF, ± 5%; odczyty do 2000µF
3. Napięcie przewodzenia diody: 0...2,4 V, ± 2%
4. Połączone wyświetlanie rezystancji / pojemności / napięcia diody
5. Woltomierz: 0...± 30 V ± 2%
6. Oscyloskop: zakres napięć ± 30 V, próbkowanie do 25 kSa/s
7. Dekoder szeregowej transmisji UART
8. Charakterograf napięciowo-prądowy
9. Sonda logiczna
10. Generator przebiegów prostokątnych

Oscyloskop

- Zakresy napięć: 0...5 V, 0...10 V, 0...20 V, 0...30 V, –5...+5 V, –10...+10 V, –20...+20 V, –30...+30 V
- Wyzwalanie zboczem narastającym, opadającym, obydwoma lub ciągłe (auto)
- Poziom wyzwalania ustawiany w krokach 1 V
- Podstawa czasu (na działkę; są 4 działki): 1 ms, 2 ms, 5 ms, 10 ms, 20 ms, 50 ms, 100 ms, 200 ms, 500 ms

Opcja dekodera transmisji szeregowej UART

- Szybkość transmisji: 110, 1200, 2400, 4800, 9600, 14 400, 28 800, 38 400, 57 600, 115 200 baud
- Rozmiar danych i parzystość: 8/bez, 8/np, 8/p i 9/bez
- 1 lub 2 bity stopu
- Stan aktywny: wysoki lub niski
- Prezentacja danych: tekstowa (tryb terminalowy) lub szesnastkowa

Charakterograf

- Próbkowanie sześciopunktowe, aktualizacja w czasie rzeczywistym; środek wykresu: 0 V / 0 mA
- Skala pionowa (na działkę, 4 działki łącznie): 1 mA, 500 µA, 200 µA, 100 µA, 50 µA
- Skala pozioma (na działkę, 4 działki łącznie): 2 V, 1 V, 500 mV, 200 mV, 100 mV

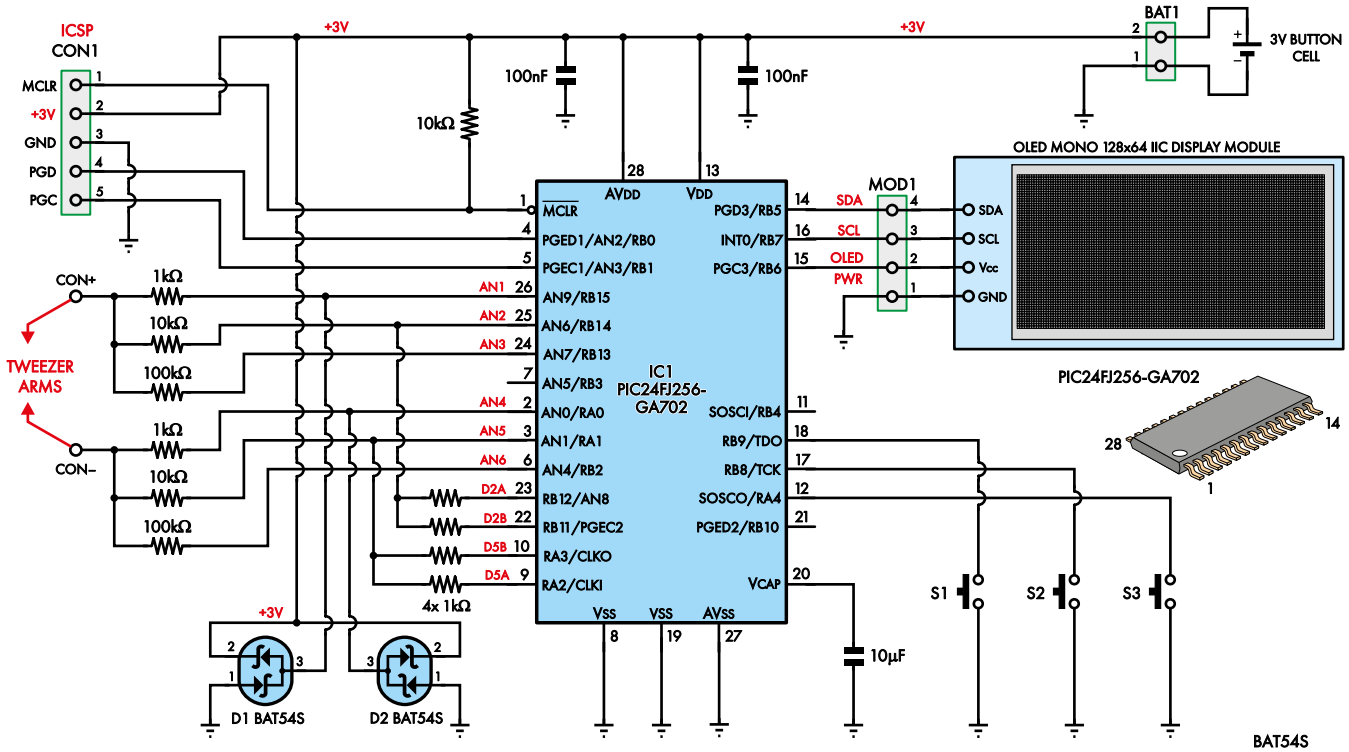
Generator przebiegów prostokątnych

- Częstotliwości: 50 Hz, 60 Hz, 100 Hz, 440 Hz, 1 kHz
- Amplituda (V_{pp}): 300 mV, 600 mV, 3 V, 6 V
- Funkcja załączania/wyłączania (domyślnie: wyłączony)

Jest również tryb oscyloskopowy. W tym trybie pęseta może próbkować sygnał z częstotliwością do 25 kSa/s. Skale napięcia i czasu są nastawialne, jest również kilka podstawowych trybów wyzwalania. Pęseta może nie zastąpi „porządnego" oscyloskopu, ale na pewno będzie użyteczna do szybkiego badania sygnałów w pasmie akustycznym. Tryb oscyloskopu wykorzystuje ten sam stopień wejściowy, co tryb woltomierza, więc ma ten sam zakres ±30 V.

Jak wiadomo, nowe modele oscyloskopów cyfrowych mają opcje dekodowania transmisji szeregowej. Zaawansowana pęseta również ma takie możliwości. Jest tylko jeden kanał wejściowy, więc możemy dekodować dane tylko w formacie asynchronicznym (UART) o różnych szybkościach transmisji i parametrach.

eprasa.pl 5641c41152



Rysunek 1. Mikrokontroler o 28 wyprowadzeniach zajmuje dwa razy więcej miejsca niż układy w obudowach SOIC-8, używane w poprzednich pęsetach. Jest jednak wiele zalet posiadania tak wielu pinów wejścia/wyjścia. 10 z nich służy do konfigurowania zacisków pomiarowych, zapewniając znacznie większe zakresy pomiaru. Inne trzy piny odczytują przyciski obsługujące sterowanie i kalibrację. Kolejny pin załącza i wyłącza wyświetlacz

Aby usunąć ograniczenie polegające na tym, że w trybie diodowym może sprawdzać tylko zwykłe typy diod, zaimplementowaliśmy tryb kreślenia charakterystyki napięciowo-prądowej (V/I). Wykres tej charakterystyki pozwoli na zgrubną identyfikację wielu „tajemniczych" elementów.

W trybie sondy logicznej można rozpoznawać poziom logiczny wysoki, niski oraz wielką impedancję. Jest również wykonywany wykres historii stanu cyfrowego, dzięki czemu można oglądać stany przejściowe i przebiegi.

Generator sygnałowy wytwarza fale prostokątne o różnych częstotliwościach i amplitudach. Rozwiązanie jest idealne do wprowadzania sygnałów testowych do sprzętu elektroakustycznego lub przebiegu zegara do układu cyfrowego.

Do pracy ze sprzętem audio proponujemy używanie dwóch pęset. Jedna posłuży do wprowadzania sygnału do układu, a druga do jego śledzenia. Pęseta ma tę wielką zaletę, że jest zasilana bateryjnie, dzięki czemu żaden jej zacisk nie musi być połączony z masą badanego obwodu.

Pęsetę wyposażyliśmy w trzy przyciski. Daje to większą kontrolę nad tym, co pęseta robi i ułatwia jej wykorzystanie. Pozwoliło to również dodać szereg bardziej rozbudowanych opcji kalibracji i konfiguracji niż w przypadku wersji wcześniejszych.

Szczegóły układu

Rysunek 1 przedstawia schemat pęsety. Układ zawiera pewne ulepszenia w stosunku do wcześniejszych wersji, zapewniające lepszą dokładność w szerokim zakresie wartości elementów i lepiej zabezpieczające mikrokontroler.

Mikrokontroler IC1 to typ PIC24FJ256GA702, wyposażony w liczne piny wejścia/wyjścia, pozwalające łączyć się z testowanym elementem na różne sposoby. Widoczne jest pewne dziedzictwo projektowe od wcześniejszych wersji pęsety. Podobnie jak w tych pierwszych wersjach, zasilanie układu napięciem znamionowym 3 V zapewnia bateria pastylkowa (BAT1).

W każdym zastosowaniu użytego typu mikrokontrolera niezbędne jest dodanie do układu trzech kondensatorów, a także rezystora 10 kΩ dołączonego do pinu 1 układu. Rezystor ten podciąga pin MCLR do „plusa", umożliwiając normalną pracę po „resecie", chyba że zastąpi go podłączony programator/debugger. W celu programowania i uruchamiania, pin MCLR i inne piny związane z programowaniem mikrokontrolera są wyprowadzone na złącze CON1. Zauważmy, że piny programowania PGED i PGEC (piny 4 i 5) nie są współdzielone z żadnymi innymi funkcjami, co znacznie ułatwia programowanie i uruchamianie układu.

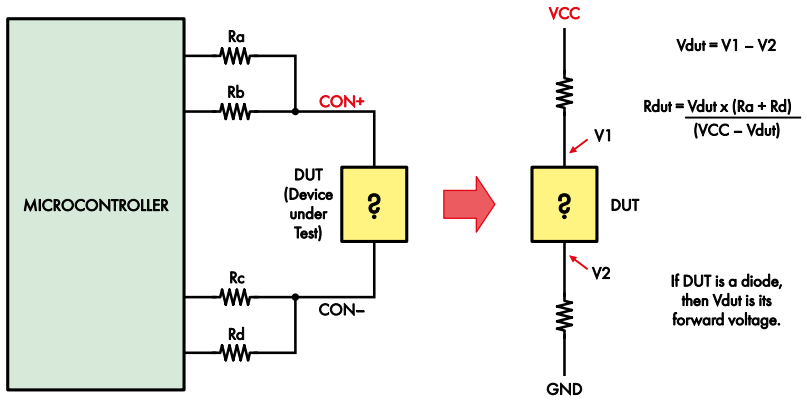
Dodane kondensatory 100 nF odsprzęgają główne zasilanie układu, natomiast kondensator 10 µF odsprzęga wewnętrzny stabilizator napięcia zasilającego rdzeń mikrokontrolera.



Układ ramion i końcówek pęsety jest taki sam jak w poprzedniej wersji. Użyte zostały te same płytki drukowane ramion oraz pozłacane styki jako końcówki – rozwiązanie proste i praktyczne

eprasa.pl 5641c41152

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



Rysunek 2. Do pomiaru napięć pęseta wykorzystuje wewnętrzny przetwornik ADC mikrokontrolera, a obliczanie rezystancji i napięć na diodach opiera się na wzorze na dzielnik napięcia. Podobnie było w poprzednich wersjach pęsety. Teraz jednak zwiększeniu uległ zakres i poprawiła się dokładność – dzięki dodatkowym rezystorom i 12-bitowej (poprzednio: 10-bitowej) rozdzielczości przetwornika ADC

Połączenie między mierzonym elementem (podłączonym do końcówek pęsety CON+ i CON–) a mikrokontrolerem zapewnia dziesięć rezystorów. Zauważmy, że nie ma żadnych bezpośrednich połączeń między mikrokontrolerem a zaciskami pomiarowymi. Każda linia przechodzi zawsze przez co najmniej jeden rezystor. Jest to kolejne ulepszenie konstrukcji pęsety, zapewniające mikrokontrolerowi lepszą ochronę przed światem zewnętrznym. Ma to szczególne znaczenie, ponieważ użytkownicy pęsety będą wykonywać nią pomiary na pracujących układach elektronicznych.

Rezystory 1 kΩ idące do pinów 2 i 26 mikrokontrolera stanowią połączenia o najniższej rezystancji, więc każdy z tych pinów zabezpieczyliśmy podwójną diodą Schottky'ego dołączoną do masy i do linii zasilania. Ograniczają one napięcia na pinach mikrokontrolera do dostatecznie małych wartości, zapobiegając jakiemukolwiek przepływowi prądu przez złącza półprzewodnikowe wewnątrz mikrokontrolera.

Do pinów wejścia/wyjścia dochodzą również trzy przyciski S1, S2 i S3. Piny są wewnątrz mikrokontrolera podciągane do dodatniej linii zasilania. Po naciśnięciu przycisku jego linia przechodzi w stan niski, co jest wykrywane przez mikrokontroler.

MOD1 to wyświetlacz OLED o przekątnej 0,96 cala (24 mm). Jest on prawie dwa razy szerszy i dwa razy wyższy niż wyświetlacz 0,49-calowy (12,5 mm), używany we wcześniejszych wersjach pęsety. Obecny wyświetlacz jest znacznie bardziej czytelny i może zawierać więcej informacji.

Dwa piny mikrokontrolera są przeznaczone na interfejs I²C modułu wyświetlacza. Trzeciego pinu I/O używamy do zasilania wyświetlacza (pin VCC). Oznacza to, że program może całkowicie odłączyć zasilanie od modułu, dzięki czemu nie pobiera on w ogóle prądu po przejściu pęsety w stan czuwania. Mieliśmy dawniej problemy z niektórymi – najwyraźniej wadliwymi – wyświetlaczami 0,49-calowymi: pobierały one w trybie czuwania zbyt dużo prądu. Więc w nowej konstrukcji dokonaliśmy obejścia tego problemu.

Pomiar rezystorów i diod

Duża część operacji zależy oczywiście od oprogramowania układowego. Zanim jednak przejdziemy do jego omawiania, wyjaśnimy, w jaki sposób mikrokontroler na różne sposoby wykorzystuje rezystory pomiarowe do pomiaru elementów i napięć.

Mikrokontroler ma wewnętrzne źródło napięcia odniesienia 1,2 V. Mierzymy to napięcie w przetworniku ADC z napięciem zasilania jako odniesieniem. Obliczamy odwrotność wyniku, otrzymując w ten sposób wartość napięcia zasilania. Na przykład, jeśli pomiar napięcia odniesienia 1,2 V da wynik równy 40% zakresu, to napięcie zasilania musi wynosić 1,2 V/0,4, czyli 3 V.

Napięcie wewnętrznego źródła odniesienia może różnić się nawet o 5% od wartości znamionowej. W celu zapewnienia precyzji pomiarów dokładna wartość tego napięcia musi zostać wyznaczona w procesie kalibracji.

Rysunek 2 przedstawia układ używany do pomiaru rezystorów i diod. Rezystory Ra i Rb stanowią jedną z kombinacji istniejących rezystorów 1 kΩ, 10 kΩ i 100 kΩ. Takie same wartości mają Rc i Rd. Dołączone do tych rezystorów piny mikrokontrolera mogą być wprowadzane w stan wysoki, niski lub wielkiej impedancji. Zwykle Ra jest poprzez pin w stanie wysokim podciągany do napięcia zasilania, a Rb jest odłączony (jego pin ma wielką impedancję). W analogiczny sposób Rd jest dołączany do masy przez pin będący w stanie niskim, a Rc jest odłączony. W ten sposób prąd przepływa z mikroprocesora przez Ra i zacisk CON+ do elementu, a następnie przez CON– i Rd do masy.

Następnie jest przeprowadzany pomiar, w którym CON+ jest ściągany do niskiego potencjału, a CON– podciągany do wysokiego. Oba pomiary pozwalają zmierzyć diodę niezależnie od kierunku jej włączenia.

Piny niewymieniane w tych opisach znajdują się w stanie wielkiej impedancji, więc nie mają wpływu na pomiary.

Do odczytu napięć na pinach dołączonych poprzez Rb i Rc jest używany przetwornik analogowo-cyfrowy (ADC) mikrokontrolera. Jako potencjału odniesienia przetwornik używa napięcia zasilania, tego samego, które zasila układ pomiarowy, dzięki czemu wyniki pomiarów rezystancji nie zależą od wartości tego napięcia.

Do obliczeń są brane bezpośrednie wartości z przetwornika. Mikrokontroler PIC24FJ256GA702 zawiera przetwornik 12-bitowy, co daje 4096 kroków, czyli cztery razy więcej niż w przypadku przetwornika 10-bitowego.

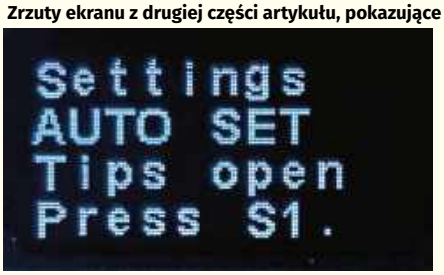
Obliczenia opierają się na wzorze na dzielnik napięcia. Przeprowadzanych jest sześć pomiarów z wykorzystaniem różnych kombinacji wartości 1 kΩ, 10 kΩ i 100 kΩ. Sumaryczna rezystancja dołączana w szereg z testowanym elementem wynosi 2 kΩ, 11 kΩ i 101 kΩ. Pomiary są przeprowadzane dla obu polaryzacji. Najlepszą



Na zdjęciu widać odstęp między modułem wyświetlacza a główną płytką drukowaną. Zwróćmy uwagę na pin w rogu wyświetlacza, pochodzący ze złącza męskiego „goldpin", a użyty jako element dystansowy i wzmacniający. Zapobiega on wyginaniu się płytek względem siebie i powstawaniu zwarć między nimi

eprasa.pl 5641c41152

Zrzuty ekranu z drugiej części artykułu, pokazujące stan wyświetlacza pęsety podczas pracy



Zrzut 5: AUTO SET kalibruje trzy parametry, wykonując pomiary wewnętrzne przy otwartych końcówkach pomiarowych. Efekt kalibracji zależy od tego, czy zostały wprowadzone ustawienia poprzedniej kalibracji i czy są one prawidłowe



Zrzut 14: Stan początkowy w trybie miernika, w którym można mierzyć napięcia do 30 V o polaryzacji zarówno ujemnej, jak i dodatniej. Rozdzielczość wynosi 10 mV na zakresie 9,99 V i 0,1 V na wyższym zakresie



Zrzut 15: Bardzo przydatny jest tryb oscyloskopu, mimo że wykres sygnału ma tylko 100 pikseli w poziomie i 48 pikseli w pionie. Próbkowanie odbywa się z częstotliwością do 25 kHz, co wystarcza do badania sprzętu elektroakustycznego. Można ustawić różne tryby wyzwalania

rozdzielczość otrzymujemy wtedy, gdy rezystancja obwodu pomiarowego i rezystancja mierzona mają zbliżone wielkości. Algorytm odrzuca mniej dokładne wyniki i wybiera ten, który daje najdokładniejszą wartość końcową.

Takie same pomiary z rezystancją szeregową 2 kΩ są używane w przypadku diod. W celu wyznaczenia napięcia przewodzenia diody, wyniki są skalowane przez wartość napięcia zasilania obliczoną wcześniej.

Jeśli napięcie na badanym elemencie jest zbliżone do napięcia zasilania, wtedy zakłada się, że element nie przewodzi prądu. Ma to miejsce w przypadku diod spolaryzowanych zaporowo lub gdy nie jest podłączony żaden element. Dioda jest wykrywana tylko wtedy, gdy napięcie na jej zaciskach jest w jednym kierunku znacznie niższe niż napięcie zasilania, a w drugim – zbliżone do napięcia zasilania. I w takim przypadku wyświetlana jest polaryzacja diody i jej napięcie przewodzenia.

Pomiar kondensatorów

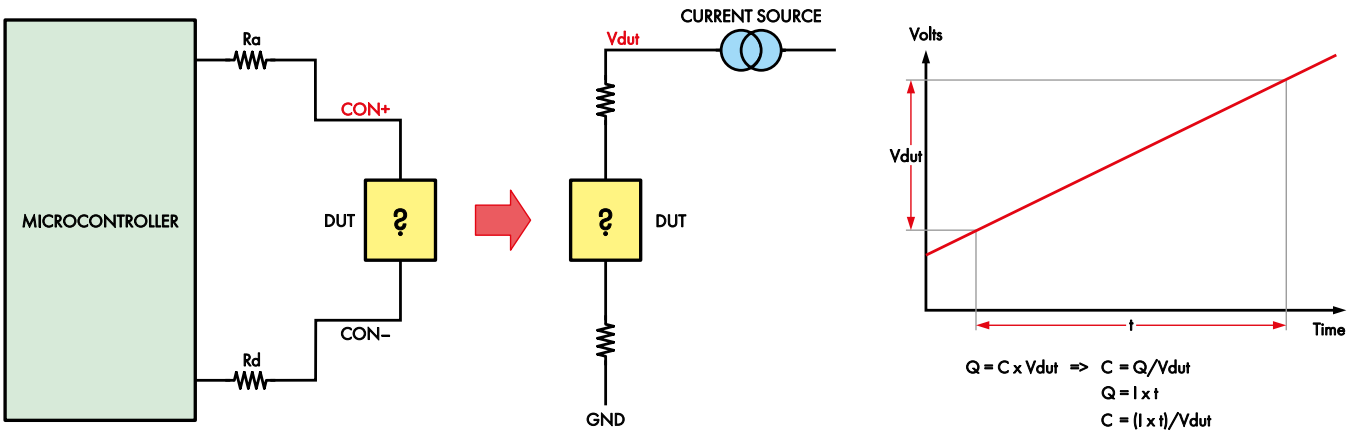
Na **rysunku 3** pokazano obwody pomiarowe używane do pomiaru pojemności kondensatorów. Przetwornik ADC w mikrokontrolerze dysponuje funkcją CTMU („charge time measurement unit" czyli „pomiar czasu ładowania"). CTMU ma liczne zastosowania. Dla nas istotne jest, że zawiera on programowane źródło prądowe, które może być dołączane do pinu ADC podczas fazy próbkowania.

Określenie „czas ładowania" pochodzi stąd, że źródło prądowe może być sterowane przez zewnętrzne układy wyzwalające, i można mierzyć czas między wyzwoleniami poprzez pomiar ilości ładunku, jaki wpłynął do kondensatora o znanej pojemności. W naszym przypadku dostarczamy znany prąd przez znany czas, a zatem znany, stały ładunek, a dzięki równaniom z rysunku 3 możemy zmierzyć pojemność. Nie musimy uciekać się do skomplikowanych obliczeń zawierających logarytmy, które zwykle występują w analizie obwodów RC. W poprzednich wersjach pęsety z mikrokontrolerami 8-bitowymi unikaliśmy logarytmów, stosując przybliżenia i utrzymując obszar ładowania kondensatora w zakresach, w których przybliżenia te były najdokładniejsze.

Podczas pomiaru pojemności Rd jest dołączony do masy, a Ra do źródła prądowego CTMU. Wykonywany jest pomiar ADC, a po określonym czasie drugi pomiar. Między tymi pomiarami źródło prądowe jest aktywne.

W obu przypadkach prąd płynie przez rezystory szeregowe po 1 kΩ. Rezystory obniżają napięcie mierzone, bo prąd wywołuje na nich spadki napięcia. Rezystancje 1 kΩ, najniższe, obniżają napięcie w najmniejszym stopniu. Na szczęście spadki napięć są takie same dla pomiaru pierwszego i drugiego, więc się niwelują.

Do pomiaru można ustawić jedną z pięciu wartości prądu, a pomiar wykonać wielokrotnie z różnymi prądami. Aby jeszcze bardziej rozszerzyć zakres pomiaru, stosuje się krótsze i dłuższe odstępy czasu między pomiarami, co daje sześć pomiarów dla różnych rzędów wielkości mierzonej pojemności. Podobnie jak w przypadku pomiaru rezystancji, do obliczeń wybierane są wyniki leżące w pobliżu środka zakresu. Wyniki duże są odrzucane, ponieważ źródło prądowe ma tendencję do nasycania się, gdy napięcie na jego wyjściu zbliża się do napięcia zasilania, i rezultaty stają się niedokładne. Z kolei wyniki zbyt małe nie są uwzględniane, ponieważ ich wartość trafia w równaniu do mianownika, a zbyt



Rysunek 3. Pomiar pojemności jest znacznie ułatwiony dzięki źródłu prądowemu w bloku peryferyjnym CTMU. Nie zachodzi potrzeba używania logarytmów, które pojawiałyby się w przypadku obliczania wartości kondensatora z parametrów czasowych obwodu RC

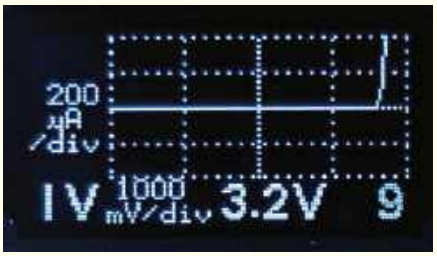
eprasa.pl 5641c41152



Zrzut 16: Dekoder transmisji szeregowej UART bywa niezastąpiony. Jest on, podobnie jak tryb oscyloskopu, dalece konfigurowalny pod względem szybkości transmisji, ilości bitów i aktywnego stanu logicznego. Tu widzimy działanie w trybie tekstowym



Zrzut 17: Dekoder transmisji szeregowej ma również tryb szesnastkowy, przydatny do wyświetlania danych binarnych i kodów sterujących. Pokazywane są błędy ramki i parzystości, co pomaga w określeniu właściwego formatu danych



Zrzut 18: W trybie pomiaru diod nie są wykrywane diody podwójne połączone antyrównolegle, np. LED-y dwukolorowe. Natomiast charakterograf bada elementy przy obu polaryzacjach. Skale napięcia i prądu można powiększyć, uzyskując więcej szczegółów

małe wartości zmniejszają rozdzielczość obliczeń. Wyższe wartości mianownika dają mniejsze kroki odpowiednich odwrotności, a to poprawia rozdzielczość.

Wyniki pomiaru pojemności zależą od napięcia zasilania, prądu źródła CTMU oraz czasu. Oczekiwana dokładność nie jest tak dobra, jak w przypadku rezystancji czy napięcia diody. Mimo to dokładność po kalibracji powinna mieścić się w granicach 5%.

W trybach pomiaru rezystorów i kondensatorów, pomiędzy pomiarami rezystory 1 kΩ w każdej grupie są ściągane do niskiego napięcia, a pozostałe piny są w stanie wielkiej impedancji. Służy to do zminimalizowania prądu płynącego do/z pinów mikrokontrolera, a także do rozładowania mierzonego kondensatora, co przygotowuje go do następnego cyklu pomiarowego. Jednym z wyjątków jest tryb pomiaru diod. W tym przypadku zacisk CON+ jest podciągany do stanu wysokiego a nie niskiego, co zapewnia polaryzację niezbędną do zaświecenia podłączonej diody LED i jej wizualnego sprawdzenia. LED podłączona w kierunku przewodzenia będzie świecić, z wyjątkiem czasu wykonywania pomiaru, kiedy na krótko zgaśnie.

Tryby miernika i oscyloskopu

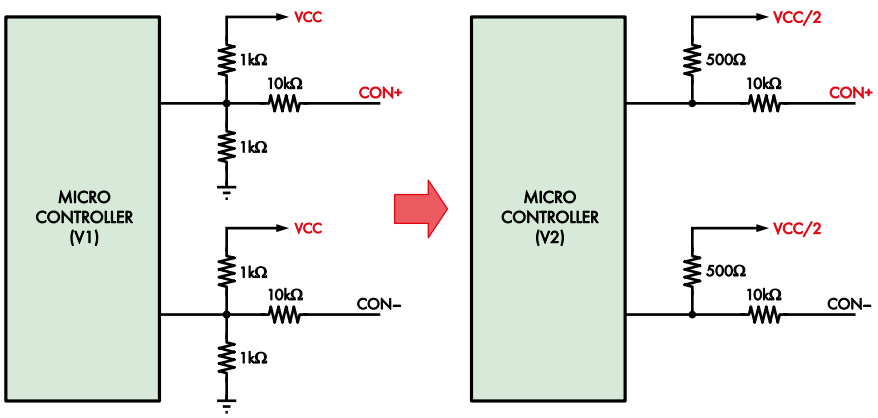
W trybach miernika i oscyloskopu jest używana inna konfiguracja, pozwalająca odczytywać napięcia spoza zakresu napięcia zasilania pęsety. Wykorzystane są kolejne cztery rezystory 1 kΩ. Z każdej pary rezystorów jeden jest przez mikrokontroler podciągany do „plusa" zasilania, a drugi ściągany do masy. Tę sytuację pokazano na rysunku 4 po lewej, a po prawej przedstawiono obwód uproszczony, elektrycznie równoważny. Każda końcówka pomiarowa wchodzi zatem na dzielnik napięcia 20:1, dołączony z drugiej strony do potencjału równemu połowie napięcia zasilania. Pomiar polega na odczytaniu różnicy napięcia pomiędzy wyjściami dzielników i pomnożeniu wyniku przez 21. Przy nominalnym napięciu zasilania 3 V możemy mierzyć między CON+ i CON– napięcia różnicowe do około 30 V. Dzięki dołączeniu dzielników do potencjału VCC/2 można mierzyć napięcia zarówno dodatnie jak i ujemne. Jeśli przyłożone napięcie jest większe niż napięcie zasilania, może wystąpić przepływ prądu przez nieużywane rezystory 1 kΩ i 100 kΩ. Prąd płynący przez rezystory 1 kΩ jest odprowadzany do linii zasilania przez diody D1 i D2.

Rezystory 100 kΩ przewodzą znacznie mniejsze prądy. Płyną one przez wewnętrzne diody zabezpieczające mikrokontrolera. Te pasożytnicze prądy określają granice napięcia wejściowego w trybach miernika i oscyloskopu. Napięcia wykraczające poza te granice mogą spowodować uszkodzenie mikrokontrolera.

Uszkodzenie może również nastąpić po podaniu zbyt dużego napięcia na końcówki pomiarowe w trybach pomiaru rezystorów, kondensatorów i diod, kiedy to mikrokontroler odpowiednio wysterowuje swoje piny. Prądy pasożytnicze przepływają wtedy przez wewnętrzne tranzystory mikrokontrolera zamiast przez zewnętrzne i wewnętrzne diody zabezpieczające.

Jeden z naszych wczesnych prototypów rozładowywał baterię nawet gdy nie był używany. Odkryliśmy, że było to spowodowane uszkodzeniem mikrokontrolera. Pobierał on nadmierny prąd w trybie uśpienia. Jeśli zauważycie, że układ pęsety nadmiernie zużywa baterie, to przyczyną może być właśnie coś takiego.

Dlatego należy uważać, aby mieć styczność z wyższymi napięciami tylko w trybach, w których pęseta jest na takie napięcia przygotowana. W poprzednich wersjach pęsety nie



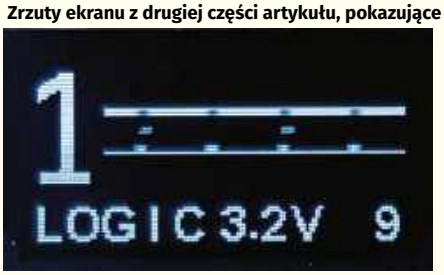
Rysunek 4. Tryby miernika i oscyloskopu wykorzystują układ czterech stałych rezystancji do realizacji dzielnika polaryzowanego, zdolnego do pomiaru napięć leżących powyżej i poniżej potencjałów linii zasilających pęsety. Obwody po lewej i prawej stronie rysunku są sobie równoważne



Dzięki trzem przyciskom kalibracja i przełączanie trybów są znacznie łatwiejsze niż w poprzednich wersjach pęsety

eprasa.pl 5641c41152

Zrzuty ekranu z drugiej części artykułu, pokazujące stan wyświetlacza pęsety podczas pracy



Zrzut 19. Analizator logiczny pokazuje, czy wykryto poziom logiczny wysoki, poziom niski, czy stan wielkiej impedancji. Przesuwający się wykres przedstawia krótką historię, ułatwiając dostrzeżenie stanów nieustalonych i powtarzających się wzorców



Zrzut 20. Generator przebiegów przydaje się do zastosowań audio (podobnie jak tryb oscyloskopu) lub jako prosty generator zegara. Generator może wytwarzać falę prostokątną o jednej z pięciu częstotliwości i jednej z czterech amplitud



Zrzut 21. AUTO to tylko jeden z dziesięciu trybów, ale on jeden udowadnia wyższość opisywanej pęsety nad jej poprzednimi wersjami. Na jednej stronie pokazywana jest rezystancja, pojemność oraz polaryzacja i napięcie przewodzenia diody

było z tym problemu, ponieważ nie było tam żadnych trybów pomiaru napięć przyłożonych z zewnątrz, a jedynie tryby do użytku z elementami biernymi.

W trybach działających z sygnałami cyfrowymi, jak analizator logiczny i dekoder transmisji szeregowej, zacisk CON- jest ściągany do masy przez rezystor 1 kΩ. Zacisk CON+ jest albo niepodłączony albo przez rezystor 100 kΩ podciągnięty do „plusa" lub ściągnięty do masy. Umożliwia to wykrywanie stanów logicznych: niskiego, wysokiego i wielkiej impedancji.

Oprogramowanie

Firmware mikrokontrolera dokonuje inicjalizacji wszystkich bloków peryferyjnych i wyświetlacza. Koordynuje pomiary, odczytuje przyciski i steruje wyświetlaczem.

Oprócz pętli głównej programu wykonywane są przerwania timera, wywoływane około trzech razy na sekundę, aktualizujące wyświetlacz, co zapewnia wygodne tempo odświeżania jego zawartości.

Program ma strukturę modułową. Obsługa każdego z poszczególnych trybów przypomina samodzielny podprogram, wywoływany w pętli programu głównego. Każdy podprogram wykonuje wymagane pomiary i wyświetla wyniki. W każdym trybie są sprawdzane przyciski i ustawiane odpowiednie flagi, co zapewnia prawidłowe funkcjonowanie trybu.

Zużycie energii

Procesor działa z niewysoką częstotliwością zegara – 4 MHz (maksymalna wynosi 16 MHz). Jest to wartość kompromisowa, prowadząca do minimalizacji zużycia energii i obciążenia baterii. Przy niższych prędkościach zegara nie udało się zapewnić pożądanej częstotliwości aktualizacji wyświetlacza.

W trybie oscyloskopu, przy niektórych ustawieniach okresu próbkowania zegar jest przyspieszany do 16 MHz, aby umożliwić szybszą pracę przetwornika ADC. Istnieją z kolei okresy pracy, w których nie odbywa się żadne szybkie przetwarzanie. W takich przypadkach aktywowana jest funkcja DOZE. Rdzeń przetwarzający działa z jeszcze mniejszym ułamkiem swojej maksymalnej prędkości, co dalej zmniejsza zużycie energii.

W mikrokontrolerze zaprogramowano licznik zliczający w dół, taktowany przerwaniami timera. Po osiągnięciu przez niego zera wywoływana jest procedura, która wyłącza wyświetlacz, przełącza bloki peryferyjne i piny wejścia/wyjścia w tryb niskiego poboru mocy, po czym mikrokontroler przechodzi w stan SLEEP o najniższym poborze energii. Całkowite wyłączenie zasilania wyświetlacza jest jedyną gwarancją, że będzie on w stanie zerowego poboru mocy. Wyświetlacze OLED, których używaliśmy we wcześniejszych wersjach pęsety, miały tryb uśpienia. Początkowo wydawał się działać dość skutecznie, jednak czasami pobór prądu stawał się wyższy niż oczekiwano.

Gdy mikrokontroler jest zatrzymany, może zostać wybudzony przez przerwanie wyzwalane zmianą stanów przełączników. Procesor wznawia pracę w taki sam sposób, jak po załączeniu zasilania, ponieważ wszystkie bloki peryferyjne również znajdowały się w trybie niskiego poboru mocy. W trybie SLEEP zawartość pamięci RAM nie ulega zmianie, więc wznowieniu pracy nie towarzyszy żadna zmiana ustawień trybu pomiarowego ani parametrów.

Nasze pomiary przeprowadzone podczas stanu SLEEP odnotowały pobór prądu około 700 nA. Jest to wartość znacznie niższa niż we wcześniejszych wersjach pęsety. Przy takim poborze prądu większe znaczenie będzie raczej miało samorozładowanie baterii.

Staraliśmy się również zminimalizować prąd pobierany podczas normalnej pracy. Zależy on od trybu pomiarowego, ale zazwyczaj wyraża się on jednocyfrową liczbą miliamperów. Parametr ten ma istotne znaczenie, ponieważ pojemność baterii CR2032 jest większa przy niższym prądzie. Wyższe zużycie prądu skraca więc czas pracy w dwójnasób, ponieważ pojemność baterii ma wtedy tendencję do zmniejszania się. W dodatku rezystancja wewnętrzna baterii jest rzędu 20 Ω, więc prąd o natężeniu

Wykaz elementów:

1 dwustronna główna płytka drukowana, niebieska, 28 × 36 mm; kod 04106221
2 dwustronne płytki drukowane ramion, niebieskie, 100 × 8 mm; kod 04106212
3 pozłacane piny z męskiego złącza „goldpin" (końcówki pomiarowe i montaż wyświetlacza)
1 mikrokontroler PIC24FJ256GA702-I/SS (IC1), zaprogramowany wsadem 0410622A.HEX
1 moduł wyświetlacza OLED, 0,96 cala, 128×64, interfejs I²C, niebieski lub biały (MOD1)
2 podwójne diody Schottky'ego BAT54S, SOT-23 (D1, D2)
2 kondensatory ceramiczne 100 nF 50 V X7R, rozmiar SMD M2012/0805
1 kondensator ceramiczny 10 µF 6 V X7R, rozmiar SMD M2012/0805
2 rezystory SMD 100 kΩ ⅛W 1%, rozmiar M2012/0805
3 rezystory SMD 10 kΩ ⅛W 1%, rozmiar M2012/0805
6 rezystorów SMD 1 kΩ ⅛W 1%, rozmiar M2012/0805
3 małe dwukońcówkowe przełączniki przyciskowe SMD (S1...S3)
1 gniazdo baterii CR2032/CR2025 do montażu powierzchniowego (BAT1)
2 przezroczyste rurki termokurczliwe o długości 100 mm i średnicy 10 mm
1 złącze kątowe 5-stykowe, raster 2,54 mm (CON1; opcjonalne, do programowania)
1 naklejka (opcjonalna; patrz rysunek 8 w przyszłym odcinku)
1 śruba nylonowa M2 × 6 mm
2 nakrętki nylonowe M2
1 litowa bateria pastylkowa CR2032 lub CR2025

Zestaw zaawansowanej pęsety pomiarowej SMD (SC6631)
Zestaw zawiera wszystkie podzespoły wymienione w liście elementów (z wyjątkiem baterii i złącza CON1), w tym zaprogramowany mikrokontroler

eprasa.pl 5641c41152



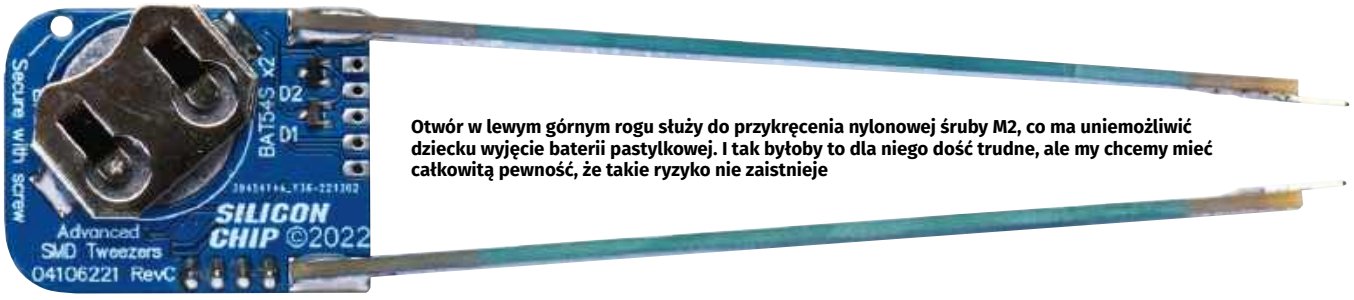
Zrzut 22. W trybie pomiaru rezystancji otrzymujemy te same wyniki, co w trybie Auto, ale pisane większą czcionką, co bardzo ułatwia sprawdzanie i sortowanie rezystorów



Zrzut 23. Tryb pomiaru pojemności działa podobnie, wyświetlając wyłącznie pojemność, za to w dużym rozmiarze. Jest idealny do sprawdzenia który element jest który w stercie kondensatorów SMD pozbawionych oznaczeń



Zrzut 24. W trybie pomiaru diody wyświetlacz jest podobny jak w trybie automatycznym, ale prąd testowy płynie tylko w jednym kierunku: od CON+ do CON–. Umożliwia to szybkie wykrywanie polaryzacji i ogólne sprawdzanie diod LED



Otwór w lewym górnym rogu służy do przykręcenia nylonowej śruby M2, co ma uniemożliwić dziecku wyjęcie baterii pastylkowej. I tak byłoby to dla niego dość trudne, ale my chcemy mieć całkowitą pewność, że takie ryzyko nie zaistnieje

kilku miliamperów wywołuje zmniejszenie napięcia w układzie o zauważalną wartość – około 0,1 V.

Na ogół największym obciążeniem dla baterii jest wyświetlacz OLED. W wyświetlaczu prąd pobierany jest przez układ sterownika, ale przede wszystkim przez każdy świecący piksel. Istnieje możliwość nastawiania jasności, co umożliwia znalezienie kompromisu między czytelnością a zużyciem energii.

Minimalne napięcie zasilania wyświetlacza to 2,4 V. Poniżej tego poziomu ma on tendencję do migotania i gaśnięcia. Mikrokontroler będzie działał nawet przy około 2 V, ale tak niskie napięcie ogranicza efektywny zakres próbkowania przetwornika ADC.

W wyświetlaczu używaliśmy początkowo dość grubej czcionki. Po jej zmianie na cieńszą, natężenie prądu w niektórych trybach zmniejszyło się o ponad 3 mA!

Stwierdziliśmy, że we wnętrzach pomieszczeń wyświetlacz ustawiony na umiarkowaną jasność jest doskonale czytelny. Ustawiliśmy jego domyślną jasność w okolicach dolnej części zakresu. Przedłużyło to żywotność baterii i zmniejszyło spadek napięcia. W razie potrzeby, np. w bardzo jasno oświetlonych miejscach, jasność można zwiększyć w ustawieniach.

W treści artykułu przedstawiono kilka zrzutów ekranu pokazujących pęsetę w trakcie działania.

Za miesiąc

Układ jest dość skomplikowany (przynajmniej pod względem trybów i funkcji), więc w jednym numerze nie ma miejsca na komplet szczegółów dotyczących konstrukcji, kalibracji i użytkowania. Wszystko to zostanie omówione w drugiej części artykułu. ■

Tim Blythman

Materiały dodatkowe dostępne są na stronie: https://www.siliconchip.com.au/Shop/6/112

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

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**



Aktywny „miękki start” do obciążeń sieciowych, część 2

Układ „miękkiego startu”, który zaczęliśmy przedstawiać w zeszłym odcinku, jest idealny do eliminowania „szarpnięć” występujących podczas załączania elektronarzędzi o mocy do 750 W. Można go również użyć do urządzeń stacjonarnych w celu wyeliminowania dużych prądów rozruchowych, które wyłączają bezpieczniki lub wypalają styki wyłączników sieciowych. Niniejsza część artykułu obejmuje montaż, testowanie, regulację i kalibrację układu.

Układ aktywnego „miękkiego startu” zapewnia regulowany czas łagodnego rozruchu. Wykorzystuje kombinację termistora NTC i tranzystora MOSFET. Użycie tranzystora sprawia, że termistor ulega tylko niewielkiemu nagrzewaniu, więc wielokrotne (w granicach rozsądku) uruchomienia nie pogarszają skuteczności „miękkiego startu”. Po zakończeniu rozruchu zarówno MOSFET jak i termistor są mostkowane przez styki przekaźnika, dzięki czemu straty mocy w układzie i jego nagrzewanie się są znikome, nawet przy dużym poborze prądu.

Układ „miękkiego startu” jest umieszczony w poręcznej, zwartej obudowie z tworzywa sztucznego o wymiarach 17,1×12,1×5,5 cm z gniazdem wejściowym IEC, gniazdem wyjściowym i trzema (opcjonalnymi) wskaźnikami neonowymi pokazującymi stan pracy.

Układ monitoruje prąd obciążenia, dzięki czemu rozruch jest automatycznie inicjowany za każdym razem, gdy odbiornik jest załączany, nawet jeśli układ „miękkiego startu” jest zasilany przez cały czas. A zatem elektronarzędzie może być uruchamiane własnym przełącznikiem. Układ może być również załączany od strony sieci energetycznej i zasilać grupę urządzeń.

Opisaliśmy, jak układ działa, teraz przejdźmy do opisu jego konstrukcji.

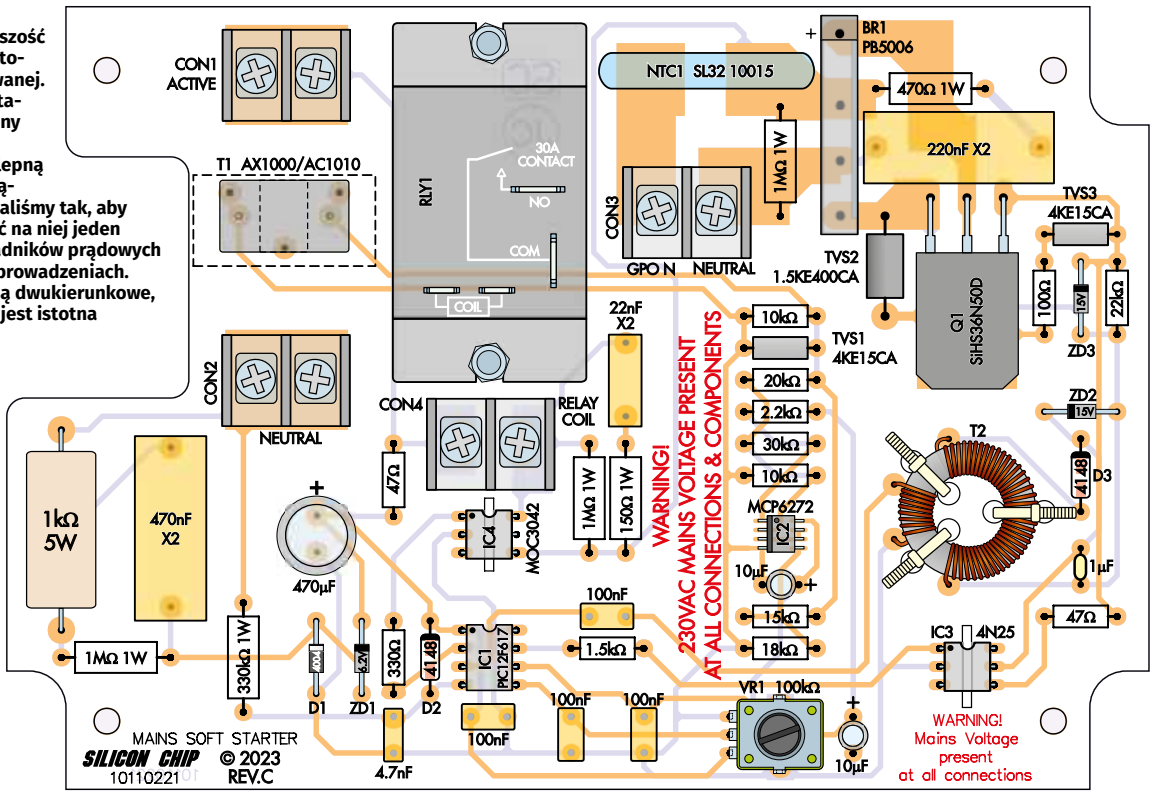
Konstrukcja

Większość elementów jest montowana na dwustronnej płytce drukowanej z metalizacją otworów (kod 10110221) o wymiarach

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!

eprasa.pl 5641c41152



Rysunek 7. Montaż jest prosty. Jak widać, większość podzespołów jest montowana na płytce drukowanej. Q1 nie ma otworu montażowego i jest przyklejony do płytki drukowanej dwustronną samoprzylepną taśmą termoprzewodzącą. Płytkę zaprojektowaliśmy tak, aby można było zmontować na niej jeden z dwóch typów przekładników prądowych o dwóch lub trzech wyprowadzeniach. Pamiętajcie, że TVS-y są dwukierunkowe, więc ich orientacja nie jest istotna

159×109 mm. Płytka po zmontowaniu mieści się w obudowie z poliwęglanu lub ABS o wymiarach 171×121×55 mm. Jedynymi elementami umieszczonymi poza płytką są: gniazdo wejściowe IEC, gniazdo wyjściowe i trzy wskaźniki neonowe. Układ elementów na płytce przedstawia **rysunek 7**.

Montaż rozpoczynamy od podwójnego wzmacniacza operacyjnego (IC2) w obudowie do montażu powierzchniowego. Będzie potrzebna lutownica z cienkim grotem ewentualnie zwykłym grotem i topnikiem w postaci pasty, lupa (chyba że macie doskonały wzrok) i dobre oświetlenie.

Przylutowujemy układ scalony do padów na płytce drukowanej. Umieszczamy go najpierw pinem 1 (oznaczonym kropką) w lewym górnym rogu i wyrównujemy położenie układu, dopasowując jego wyprowadzenia do padów. Następnie przylutowujemy pin narożny i sprawdzamy, czy układ wciąż jest prawidłowo spozycjonowany. Jeśli konieczna jest korekta, należy ponownie podgrzać narożny pin i delikatnie wyrównać położenie.

Gdy jesteśmy pewni, że wszystko jest w porządku, przylutowujemy pozostałe piny układu scalonego. Jeśli między dwa piny dostanie się cyna i będzie je zwierać, usuwamy ją plecionką lutowniczą (zaleca się dodanie topnika w postaci pasty). Pamiętajmy, że piny 6 i 7 są połączone na płytce drukowanej, więc ewentualne zwarcie między nimi nie ma znaczenia.

Następnie należy zamontować rezystory. Mają one kolorowe paski oznaczające ich wartości (**tabela 1**). Najlepiej jest jednak zmierzyć każdy rezystor multimetrem przed wlutowaniem go na miejsce. Używane są trzy typy rezystorów. Jeden to drutowy 1 kΩ 5 W, sześć jest jednowatowych, a pozostałe to rezystory małej mocy (½ W). Aby umożliwić cyrkulację powietrza, rezystor 5 W montujemy w odstępie około 1 mm od płytki drukowanej.

Kolejne na liście są diody D1...D3 i diody Zenera ZD1...ZD3. Przed lutowaniem ich wyprowadzeń należy się upewnić, że elementy te są prawidłowo zorientowane i że właściwe typy trafiają na właściwe miejsca.

Następnie można wlutować TVS1...TVS3. Są to elementy dwukierunkowe, więc mogą być umieszczone na płytce drukowanej w dowolną stronę. Upewnijcie się tylko, że w każde miejsce jest włożony prawidłowy typ.

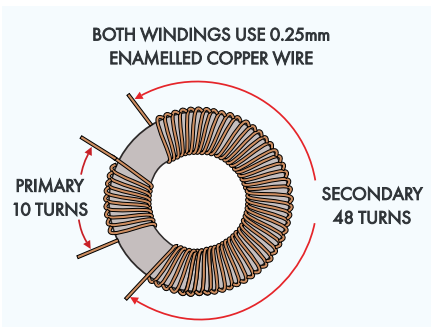
Montujemy pozostałe układy scalone, uważając, aby w każdym miejscu znalazł się właściwy typ układu i miał odpowiednią orientację. Do IC1 daliśmy podstawkę, chociaż można go też przylutować na płytkę bezpośrednio, o ile został przedtem zaprogramowany. IC3 i IC4 mają oba po sześć pinów, więc nie należy ich ze sobą pomylić. Pad na płytce dla pinu 5 układu IC4 jest niewielki, by zapewnić większą odległość między pinami 4 i 6.

Teraz można wlutować kondensatory. Są ich cztery rodzaje: „sieciowe” X2, elektrolityczne, poliestrowe MKT i ceramiczne wielowarstwowe. Kondensatory elektrolityczne muszą być na płytce prawidłowo zorientowane, ponieważ istotna jest ich biegunowość, natomiast inne kondensatory mogą być ułożone w dowolnym kierunku.

Zauważmy, że kondensatory 100 nF bywają oznaczane jako 104 (10 pF×10⁴), kondensator 4,7 nF jako 472 (47 pF×10²), a kondensator ceramiczny 1 µF jako 105 (10 pF×10⁵).

Następnie montujemy potencjometr VR1, termistor NTC1 oraz mostek prostowniczy BR1. Jego wyprowadzenie „plusa” jest szersze niż pozostałe wyprowadzenia, więc będzie pasował tylko w jeden sposób.

Teraz może zostać przylutowany MOSFET Q1. Wyginamy jego wyprowadzenia o 90° w odległości około 5 mm od obudowy i przed



Rysunek 8. T2 nawijamy tak jak tutaj pokazano – prowadząc uzwojenia starannie zwój przy zwoju i zostawiając co najmniej trzymilimetrowe odstępy między uzwojeniem pierwotnym i wtórnym

eprasa.pl 5641c41152

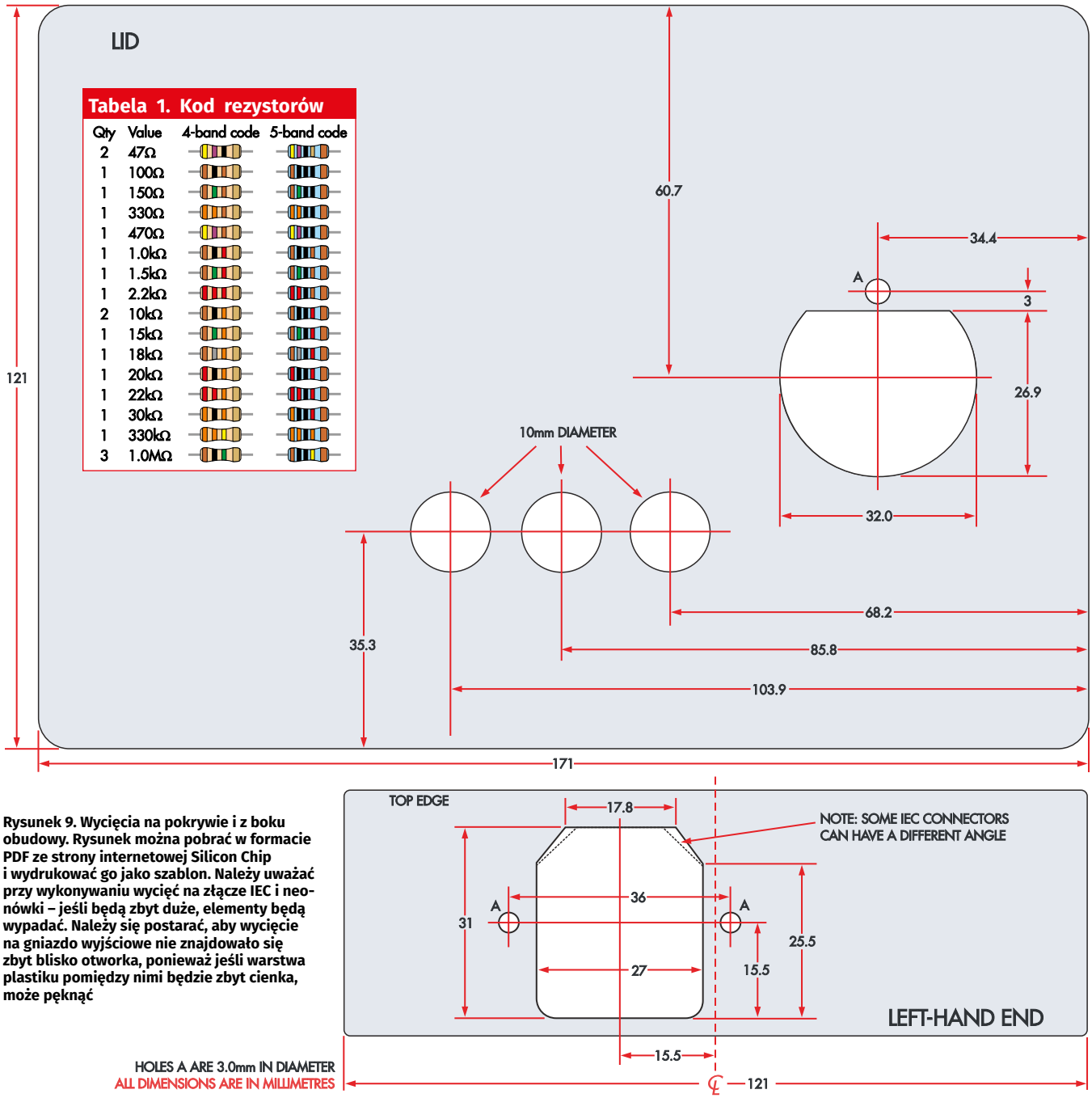


Tabela 1. Kod rezystorów

Qty	Value	4-band code	5-band code
2	47Ω		
1	100Ω		
1	150Ω		
1	330Ω		
1	470Ω		
1	1.0kΩ		
1	1.5kΩ		
1	2.2kΩ		
2	10kΩ		
1	15kΩ		
1	18kΩ		
1	20kΩ		
1	22kΩ		
1	30kΩ		
1	330kΩ		
3	1.0MΩ		

Rysunek 9. Wycięcia na pokrywie i z boku obudowy. Rysunek można pobrać w formacie PDF ze strony internetowej Silicon Chip i wydrukować go jako szablon. Należy uważać przy wykonywaniu wycięć na złącze IEC i neonówki – jeśli będą zbyt duże, elementy będą wypadać. Należy się postarać, aby wycięcie na gniazdo wyjściowe nie znajdowało się zbyt blisko otworka, ponieważ jeśli warstwa plastiku pomiędzy nimi będzie zbyt cienka, może pęknąć

przylutowaniem wyprowadzeń przyklejamy go stroną metalowej podstawy do płytki drukowanej dwustronną taśmą termoprzewodzącą. Ponieważ w pobliżu padów MOSFETa ścieżki są cienkie, wzmocnijcie te połączenia cyną po spodniej stronie płytki.

Kolejny etap to montaż zacisków CON1...CON4 oraz przekładnika prądowego T1. Przekładnik, w zależności od typu, może mieć dwa lub trzy wyprowadzenia. Płytka drukowana jest przygotowana na oba typy.

W następnym kroku montujemy przekaźnik RLY1. Wyprowadzenia cewki zlokalizowane są od strony CON4. Przekaźnik przytwierdzamy śrubami M3 o długości 15 mm z nakrętkami. Śruby są wkładane od spodu płytki drukowanej.

Transformator T2

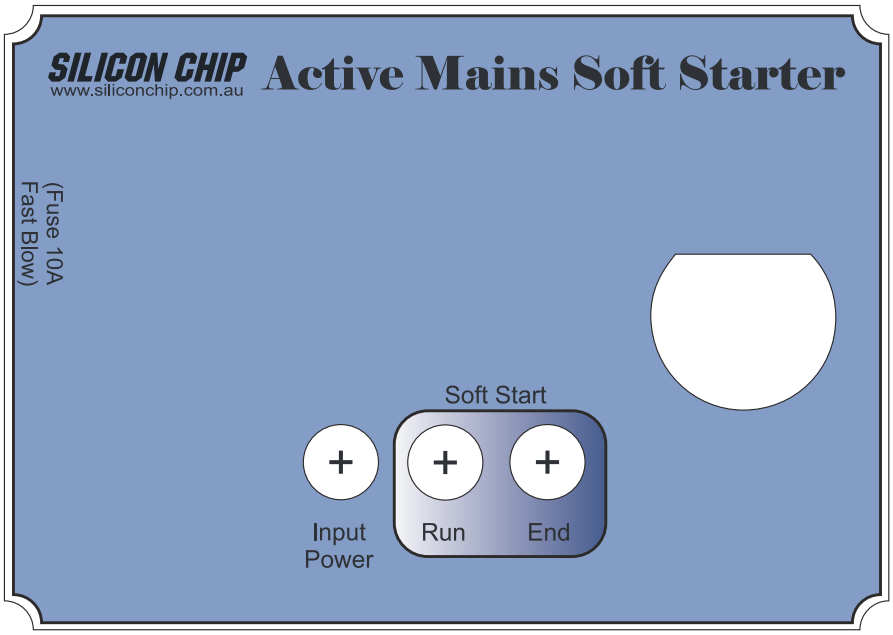
Uzwojenia T2 są nawinięte na toroidalnym rdzeniu ferrytowym, emaliowanym drutem miedzianym o średnicy 0,25 mm, co pokazano na **rysunku 8**. Uzwojenie pierwotne ma 10 zwojów, a wtórne 48 zwojów. Odcinamy kawałki drutu o długości 125 mm na uzwojenie pierwotne i 1 m na uzwojenie wtórne, i nawijamy je obok siebie. Kierunki nawijania są nieistotne. Między uzwojeniami musi być co najmniej po 3 mm odstępu z każdej strony.

Gotowy transformator przymocowujemy do płytki drukowanej dwiema opaskami kablowymi. Opaski mocują toroid na płytce, ale zapewniają również utrzymanie odstępu między uzwojeniem pierwotnym i wtórnym. Upewnijcie się, że przechodzą między uzwojeniami. Toroid jest dodatkowo mocowany trzecią opaską pośrodku uzwojenia wtórnego.

Wetknij końce obu uzwojeń w pady na płytce i oczyść z emalii wszystkie cztery końce drutu. Emalię można wypalić lutownicą, trzymając przez kilka sekund koniec uzwojenia

eprasa.pl 5641c41152

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



Rysunek 10. Są dwie wersje projektu panelu przedniego. Można pobrać wersję zarówno z otworami na neonówki (pokazaną tutaj), jak i bez nich

w kropli gorącej cyny. Inny sposób to zeskrobanie emalii ostrym nożem.

Montaż końcowy

Płytka drukowana układu jest mocowana do podstawy obudowy wkrętami maszynowymi M3 o długości 6 mm, które wkręca się w zintegrowane mosiężne wkładki. Przed przymocowaniem płytki konieczne będzie tylko wykonanie wycięcia z boku obudowy na gniazdo wejściowe IEC, a także wywiercenie otworów w pokrywie na gniazdo obciążenia i wskaźniki neonowe.

Rysunek 9 stanowi szablon dla wymaganych wycięć. Można go skopiować w skali 1:1 z czasopisma lub pobrać plik PDF ze strony internetowej Silicon Chip i wydrukować go w „rozmiarze rzeczywistym”.

Duże wycięcia na gniazdo sieciowe i złącze IEC można wykonać, wiercąc ciąg małych otworków po obwodzie wewnętrznym, wybijając część środkową i szlifując obwód wycięcia do gładkości.

W przypadku użycia wskaźników neonowych Jaycar otwory na nie muszą mieć taki rozmiar, aby wskaźniki trzymały się po wciśnięciu do otworów. Dlatego średnice otworów należy starannie ustalić. Wnętrza otworów będą wymagały lekkiego sfazowania, aby zmniejszyć grubość panelu, tak aby „klipsy” mogły wyjść na zewnątrz i umocować wskaźniki. Neonówki Altronics nie są mocowane „klipsami”, lecz gwintowaną nakrętką na plastikowej obudowie.

Po zakończeniu obrabiania obudowy montujemy złącze IEC. Wewnątrz obudowy można teraz umieścić płytkę drukowaną, ale nie należy jej jeszcze mocować.

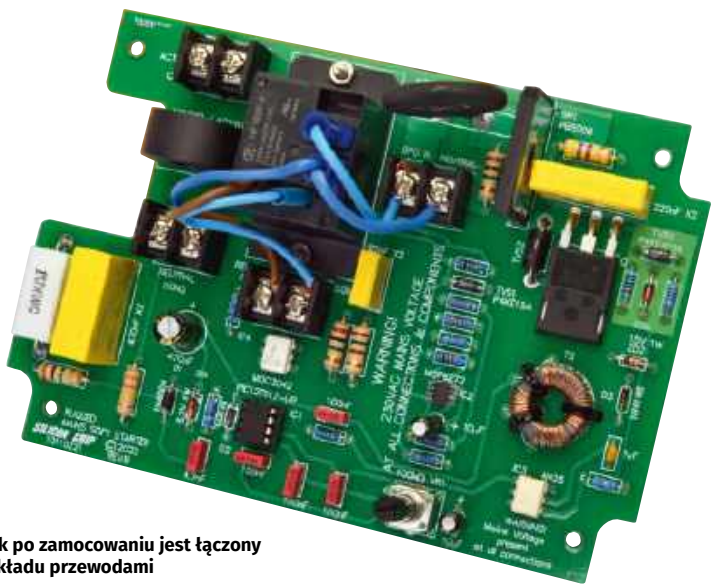
Po pierwsze, złącze IEC musi być przykręcone nylonowymi śrubami z łbem stożkowym M3×10 mm. Nakrętki mogą być też metalowe. Aby weszły, może być konieczne przycięcie niektórych żeber wewnątrz obudowy. Musieliśmy to zrobić w prototypie (co widać to na zdjęciu obudowy z płytką). Śruby nylonowe są wskazane, ponieważ pozwalają uniknąć sytuacji, w której śruba znajdzie się pod napięciem sieci – gdyby przewód sieciowy wewnątrz obudowy wypadł i stykał się ze śrubą.

Przed montażem gniazda, złącza i wskaźników neonowych przyklejamy na panel przedni wydrukowaną etykietę pokazaną na **rysunku 10**. Można ją pobrać w formacie PDF z naszej strony internetowej. Szczegółowe informacje na temat tworzenia etykiet na panel przedni można znaleźć na stronie www.siliconchip.au/Help/FrontPanels. Plik PDF zawiera dwie wersje panelu przedniego. W jednej z nich nie ma otworów na trzy wskaźniki neonowe, gdyby nie planowano ich użyć. W takim przypadku upraszcza się również okablowanie.

Okablowanie należy poprowadzić w sposób pokazany na **rysunku 11**. Używamy przewodów przeznaczonych do połączeń sieciowych. Grubsze połączenia na rysunku prowadzimy przewodami na prąd 10 A. Połączenia cieńsze (bez czerwonej gwiazdki) mogą być zrobione przewodami na 7,5 A. Do połączeń fazowych (A) musi być użyty przewód brązowy, do neutralnych – niebieski, natomiast przewodu w żółtozielone paski używamy wyłącznie do łączenia uziemienia. Zacisk uziemienia z gniazda IEC musi iść prosto do zacisku uziemienia w gnieździe obciążenia.

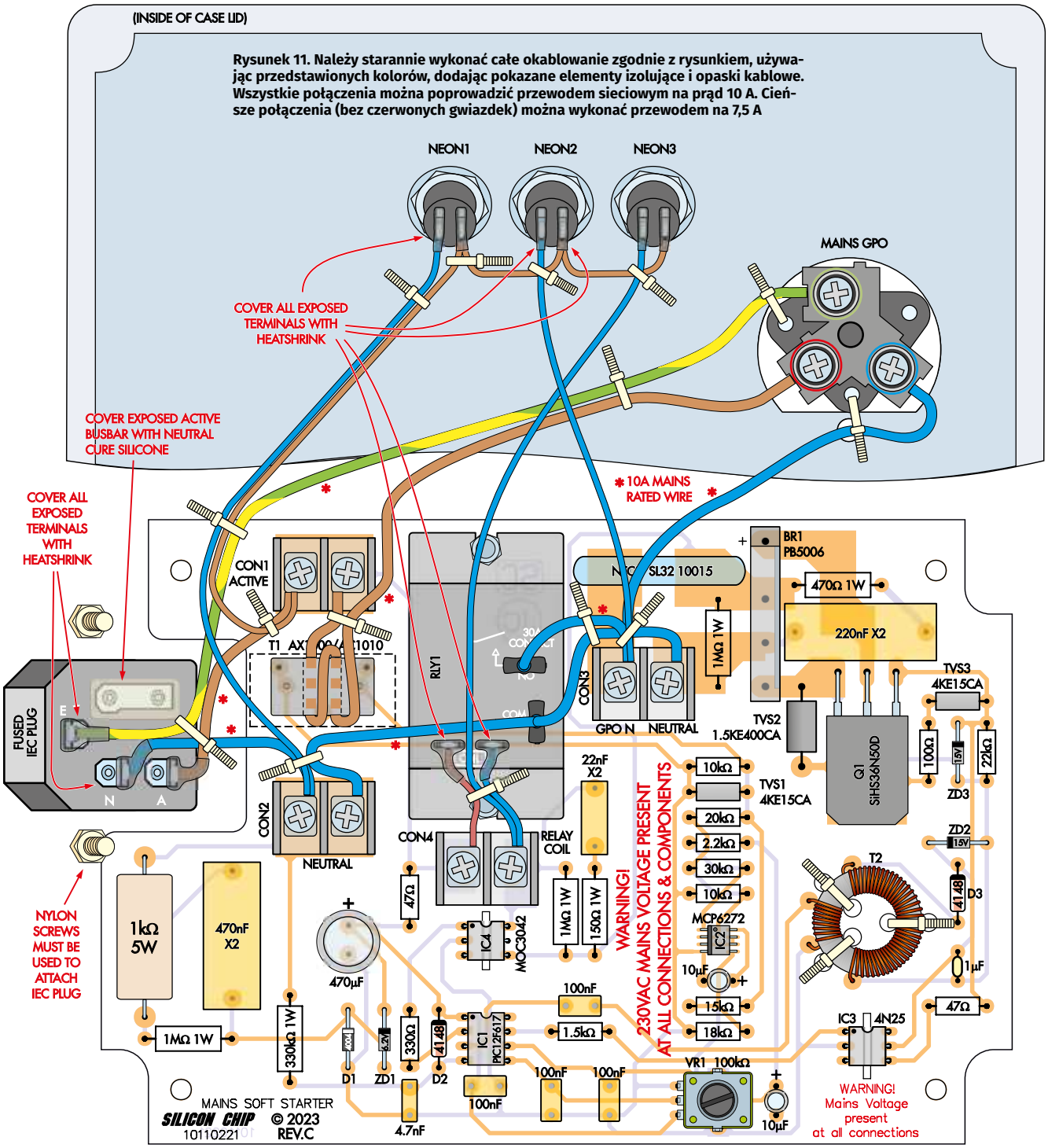
Pamiętajcie, aby dla bezpieczeństwa zaizolować wszystkie połączenia koszulką termokurczliwą i zacisnąć przewody opaskami, jak widać na rysunku, aby zapobiec ich zrywaniu. Wokół korpusów wskaźników neonowych używamy rurki termokurczliwej o średnicy 10 mm, na przewodach do złącza IEC – rurek 5 mm (czerwonej lub brązowej dla fazy, niebieskiej lub czarnej dla przewodu neutralnego i zielonej dla uziemienia), a na przewodach do przekaźnika – rurek 3 mm (tu również stosujemy odpowiednie kolory).

Zwróćcie uwagę, że styki przekaźnika są dołączone końcówkami zaciskowymi (konektorami) 4,8 mm, natomiast



Przekaźnik po zamocowaniu jest łączony z resztą układu przewodami

eprasa.pl 5641c41152



Rysunek 11. Należy starannie wykonać całe okablowanie zgodnie z rysunkiem, używając przedstawionych kolorów, dodając pokazane elementy izolujące i opaski kablowe. Wszystkie połączenia można poprowadzić przewodem sieciowym na prąd 10 A. Cieńsze połączenia (bez czerwonych gwiazdek) można wykonać przewodem na 7,5 A

wyprowadzenia cewki przekaźnika są lutowane. Lutując, unikajcie nadtopienia plastikowej obudowy przekaźnika. Zaizolujcie połączenia koszulką termokurczliwą. Wyprowadzenia gniazda IEC są również lutowane i izolowane rurką.

Przewód fazowy i neutralny do gniazda obciążenia zabezpieczcie opaskami kablowymi, przechodzącymi przez otwory w jego obudowie. Metalowy element złącza IEC, który łączy zacisk fazowy z wbudowanym bezpiecznikiem, należy pokryć silikonem utwardzanym (np. do dachów i rynien), ponieważ element ten jest pod napięciem sieci, i są mocne argumenty ku temu, by został osłonięty.

Trzeba zachować uwagę podczas podłączania gniazda obciążenia. Do odpowiednio oznaczonych zacisków gniazda (L, N, PE) muszą być podłączone właściwe przewody. Należy mocno dokręcić śruby, aby zapewnić dobry kontakt elektryczny, a także starannie spiąć przewody opaskami kablowymi.

Testy

Przed włączeniem zasilania należy zawsze przymocować pokrywę co najmniej dwiema śrubami po przekątnej.

Zanim podłączymy zasilanie, musimy dokładnie sprawdzić okablowanie i zadbać o to, by wszystkie połączenia sieciowe były okryte rurkami termokurczliwymi, a przewody związane opaskami. Następnie wkładamy bezpiecznik 10 A do gniazda. Sprawdzamy, czy mikrokontroler IC1 jest wetknięty do podstawki

eprasa.pl 5641c41152



Zmontowane urządzenie przed zamknięciem pokrywy. Odpowiednia liczba opasek kablowych zapewnia, że nawet jeśli któryś przewód się zerwie, nie będzie się mógł zetknąć z innymi częściami układu, nie uszkodzi ich i nie stworzy zagrożenia porażeniem prądem



Gotowy układ aktywnego „miękkiego startu". Jest łatwy w użyciu. Wystarczy wpiąć urządzenie zewnętrzne do gniazda na panelu przednim, a złącze IEC z boku układu dołączyć do sieci energetycznej

i prawidłowo zorientowany. Jeśli przed włączeniem zasilania zapomnimy włożyć IC1, kondensator 4,7 nF na pinie 4 może po wyłączeniu zasilania utrzymywać resztkowe napięcie sieci. Napięcie to może potem zniszczyć IC1, gdy go wetkniemy do podstawki. Jeśli załączycie zasilanie bez układu IC1, wyłączcie je, odczekajcie kilka minut, po czym, zanim wetkniecie mikrokontroler, sprawdźcie, czy napięcie między pinami 4 i 8 jest mniejsze niż 1 V.

VR1 zwykle jest ustawiany w połowie zakresu, co daje nominalny czas łagodnego rozruchu 1 s. Jeśli VR1 jest obrócony całkowicie w lewo, czas ten wynosi 9,5 s, natomiast obrócenie potencjometru prawie całkiem w prawo daje czas rozruchu równy pół sekundy.

Kalibracja

Obrócenie VR1 do oporu w prawo powoduje przejście układu „miękkiego startu" w specjalny tryb. Służy on do pomiaru napięcia na wyjściu prostownika precyzyjnego, gdy nie jest podłączone żadne obciążenie. Jest to napięcie niezrównoważenia („offset"), które będzie brane pod uwagę przy wykrywaniu przepływu prądu lub jego braku.

Napięcie na wyjściu IC2 a (odpowiadające przebiegowi prądu obciążenia, wyprostowanemu dwupołówkowo) przy braku obciążenia nie znajduje się zwykle na potencjale ujemnego zasilania (pin 4 wzmacniacza), ale ma niewielką wartość dodatnią. Przesunięcie to może zostać zmierzone w procesie kalibracji i potem uwzględniane przez mikrokontroler. Kalibrację taką należy wykonać tylko w przypadku kiedy układ łagodnego rozruchu nie wykrywa prawidłowo, że obciążenie jest wyłączone.

Aby wykonać pomiar przesunięcia napięciowego, wyłączamy zasilanie, odłączamy cały układ od gniazda zasilającego i obracamy VR1 całkowicie w prawo. Do gniazda wyjściowego układu nie powinno być podłączone żadne urządzenie. Zakładamy pokrywę, włączamy zasilanie, odczekujemy kilka sekund, po czym zasilanie wyłączamy. Wartość napięcia stałego obecnego na wyjściu IC2, gdy nie płynie żaden prąd obciążenia, zostaje zapamiętana.

Odłączamy układ od sieci zasilającej, zdejmujemy pokrywę i obracamy VR1 z powrotem ze skrajnego prawego położenia do pozycji odpowiadającej wymaganemu czasowi „miękkiego startu". Jak już wspomniano, w większości przypadków najlepsze będzie ustawienie potencjometru w połowie, zapewniające czas rozruchu 1...2 s. Czas miękkiego startu można dobrać w zależności od rodzaju podłączonego urządzenia.

Ustawianie czasu rozruchu

Możliwe ustawienia czasu miękkiego startu, wybierane potencjometrem VR1, to: 9,5/5,5/2/1/0,625 i 0,5 sekundy. Najdłuższe czasy warto stosować przy rozruchu obciążeń pojemnościowych, o ile nie zależy nam na szybkim starcie. W praktyce jednak w większości przypadków ustawienie 9,5 s okazuje się zbyt długie, a dobrze sprawdza się czas 5,5 s.

W przypadku elektronarzędzia najlepsze ustawienie zależy od czasu potrzebnego na osiągnięcie przez narzędzie pełnej prędkości oraz od tego, jak mocny ruch narzędzia dopuszczamy podczas jego uruchamiania. Krótsze ustawienia pozwolą na szybsze rozpoczęcie pracy, ale spowodują silniejszy ruch. ■

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 5641c41152

Wzmacniacz monofoniczny klasy D o mocy 1 kW+, część 2

W artykule przedstawiamy potężny wzmacniacz monoblokowy klasy D zbudowany na układzie sterującym International Rectifier IRS2092S i czterech tranzystorach MOSFET IRFB4227. Gotowy moduł, dostępny w ofercie DigiKey, osiąga imponującą moc ponad 1000 W RMS. Po omówieniu zasady działania i konfiguracji przechodzimy do montażu oraz praktycznych testów.

Największym wyzwaniem przy budowie tak potężnego wzmacniacza okazuje się układ zasilania. Przy rozsądnych kosztach jedynym realnym rozwiązaniem jest wykorzystanie kilku gotowych zasilaczy impulsowych. W opisywanym układzie połączono sześć zasilaczy 25 V/20 A DC, uzyskując łącznie 150 V lub ±75 V przy zastosowaniu odczepu środkowego.

Należy wziąć pod uwagę, że do zapewnienia napięć ±75 V DC przy obciążalności 18 A konieczne byłoby zastosowanie co najmniej sześciu transformatorów o mocy 500 VA każdy. Byłaby to konstrukcja nie tylko niezwykle kosztowna i ciężka (ponad 1000 USD i 25 kg), ale początkowy skok napięcia po włączeniu powodowałby przepalanie bezpiecznika lub zadziałanie wyłącznika automatycznego. Aby temu zapobiec, należałoby zastosować układ miękkiego startu.

Dla porównania, sześć zasilaczy impulsowych kosztowało nas 347 USD, łącznie z dostawą, a ich łączna waga to około 4 kg.

Nasza konfiguracja zapewnia ±72 V przy maksymalnym natężeniu 20 A DC. Każdy zasilacz to niezależna przetwornica regulowana do 25 V, co daje zalecane ±75 V. Nie było to jednak konieczne, gdyż uzyskaliśmy dużą moc przy zasilaniu ±72 V. Jedyną regulacją zasilania, jakiej dokonaliśmy, było dopasowanie dodatniego i ujemnego zasilania w zakresie 0,1 V, co pozwoliło zmaksymalizować PSRR (współczynnik odrzucenia zasilania).

Nasze testy wydajności nie zostały przeprowadzone z żadną dodatkową pojemnością, chociaż opiszemy, jak można ją dodać, jeśli uważasz, że powinna znaleźć się w układzie. Według IR, obniży to szumy, ale wymagane duże kondensatory są dość drogie.



Fotografia 1. Płytka ewaluacyjna IRAUDAMP9 z układem scalonym wzmacniacza klasy D (pod dużym radiatorem) i układami pomocniczymi. Jedynymi wymaganymi połączeniami są: wejście sygnału w lewym górnym rogu, wyjście głośnikowe w prawym górnym rogu i złącze zasilania. Poniżej znajdują się wejścia szyny zasilającej ±72 V...75 V DC. Jeśli używasz wskaźnika wysterowania, prawdopodobnie połączysz również jego przewody sygnałowe do dwudrożnego terminala głośnikowego

Na **fotografii 1** przedstawiono najważniejszy moduł wzmacniacza klasy D z wykonanymi podstawowymi połączeniami.

Sygnał akustyczny doprowadzany jest przez gniazdo RCA, a następnie trafia do regulatora głośności na panelu przednim (klasyczny potencjometr logarytmiczny). Połączenie realizowane jest przewodem zakończonym wtyczką RCA, a kolejnym takim

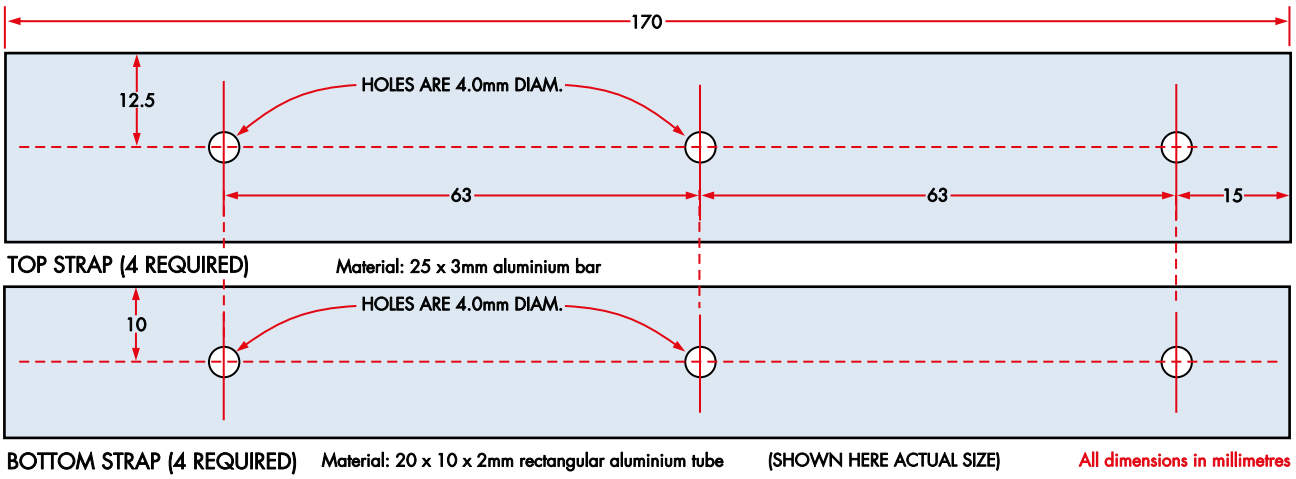


Fotografia 2. Wskaźnik wysterowania jest przydatny do sprawdzenia z jaką mocą jest wysterowany wzmacniacz, dlatego musi być skalibrowany dla konkretnej impedancji obciążenia

Przestroga dotycząca okablowania sieciowego

Wzmacniacz wykorzystuje połączenia z zasilaniem sieciowym 230 V, dlatego należy zwrócić uwagę na izolację i uziemienie. Realizacji tego projektu powinny podejmować się tylko osoby posiadające doświadczenie z urządzeniami zasilanymi z sieci. Upewnij się, że postępujesz zgodnie ze wszystkimi naszymi instrukcjami dotyczącymi okablowania sieciowego.
Podczas prac uruchomieniowych, a także później będzie dostęp do wysokich napięć DC (150 V), a na wyjściach głośnikowych mogą występować napięcia do 60 V AC.
Podczas obsługi urządzenia i bezpośrednio po jej zakończeniu należy unikać fizycznego kontaktu z odsłoniętymi powierzchniami metalowymi. Przed umieszczeniem lub wyjęciem sond pomiarowych należy wyłączyć zasilanie i pozwolić na rozładowanie napięć zasilających.

eprasa.pl 5641c41152



Rysunek 11. Cztery listwy utrzymujące razem banki zasilaczy są wykonane z aluminiowego profilu prostokątnego o długości 170 mm. Dolne listwy są grubsze, aby zapewnić wystarczającą cyrkulację powietrza pod zasilaczami. Otwory do montażu modułu wzmacniacza do górnych profili nie zostały pokazane, ponieważ nie są one widoczne po umieszczeniu zasilaczy w obudowie

przewodem sygnał przekazywany jest do modułu wzmacniacza. Dodatkowy potencjometr umieszczony na płytce drukowanej modułu umożliwia ustawienie maksymalnego poziomu wzmocnienia, co skutecznie ogranicza zapędy amatorów nadmiernej głośności.

Wyjście głośnikowe modułu wzmacniacza połączono z zaciskami głośnikowymi w obudowie krótkimi odcinkami przewodu o dużym przekroju. Alternatywą jest zastosowanie całkowicie zamkniętego gniazda typu Speakon. To rozwiązanie wydaje się szczególnie korzystne, ponieważ przy pełnej mocy napięcie wyjściowe może przekraczać 58 V RMS, co stwarza realne ryzyko porażenia prądem.

Opcjonalny wskaźnik wysterowania montuje się nad regulatorem głośności. Wskazówka wchodzi w czerwoną strefę, gdy moc wyjściowa przekracza 1000 W na 2 Ω, 500 W na 4 Ω lub 250 W na 8 Ω (**fotografia 2**).

Obudowa

Wszystkie moduły wzmacniacza są umieszczone w metalowej obudowie. Zdecydowaliśmy się na aluminiową skrzynkę narzędziową, ponieważ była wystarczająco duża, solidna, niezbyt droga i wygodna do przenoszenia. Naszą kupiliśmy w serwisie eBay (192790170418).

Użyta przez nas metalowa skrzynka narzędziowa została wykonana przez firmę „Sunrise". Ma wymiary 575×245×220 mm, czyli wystarczająco dużo, by zmieścić w niej wszystkie elementy wzmacniacza. Obudowa jest solidna i przenośna, a zatrzaskiwana pokrywa zapewnia łatwy dostęp do wnętrza. Dla bezpieczeństwa można ją dodatkowo zabezpieczyć kłódką. Obróbka mechaniczna, taka jak cięcie czy wiercenie, nie sprawia większych trudności.

Do skrzynki jest dołączona poręczna plastikowa tacka na narzędzia, ale nie jest ona używana w tym projekcie. Możesz wykonać obudowę według własnego pomysłu, o ile będzie ona metalowa i wystarczająco duża.

Po skompletowaniu obudowy, zasilaczy, modułu wzmacniacza i pozostałych elementów można przystąpić do montażu. Przebiega on w kilku etapach opisanych poniżej:

1. Połącz sześć zasilaczy impulsowych w dwa zestawy po trzy i połącz je przewodami (**fotografia 3**).
2. Przygotuj obudowę, wykonując wymagane otwory i montując elementy mocujące.
3. Wykonaj okablowanie wewnątrz obudowy.
4. Zamontuj zasilacze impulsowe i połącz je z okablowaniem obudowy.
5. Umocuj moduł wzmacniacza na zasilaczach impulsowych i podłącz przewody.

Montaż początkowy

Ostateczny efekt pokazano na **fotografii 9**. Pokazano tam wszystkie zamontowane i podłączone wewnątrz obudowy podzespoły.

Do zamocowania sześciu zasilaczy impulsowych potrzebne są: cztery górne listwy z płaskownika aluminiowego o wymiarach 25×3 mm oraz cztery dolne listwy z profilu prostokątnego 20×10×2 mm. W elementach tych należy wywiercić otwory o średnicy 4 mm, zgodnie z **rysunkiem 11**.

Zwróć uwagę, że przełączniki wyboru napięcia sieciowego w ujemnym (lewym) banku zasilaczy ustawiono ku górze, natomiast w dodatnim banku w tę stronę skierowane są diody LED. Takie rozmieszczenie poprawia chłodzenie i ułatwia przepływ powietrza.

Górne i dolne listwy przykręca się do gwintowanych otworów w obudowie każdego zasilacza impulsowego, używając śrub M4 z płaskimi podkładkami. Należy bezwzględnie pamiętać, że dwanaście śrub mocujących górne listwy nie może mieć długości większej niż 10 mm – w przeciwnym razie mogą dosięgnąć elementów wewnętrznych i uszkodzić zasilacze.

Poszczególne zasilacze mogą się różnić, nawet jeśli wyglądają podobnie. Dlatego przed montażem warto sprawdzić w nocie katalogowej parametr „dostępnej głębokości", aby upewnić się, że śruby M4 o długości 10 mm są na tyle krótkie, by nie spowodować uszkodzeń.

Należy pozostawić co najmniej 13 mm odstępu między zasilaczami. Taki dystans umożliwia włożenie śrub M10 do ich zamocowania w podstawie obudowy, jak pokazano na **rysunkach 12** i **13** oraz na fotografii 9. W naszym prototypie użyto dwóch śrub, choć optymalnie byłoby zastosować cztery.

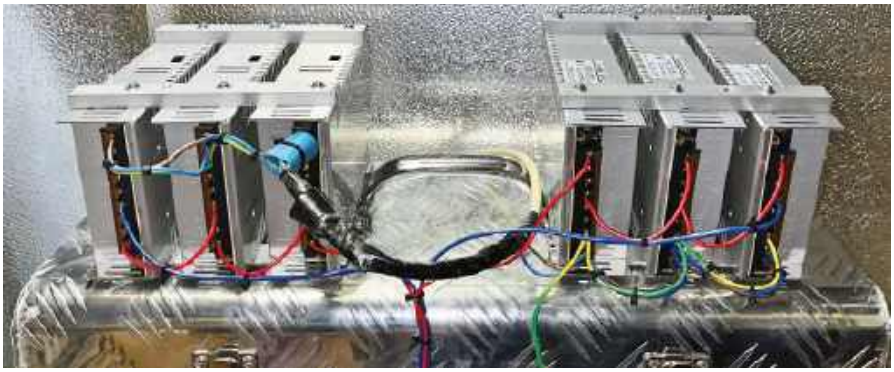
Przygotowanie obudowy

Zdemontuj plastikową tackę na narzędzia ze skrzynki Sunrise, a z przedniej ścianki usuń naklejkę przyklejoną gumopodobnym klejem. Umożliwi to zamontowanie w tym miejscu wskaźnika wysterowania oraz regulatora głośności.

Następnie należy wykonać otwory na śruby mocujące M10 w podstawie obudowy. Ich położenie zaznacz dopiero po włożeniu zasilaczy, ponieważ moduł wzmacniacza trzeba ustawić tak, aby jego otwory montażowe pokrywały się z listwami.

Najprościej sprawdzić poprawność montażu, przykręcając do otworów modułu wzmacniacza cztery gwintowane dystanse za pomocą krótkich śrub M3 i układając moduł na listwach. Sprawdź, czy moduł stoi stabilnie i czy tuleje dystansowe znajdują się centralnie na listwach. Gdy wszystko jest prawidłowo ustawione, zaznacz miejsca

eprasa.pl 5641c41152



Fotografia 3. Połączenie szeregowe sześciu zasilaczy i okablowanie sieciowe. Należy zauważyć, że na tym początkowym etapie nie użyliśmy złączy zaciskanych. Nie są one bezwzględnie konieczne, ale jeśli są prawidłowo zaciśnięte, zapewniają bezpieczniejsze mocowanie i mniejsze ryzyko przypadkowych zwarć. Nie oszczędzaj na opaskach kablowych po zakończeniu okablowania, zwłaszcza na wiązkach przewodów sieciowych

na dnie obudowy, nanosząc odrobinę farby na śruby.

Wywierć otwory o średnicy 10 mm i sprawdź, czy pasują do nich śruby mocujące. Należy je zamontować tak, aby nie obracały się podczas dokręcania. W tym celu można użyć wycinaka do blachy (tzw. nibblera).

Po wykonaniu otworów usuń zasilacze i zaznacz pozostałe miejsca wierceń oraz wycięcia w obudowie, zgodnie z **rysunkiem 14**. Część z nich jest opcjonalna – na przykład nie trzeba przygotowywać otworu pod wskaźnik wysterowania, jeśli nie zamierzasz go instalować.

Jeśli planujesz korzystać ze sterowania zewnętrznego, możesz pominąć montaż regulatora głośności. Zaleca się jednak jego instalację, gdyż w praktyce często okazuje się przydatny. Możesz też wywiercić tylko jedną parę otworów na gniazda przyłączeniowe, o ile impedancja obciążenia zawsze będzie mniejsza niż 8 Ω.

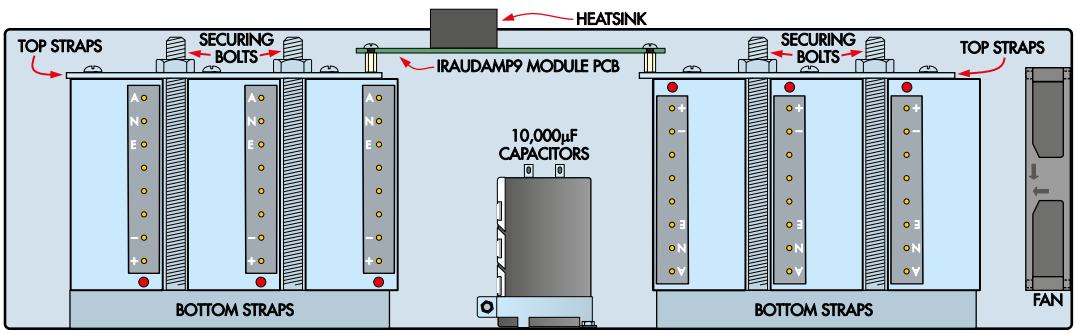
W przypadku otworu wentylacyjnego upewnij się, że prostokątne wycięcie nie jest zbyt duże, a czterema otworami narożnymi zajmiesz się później. Aby upewnić się, że otwory są rozmieszczone dokładnie, zaznacz ich pozycje, korzystając z rzeczywistego elementu wentylacyjnego jako szablonu. Do jego zamocowania zastosuj śruby M4 z nakrętkami i podkładkami pod każdą nakrętką.

Zachowaj dokładność podczas wykonywania otworu na przełączane gniazdo IEC z bezpiecznikiem, ponieważ musi ono zatrzasnąć się na swoim miejscu (**fotografia 4**). Aby to zrobić, zaznacz otwór i użyj małego wiertła. Wykonaj otwór w każdym rogu (najlepiej w odległości 3 mm od niego), a następnie wywierć większy otwór, aby umożliwić przejście ostrza piły do metalu i ostrożnie kieruj ostrze do każdego rogu. Piłuj, aż gniazdo wejścia zasilania sieciowego (IEC) wskoczy na swoje miejsce.

Otwór na wskaźnik wysterowania ma wymiary 85×44 mm. Można go również wyciąć za pomocą wyrzynarki. Wywierć otwór w środku nieco większy niż ostrze, a następnie przytnij do każdego rogu. Można również użyć narzędzia do wycinania otworów (Jaycar TH1768). Okrągły otwór na przedni potencjometr głośności będzie miał średnicę 7 mm lub 8 mm, w zależności od użytego potencjometru.

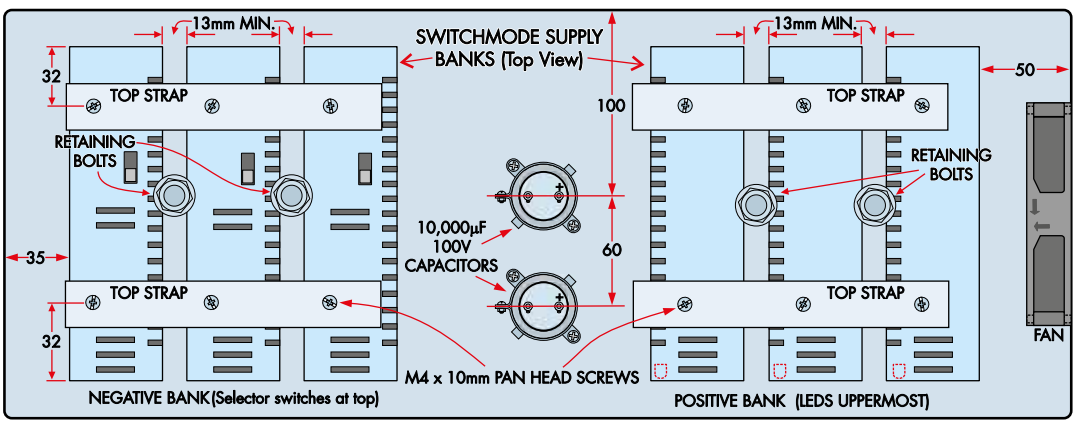
Wytnij otwór na wentylator i jego osłonę po prawej stronie obudowy. Możesz zastosować wentylator o innym rozmiarze (np. 80 mm lub 150 mm), jednak modele 120 mm są najłatwiej dostępne i zwykle bardzo ciche przy dużej wydajności przepływu powietrza. Otwór przygotuj, wiercąc najpierw mały otwór pilotażowy, a następnie powiększając go tak, aby można było użyć wyrzynarki z brzeszczotem do metalu. Alternatywnie można użyć wycinaka do blachy (nibblera).

Upewnij się, że wszystkie otwory pasują do komponentów i usuń z nich zadziory. Do usunięcia zadziorów z okrągłych otworów możesz użyć dużego wiertła, a do pozostałych odpowiedni będzie pilnik lub papier ścierny. Po wykonaniu tych czynności dokładnie wyczyść skrzynkę, odkurzając ją, a następnie wytrzyj wilgotną szmatką. Musisz usunąć



Rysunek 12. Widok z boku pokazujący, mocowanie w obudowie zasilaczy, modułu wzmacniacza i opcjonalnej baterii kondensatorów. Oba rysunki 12 i 13 są pokazane w 25% zmniejszeniu

INSIDE SIDE VIEW OF TOOLBOX CASE



Rysunek 13. Widok z góry pokazujący rozmieszczenie komponentów zasilacza w naszej skrzynce narzędziowej. Chociaż użyliśmy jednej śruby M10 do przytrzymania każdego banku zasilaczy na miejscu, zalecamy użycie dwóch dla każdego z nich

PLAN VIEW OF TOOLBOX CASE
ALL DIMENSIONS IN MILLIMETRES

eprasa.pl 5641c41152

wszystkie opiłki, które mogą znajdować się jeszcze w środku skrzynki.

Zamontuj gniazdo RCA, listwy zaciskowe, wejściowe gniazdo sieci energetycznej (IEC), otwór wentylacyjny, wentylator i osłonę wentylatora. Upewnij się, że wszystkie elementy są dobrze zamocowane. Sprawdź także czy zaciski i gniazdo RCA są odizolowane od obudowy skrzynki narzędziowej.

Jeśli okaże się, że pokrywa uderza w gniazdo RCA po otwarciu, należy przymocować gumową nóżkę nad gniazdem RCA, aby ograniczyć zakres otwierania.

Okablowanie

Odmierz i utnij kabel RCA-RCA tak, aby sięgnął z małym zapasem od gniazda wejściowego z tyłu obudowy do potencjometru z przodu, a następnie przylutuj jego zewnętrzny oplot do lewego wyprowadzenia potencjometru. Wewnętrzny przewód przylutuj natomiast do wyprowadzenia prawego. Pozostały odcinek kabla będzie przebiegał od potencjometru do modułu wzmacniacza. Jego oplot będzie również przylutowany do lewego wyprowadzenia, a wewnętrzny przewód do wyprowadzenia środkowego (suwak potencjometru).

Kiedy masz jeszcze dobry dostęp do wnętrza obudowy i montujesz dwa zestawy zacisków (tak jak w naszym przypadku), częściowo odwiń cewkę 100 µH, pozostawiając 25 zwojów. Dzięki temu uzyskasz indukcyjność około 75 µH. Następnie zaciśnij oczka na jej wyprowadzeniach i połącz cewkę między dwoma czerwonymi zaciskami. Do boku obudowy przymocuj ją neutralnie utwardzanym silikonem, jak pokazano na **fotografii 5**.

W tym projekcie należy stosować dobrej jakości narzędzia do zaciskania oraz przewody przeznaczone do instalacji sieciowych. Przewody pozostaw na tyle długie, aby można było wykonać wszystkie połączenia jeszcze przed zamontowaniem podzespołów w obudowie.

Odetnij odcinek grubego przewodu głośnikowego w układzie ósemkowym lub dwa podobne przewody o dużej obciążalności prądowej. Połącz je z zaciskami głośnikowymi i punktem na module wzmacniacza, w którym znajduje się złącze wyjściowe. Na końcach przewodów zaciśnij oczka i podłącz je do zacisków 2…4 Ω, zgodnie ze schematem okablowania.

Przygotuj drugi krótki odcinek przewodu o dużej obciążalności prądowej z oczkami na każdym końcu i podłącz go między dwoma czarnymi zaciskami głośnikowymi.

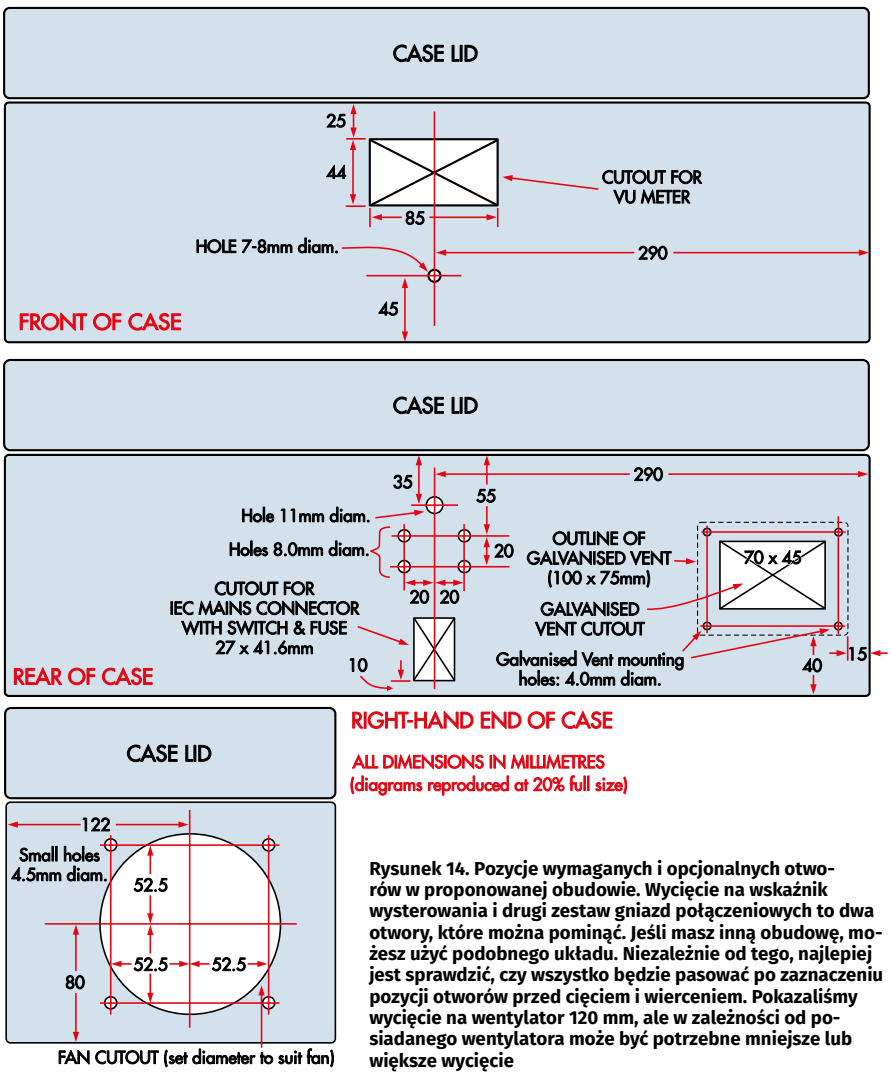
Teraz jest dobry moment do zaciśnięcia oczka widełkowego na jednym końcu zielono-żółtego przewodu sieciowego 10 A i oczka



Fotografia 4. Tylny panel wzmacniacza, ze złączem wejściowym na górze, zaciskami wyjściowymi 2 Ω...4 Ω poniżej i zaciskami wyjściowymi 8 Ω tuż nad przełączanym i zabezpieczanym gniazdem wejściowym. Wentylator, którego używaliśmy, został wycofany, więc zastosowaliśmy nieco mniejszy. Należy również zauważyć, że gniazdo wejściowe RCA zostało przesunięte w dół, ponieważ mieliśmy problemy z pokrywą uderzającą w prototyp



Fotografia 5. Wnętrze tylnej części obudowy. Wejście audio to podwójne gniazdo RCA montowane w obudowie, natomiast złącza wyjściowe to zaciski. Dolne wyjście dla obciążeń 8 Ω ma dodatkowy dławik 75 µH, aby zapobiec skokowi w górnej części pasma przenoszenia, który mógłby uszkodzić głośniki wysokotonowe



Rysunek 14. Pozycje wymaganych i opcjonalnych otworów w proponowanej obudowie. Wycięcie na wskaźnik wysterowania i drugi zestaw gniazd połączeniowych to dwa otwory, które można pominąć. Jeśli masz inną obudowę, możesz użyć podobnego układu. Niezależnie od tego, najlepiej jest sprawdzić, czy wszystko będzie pasować po zaznaczeniu pozycji otworów przed cięciem i wierceniem. Pokazaliśmy wycięcie na wentylator 120 mm, ale w zależności od posiadanego wentylatora może być potrzebne mniejsze lub większe wycięcie

eprasa.pl 5641c41152

na drugim końcu. Wsuń końcówkę widełkową na zacisk uziemienia złącza IEC i upewnij się, że jest solidnie zamocowana. Następnie wywierć otwór w pobliżu dna obudowy i korzystając ze śruby M4 oraz dwóch nakrętek, przymocuj oczko przewodu do odsłoniętej (wolnej od farby) części metalowej obudowy.

Śruby uziemiającej nie wolno używać do mocowania innych elementów do obudowy, choć dopuszczalne jest podłączenie do niej dodatkowych przewodów uziemiających (np. od zasilaczy impulsowych).

Między obudową a oczkiem przewodu umieść podkładkę sprężystą, aby zapewnić pewne połączenie elektryczne i mechaniczne. Górną nakrętkę dokręć do drugiej, która będzie pełniła rolę nakrętki zabezpieczającej.

Okablowanie zasilające

Okablowanie zasilacza pokazano na **rysunku 15**. Rozpocznij od szeregowego połączenia zasilaczy impulsowych. Chociaż można przykręcić goły przewód do zacisków śrubowych, znacznie lepiej jest zacisnąć na końcach przewodów końcówki widełkowe. Zapobiegnie to powstawaniu ewentualnych zwarć na odsłoniętych przewodach. Używaj odpowiedniego narzędzia do zaciskania, aby były one bezpieczne.

Pamiętaj, że każdy zasilacz ma trzy zaciski dla wyjścia dodatniego i trzy dla wyjścia ujemnego, które są ze sobą połączone. Podczas okablowania możesz więc wykorzystać dowolny zacisk +24 V lub 0 V. Po zakończeniu podłączania zatrzaśnij półprzezroczystą osłonę zabezpieczającą. Upewnij się, że przewody sieciowe są wystarczająco długie, aby sięgnąć do gniazda wejściowego IEC, a przewody DC sięgają do zacisku śrubowego w module wzmacniacza.

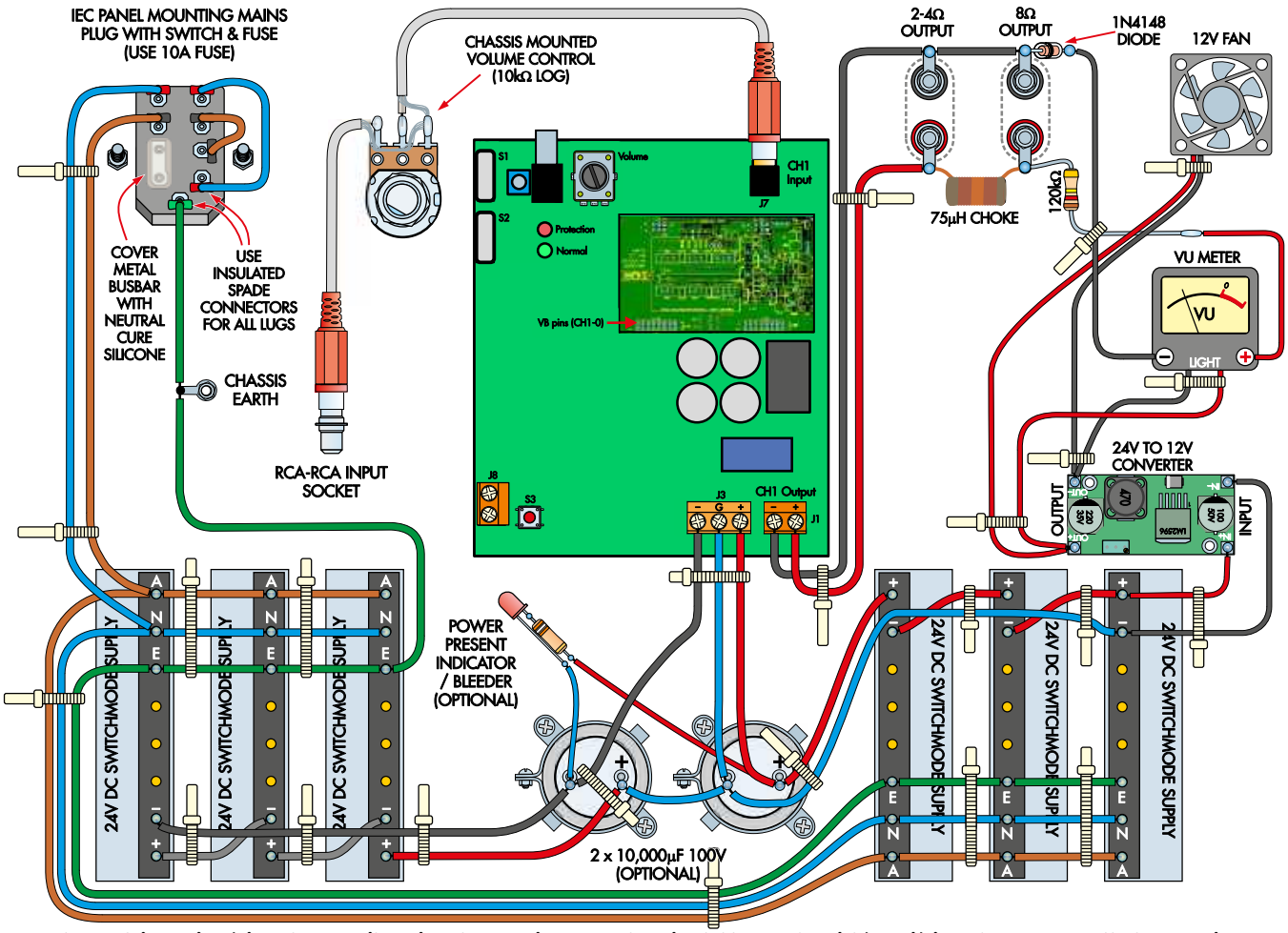
Zepnij przewody sieciowe opaskami kablowymi i zaizoluj je, zgodnie z rysunkiem. Przewód ochronny podłącz do zacisku uziemiającego obudowy, a przewód fazowy i neutralny do gniazda IEC z wyłącznikiem.

Po upewnieniu się, że będą one wystarczająco długie, można zacisnąć izolowane złącza widełkowe na przewodzie aktywnym i neutralnym (**fotografia 8**) oraz końcówkę oczkową na przewodzie uziemiającym.

Do podłączenia wyłącznika w gnieździe IEC z zaciskami wejściowymi sieci (zgodnie ze schematem okablowania) potrzebne będą dwa krótkie przewody fazowy i neutralny, zakończone z obu stron izolowanymi końcówkami widełkowymi. Po wykonaniu połączeń sprawdź ich poprawność.

Przetwornica obniżająca

Należy pamiętać, że jeśli użyty został wentylator 24 V i zrezygnowałeś z montażu wskaźnika wysterowania, przetwornica obniżająca nie będzie wymagana. W takim przypadku wentylator jest podłączany bezpośrednio do jednego z zapasowych zestawów zacisków wyjściowych DC najbliższego zasilacza impulsowego.

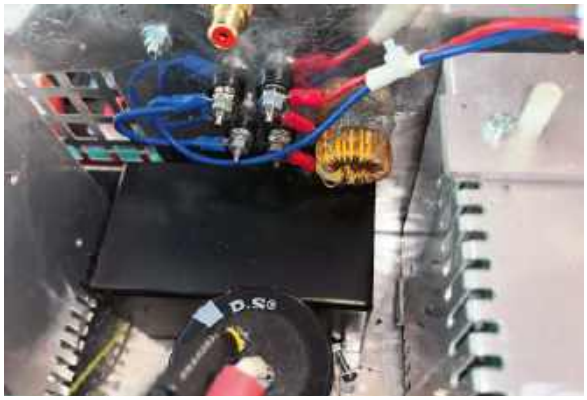


Rysunek 15. Należy pamiętać, że wybrane zasilacze impulsowe mają parę trzykrotnie zdublowanych zacisków wyjściowych DC. W przypadku korzystania z wentylatora 24 V należy podłączyć go do wyjść jednego z zasilaczy impulsowych, a nie do przetwornicy obniżającej napięcie. W przypadku korzystania z wentylatora 24 V i rezygnacji z montażu wskaźnika wysterowania można całkowicie pominąć przetwornicę obniżającą napięcie. Dioda LED i rezystor 39 kΩ 1 W mogą być podłączone do zasilania ±75 V w celu wskazania napięcia. Wszystkie przewody sieciowe musza mieć obciążalność prądową minimum 10 A; przewody zasilające i głośnikowe muszą mieć obciążalność co najmniej 15 A

eprasa.pl 5641c41152

Jeśli go używasz, podłącz przewody wejściowe przetwornicy buck 24 V na 12 V do wyjść jednego z zasilaczy impulsowych (ten najbliżej wentylatora jest prawdopodobnie najlepszy) za pomocą zaciskanych konektorów widełkowych.

Przylutuj przewody wyjściowe 12 V DC do przewodów wentylatora (zakładając, że używasz wentylatora 12 V) i zaizoluj połączenia koszulką termokurczliwą. W tym samym czasie, jeśli używasz wskaźnika wysterowania, przylutuj jego dwa zewnętrzne zaciski zasilające do tych samych przewodów wyjściowych 12 V DC (biegunowość nie ma znaczenia, ponieważ podświetlenie jest zwykłą żarówką).



Fotografia 6. Upewnij się, że skrzynka Jiffy zakrywa gniazdo IEC i okablowanie, tak jak nasza. Skrzynkę Jiffy można zabezpieczyć za pomocą małych kątowników, śrub i nakrętek. Jeden z opcjonalnych kondensatorów 10000 µF widoczny na tym zdjęciu został dodany po wszystkich pomiarach wydajności pokazanych w pierwszej części artykułu

Montaż końcowy

Okablowanie w obudowie powinno być teraz na tyle kompletne, aby można było włożyć do niej zasilacze impulsowe i zamocować je za pomocą śrub M10. W tym czasie należy podłączyć przewody zasilające zasilaczy impulsowych do zacisków gniazda sieciowego IEC, jak pokazano na schemacie okablowania.

Umieść lewy (ujemny) zestaw trzech zasilaczy w skrzynce narzędziowej. Będzie ciasno, ale wszystko powinno się zmieścić, jeśli ustawisz bank zasilaczy pod kątem, stroną z przewodami skierowaną do przodu, a następnie dociśniesz tył, aż oprze się na spodzie obudowy. Zamontuj przetwornicę buck na górze prawego banku za pomocą dwustronnej taśmy piankowej.

Teraz odetnij 60 mm od końca skrzynki UB5 Jiffy, abyś mógł umieścić ją nad łączówkami sieciowymi, jak na **fotografii 6**. Później, po przetestowaniu wzmacniacza i stwierdzeniu, że działa prawidłowo, należy go przymocować za pomocą wsporników kątowych, śrub i nakrętek połączonych z podstawą.

Jest to ważne, ponieważ nie tylko z tyłu gniazda IEC znajdują się odsłonięte przewody sieciowe, ale jest ono również dość blisko zacisków wejściowych i wyjściowych. Gdyby jeden z tych przewodów poluzował się i dotknął gniazda IEC, stanowiłoby to poważne zagrożenie, nie pomijaj więc tego kroku.

Jeśli korzystasz z opcjonalnych kondensatorów do montażu w obudowie, możesz zamontować je teraz, w środku obudowy między zasilaczami impulsowymi. Podłącz je do szyny DC, uważając na prawidłową polaryzację. Dodatni zacisk jednego z nich jest podłączony do szyny +75 V, ujemny zacisk drugiego do szyny –75 V, a dwa pozostałe zaciski do szyny 0 V. Nieprawidłowe podłączenie przewodów może być katastrofalne w skutkach!

Dobrym pomysłem jest przetestowanie zasilania przed zainstalowaniem modułu wzmacniacza. Sprawdź wszystko dwukrotnie, aby zagwarantować, że nie ma żadnych błędów i że żaden z niezakończonych przewodów nie zwiera się z jakimkolwiek innym elementem (lub ze sobą). Ponadto, jeśli zasilacze impulsowe mają przełącznik wyboru zakresu napięcia sieciowego, upewnij się, że wszystkie są ustawione w prawidłowej pozycji (220…240 V).

Po zakryciu zacisków sieciowych pudełkiem Jiffy i założeniu plastikowych osłon zasilacza, podłącz zasilanie sieciowe i włącz je. Za pomocą multimetru sprawdź napięcie 72…75 V między przewodem 0 V a dwoma pozostałymi przewodami zasilania DC. Sprawdź również poprawność polaryzacji każdego z nich.

Możesz teraz wyregulować napięcia na szynach zasilających z dokładnością do 0,1 V za pomocą regulatorów w jednej lub dwóch przetwornicach, co w rezultacie powinno zapewnić najniższy możliwy poziom szumów i zniekształceń. Nie jest to jednak działanie krytyczne.

Po zakończeniu prac wyłącz urządzenie i pozwól kondensatorom rozładować się (w razie potrzeby podłącz rezystory drutowe do szyn zasilających), aż napięcie na wyjściach spadnie poniżej kilku woltów. Nie kontynuuj pracy, dopóki kondensatory nie zostaną całkowicie rozładowane.



Fotografia 7. Lewy bank (ujemnych) zasilaczy. Widać pomarańczowe potencjometry, które regulują napięcie wyjściowe zasilacza. Gruba szyna na górze wchodzi w dolną część obudowy (zasilacze są odwrócone po zainstalowaniu), aby umożliwić cyrkulację powietrza chłodzącego pod zasilaczami. Fotografia została zrobione przed dodaniem wszystkich opasek kablowych. Każdy kabel powinien być spięty opaską, a sieć zasilająca powinna być oddzielona od pozostałego okablowania

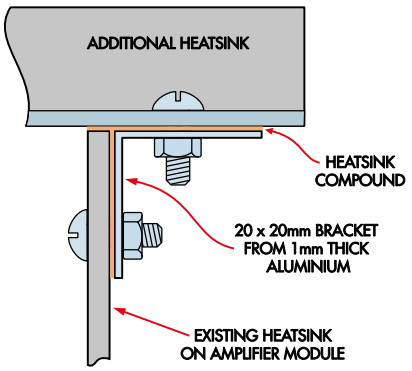


Fotografia 8. Zbliżenie połączeń sieciowych do gniazda wejściowego IEC przed umieszczeniem na nich ochronnej puszki Jiffy

eprasa.pl 5641c41152



Fotografia 9. Zasilacze impulsowe ładnie mieszczą się w aluminiowej skrzynce narzędziowej, a kilowatowy wzmacniacz zamontowany na plastikowych izolatorach zajmuje niewielką powierzchnię w górnej części. Mały moduł po prawej stronie zapewnia napięcie 12 V z wyjścia 24 V...25 V dowolnego zasilacza impulsowego, do zasilania wentylatora 12 V DC i podświetlenia wskaźnika wysterowania



Rysunek 16. Większość użytkowników uzna radiator dostarczony z modułem za wystarczający, ale jeśli wzmacniacz będzie bardzo mocno obciążony, warto rozważyć dołączenie do niego większego radiatora (lub nawet tylko aluminiowego profilu)

Montaż modułu wzmacniacza

Nadszedł czas, aby zamontować moduł wzmacniacza na górnych szynach zasilających. Istnieją dwa podstawowe sposoby montażu modułu.

Najłatwiej jest przymocować gwintowane elementy dystansowe do modułu wzmacniacza, umieścić je na szynach i przykleić je do szyn za pomocą dużej ilości neutralnie utwardzanego silikonowego uszczelniacza na każdym z nich. Powinno to zapewnić bezpieczne zakotwiczenie (moduł nie jest bardzo ciężki).

Lepszym podejściem, które wymaga nieco więcej pracy, jest umieszczenie modułu na szynach i zaznaczenie czterech miejsc, w których znajdują się otwory na śruby. Następnie należy po kolei zdejmować szyny z zasilaczy impulsowych, wiercić otwory o średnicy 3 mm i nawiercić je od spodu.

Do przymocowania elementów dystansowych do szyn użyj krótkich wkrętów maszynowych M3 z łbem stożkowym, a następnie ponownie przymocuj je do elementów. Następnie, gdy wszystkie cztery elementy dystansowe znajdą się na miejscu, można przykręcić elementy dystansowe na górze i do zamocowania modułu użyć krótkich wkrętów maszynowych z łbem stożkowym.

Po zabezpieczeniu modułu wzmacniacza można dokończyć okablowanie. Podłącz gniazdo wejściowe RCA do gniazda na płytce i podłącz przewody szyny zasilającej +75 V, 0 V i –75 V do wejść zasilania DC, uważając, aby trafiły do właściwych zacisków. Podłącz przewody wyjściowe do przygotowanych wcześniej zacisków, jak pokazano na **rysunku 15**.

Jeśli wskaźnik wysterowania będzie używany, pozostaje już tylko jego okablowanie. W takim przypadku podłącz dwa wewnętrzne zaciski miernika do zacisków wyjściowych modułu wzmacniacza, jak pokazano na schemacie okablowania, z wymaganym rezystorem szeregowym i diodą podłączonymi szeregowo. Całość powinna być zabezpieczona koszulką termokurczliwą (łącznie z połączeniami lutowanymi). Anoda diody jest podłączona do zacisku miernika oznaczonego symbolem „–”.

Rezystor 120 kΩ ustawia czerwoną linię wskaźnika wysterowania na 1700 W na 2 Ω, ale można użyć rezystora o niższej wartości, jeśli docelowa moc wyjściowa jest mniejsza, na przykład 33 kΩ lub 47 kΩ.

Radiatory

Biorąc pod uwagę wymuszony przepływ powietrza, który zapewniamy za pomocą wentylatora, radiator modułu wzmacniacza powinien być wystarczający. Jeśli jednak zamierzasz korzystać ze wzmacniacza wysterowanego pełną mocą w sposób ciągły, wskazane jest zwiększenie metalowej powierzchni radiatora. Wzmacniacz wyłączy się, jeśli radiator osiągnie temperaturę 100°C.

W takim przypadku należy upewnić się, że wybrany radiator zmieści się w obudowie przy zamkniętej pokrywie. Zalecamy ponadto przykręcenie go do istniejącego radiatora za pomocą wspornika (**rysunek 16**), i użycie masy termoprzewodzącej między każdym radiatorem a wspornikiem.

Testowanie

Sprawdź teraz dokładnie całe okablowanie, zwłaszcza połączenia zasilania ze wzmacniaczem.

Po upewnieniu się, że wszystkie połączenia są prawidłowe, ustaw przełączniki S1 i S2 na płytce drukowanej w ich środkowych pozycjach („on” i „self”), a także ustaw potencjometr głośności zamontowany na płytce drukowanej w pozycji środkowej. Ustaw zewnętrzną regulację głośności w najniższej pozycji. Upewnij się, że kabel RCA jest podłączony do gniazda RCA „CH1” na płytce drukowanej. Rozpocznij procedurę uruchamiania:

1. Sprawdź, czy w uchwycie bezpiecznika gniazda wejściowego IEC znajduje się bezpiecznik bezzwłoczny 10 A 250 V. Jeśli nie, zamontuj go teraz.
2. Podłącz głośnik do zacisków wyjściowych. Jeśli masz dwa zestawy, upewnij się, że używasz właściwej pary.
3. Podłącz źródło sygnału liniowego do wejścia RCA. Sprawdź ponownie, czy regulator głośności jest ustawiony na minimum.
4. Po upewnieniu się, że w pobliżu nie znajdują się żadne przewody zasilające, podłącz zasilanie.
5. Czerwona dioda LED (Protection) powinna włączyć się niemal natychmiast i zgasnąć po około trzech sekundach.
6. Zielona dioda LED (Normal) powinna zaświecić się i pozostać włączona.
7. Powoli zwiększaj poziom głośności i sprawdź, czy z głośnika wydobywa się niezakłócony dźwięk.
8. W przypadku wystąpienia problemu należy natychmiast wyłączyć wzmacniacz, wyjąć wtyczkę z gniazdka i odczekać 15 minut na rozładowanie kondensatorów przed przystąpieniem do badania.

Jeśli wszystkie czynności zakończyły się poprawnie, zabezpiecz skrzynkę Jiffy za pomocą śrub M3 i nakrętek. Teraz wzmacniacz jest gotowy, by pokazać pełnię swojej mocy! ■

Allan Linton-Smith

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

eprasa.pl 5641c41152

Ekscytacje Maxa

Migające diody LED i śliniący się inżynierowie (25)

Znacie z pewnością stare porzekadło, które brzmi mniej więcej tak: „Przyjemne a nieoczekiwane wydarzenia powodują u człowieka wzrost poziomu dopaminy, co sprawia, że jego wewnętrzny zegar zaczyna tykać szybciej”. Oczywiście bardziej znana jest wersja współczesna: „Przy dobrej zabawie szybko mija czas”. Ktokolwiek to powiedział, z pewnością wiedział, o czym mówi, ponieważ obecnie bawię się tak dobrze, że nie mam ani chwili wolnego czasu. Na przykład...

Powitajmy XIAO BLE Sense

W jednym z poprzednich artykułów z serii Migające diody LED i śliniący się inżynierowie (Practical Electronics, lipiec 2020 r.; EdW 2/2024) przedstawiłem płytkę rozwojową mikrokontrolera Seeeduino XIAO (https://bit.ly/3ckK31c). Ta niewielka płytka kosztuje zaledwie około 5 dolarów i ma rozmiar małego znaczka pocztowego. Układ w obudowie o 14 wyprowadzeniach to 32-bitowy mikrokontroler z rdzeniem Arm Cortex-M0+, pracujący z częstotliwością 48 MHz, wyposażony w 256 KB pamięci Flash i 32 KB pamięci SRAM.

Uwielbiam tego małego gagatka. Pierwszy egzemplarz XIAO wykorzystałem do sterowania mojej matrycy piłeczek pingpongowych 12×12 i od tego czasu używam tych maluchów w wielu projektach.

W jednym z poprzednich odcinków (Practical Electronics, styczeń 2021 r.; EdW 8/2024) rozbudowałem XIAO w matrycy piłeczek pingpongowych, dodając jedną z płytkę rozszerzających Adafruit 9DOF – czujnik położenia o dziewięciu stopniach swobody (https://bit.ly/3dP8EwU).



Rysunek 1. Moduł XIAO BLE Sense

Pozwoliło mi to „toczyć piłkę” po matrycy dzięki wykrywaniu kąta nachylenia.

Właśnie się dowiedziałem, że ekipa Seeed wprowadziła na rynek płytkę rozwojową XIAO BLE, która ma taki sam format jak oryginalny XIAO, ale jest wyposażona w moduł i antenę Bluetooth (https://bit.ly/34tp6SV). To cudo, kosztujące zaledwie około 10 dolarów, bazuje na 32-bitowym mikrokontrolerze z rdzeniem Arm Cortex-M4F (z jednostką zmiennoprzecinkową FPU), pracującym z częstotliwością 64 MHz. Płytka wyposażona jest w 2 MB pamięci Flash i 256 KB pamięci RAM.

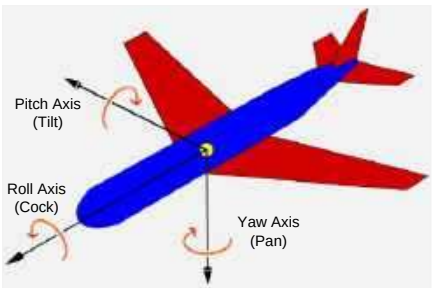
Ale to nie wszystko! Firma wprowadziła również moduł XIAO BLE Sense (https://bit.ly/33c4zkX). Kosztuje zaledwie około 15 dolarów i opiera się na tym samym mikrokontrolerze co XIAO BLE, lecz dodatkowo ma wbudowany mikrofon oraz bezwładnościowy układ pomiarowy 6DOF, zawierający 3-osiowy akcelerometr i 3-osiowy żyroskop (**rysunek 1**).

Pamiętacie jak wspominałem, że teraz tak dobrze się bawię, że nie mam ani chwili wolnego czasu? Potwierdzeniem tego jest fakt, że koledzy i koleżanki z Seeed uprzejmie zaproponowali mi przesłanie kilku płytek XIAO BLE Sense do zabawy, a ja z przykrością musiałem odmówić – ponieważ po prostu nie mam czasu, aby się tym zająć.

Obracanie, przechylanie i przekrzywianie

Jak być może pamiętacie, poprzedni artykuł (Practical Electronics, luty 2022 r.; EdW 9/2025) zakończyliśmy w momencie, w którym nie bardzo było jasne, jak postępują prace nad naszym projektem animatronicznej głowy robota, wyposażonej w możliwość obracania, pochylania i przechylania, a także w dwoje oczu, które mogą się obracać i pochylać niezależnie od siebie.

Żebyśmy się dobrze rozumieli: tak jak zaznaczyłem na zakończenie



Rysunek 2. Anglojęzyczne nazewnictwo dotyczące „obrotu, pochylania i przekrzywiania”

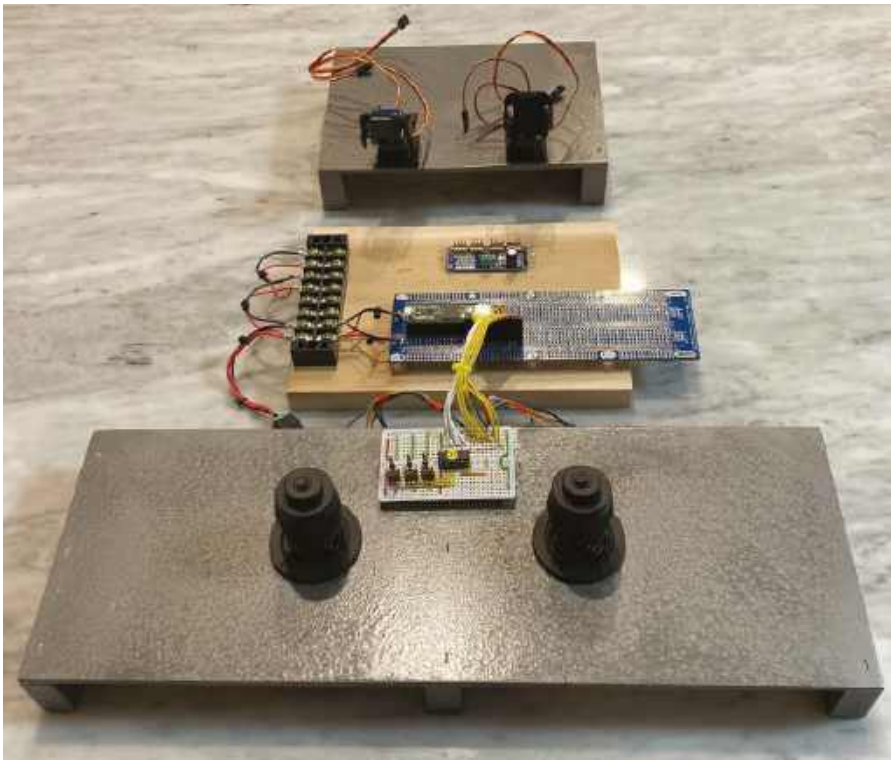
wspomnianego artykułu, kiedy mówię „my”, mam na myśli siebie i mojego przyjaciela Steve’a Manleya. A kiedy mówię „wszystkie postępy, jakie osiągnęliśmy”, mam na myśli postępy Steve’a, ponieważ pracuje on nad czymś tak niesamowitym, że kiedy to zobaczycie, będziecie piszczeć z radości.

I teraz jest dobry moment, aby zastanowić się nad nomenklaturą. Kiedy mówię „obrót” i „pochylenie” (ang. „pan” i „tilt”; przypis redaktora), używam terminologii związanej z montażem i obsługą kamer filmowych i telewizyjnych. Głowice obrotowo-uchylne umożliwiają obrót kamery w płaszczyźnie poziomej (obrót) lub pionowej (pochylenie). Nasza głowa robota będzie się mogła w podobny sposób obracać na boki i/lub przechylać do przodu i tyłu.

Problem polega na tym, że głowa robota będzie się również obracać wokół trzeciej osi, która w kontekście lotniczym nazywana jest „osią obrotu” (ang. „roll”; przypis redaktora) (**rysunek 2**). U nas „obrót” odpowiada „osi odchylenia”, a „pochylanie” – „osi nachylenia”, ale jakiego terminu powinniśmy użyć na „oś obrotu”?

Nie uwierzycie, ile czasu mogę spędzić – niektórzy powiedzą „zmarnować” (dziękuję Mamie za nieustające wsparcie) – roztrząsając tego typu kwestie. Nie możemy użyć terminu „przechylanie”, ponieważ podobnego terminu

eprasa.pl 5641c41152



Rysunek 3. Aktualny wygląd mojego stanowiska testowego

– „pochylanie” – używamy już odnośnie pochylania się do przodu lub do tyłu. Kusi mnie, żeby użyć słowa „przewracanie”, ale planujemy również obsługę obrotu i pochylenia oczu naszego robota, a kiedy ktoś „przewraca oczami”, zazwyczaj oznacza to, że na chwilę przesuwa wzrok w górę (często ruchem łukowatym), co może być mylone z naszym „pochylaniem”. Ostatecznie zdecydowałem się na termin „przekrzywiać”, ponieważ „przekrzywianie głowy” oznacza obrócenie jej czubka w lewo lub w prawo tak, że jedno ucho zbliża się do ramienia. Nie jestem jednak dumny z tej decyzji i pozostaję otwarty na sugestie. Jeśli macie jakieś lepsze propozycje, napiszcie do mnie e-mail.

Kusząca zapowiedź

Kilka miesięcy temu, kiedy to wspólnie ze Steve'm zaczęliśmy się zastanawiać nad stworzeniem animatronicznej głowy robota, postanowiłem wykonać prosty test. Mogłem go przeprowadzić szybko i łatwo (**rysunek 3**). Niestety – „szybko i łatwo” przełożyło się na „powoli i boleśnie”, ponieważ bardzo łatwo się rozpraszam... Nieważne... W dalszej części artykułu porównamy moje skromne dzieło (z mojej skromności jestem dumny) z dalece lepszym projektem Steve'a.

Na rysunku 3 szara podstawa na pierwszym planie (z drewna pomalowanego sprayem) służy do mocowania joysticków wieloosiowych, które przedstawiliśmy w jednym z poprzednich artykułów (Practical Electronics, styczeń 2022 r.; EdW 8/2025). Każdy z tych joysticków zawiera po trzy potencjometry 10 kΩ. Pierwszy potencjometr zmienia swoją rezystancję przy ruchu joysticka do przodu i do tyłu, drugi przy ruchu w lewo i w prawo, a trzeci przy obrotach zgodnie i przeciwnie do ruchu wskazówek zegara. Każdy joystick ma również na górze przycisk.

Mała płytka prototypowa między joystickami służy jako punkt zbiorczy, w którym zbiegają się wszystkie przewody z potencjometrów i przycisków i są dalej przekazywane do mikrokontrolera. Płytka ta zawiera również trzy małe przełączniki dwupozycyjne i 6-kanałowy układ scalony LogiSwitch LS119-P w 14-pinowej obudowie DIL (https://bit.ly/3sNyDhC). Układ ten służy do eliminacji drgań styków trzech przełączników dwupozycyjnych i dwóch przycisków na joystickach.

Na drewnianej podstawie pośrodku rysunku 3 znajduje się jedna z niebieskich płytek prototypowych, które Steve i ja zaprojektowaliśmy w ramach naszego projektu 10-znakowego, 21-segmentowego wyświetlacza w stylu wiktoriańskim (Practical Electronics, sierpień 2021 r.; EdW 3/2025). Na razie płytka ta zawiera tylko moduł Teensy 3.6 z 32-bitowym mikrokontrolerem Arm Cortex-M4F o częstotliwości 180 MHz, z 58 pinami wejścia/wyjścia (z których 25 może być użytych jako wejścia analogowe), 1 MB pamięci Flash i 256 KB pamięci RAM (https://bit.ly/3F-Nic8E). A powodem, dla którego używam oddzielnego modułu z mikrokontrolerem – w przeciwieństwie do zaawansowanej płytki sterującej, nad którą pracuje Steve – jest to, że działanie takiego systemu jest łatwiejsze do zrozumienia, a ja chcę, żebyście mogli odtworzyć to, co robię, jeśli będziecie mieli na to ochotę. W przyszłości ten moduł z mikrokontrolerem będzie używany na 16-kanałowej płytce sterującej serwomechanizmami, widocznej w tylnej części drewnianej podstawy. Płytka ta będzie z kolei używana do sterowania dwoma mechanizmami obrotu i pochylenia zamontowanymi na szarej podstawie w głębi rysunku 3.

Operatory złożone

W szkicach (programach), które analizowaliśmy i rozważaliśmy w poprzednich odcinkach, ograniczaliśmy się głównie do używania prostego operatora przypisania „=”. Na przykład jeśli chcieliśmy dodać 3 do zmiennej całkowitej o nazwie a, używaliśmy następującego wyrażenia: a=a+3;

Bardziej zwięzłym sposobem wyrażenia dokładnie tego samego jest użycie złożonego operatora przypisania: a+=3;

Złożone operatory przypisania zapewniają krótszą składnię, przypisując wynik operacji arytmetycznej lub bitowej. Nie używaliśmy ich wcześniej, ponieważ przy pierwszym kontakcie mogą być mylące. Można się jednak do nich szybko przyzwyczaić i wówczas ułatwiają one pisanie kodu.

Rysunek 4 przedstawia listę operatorów przypisania złożonego, które pojawią się w szkicach omówionych w dalszej części tego artykułu.

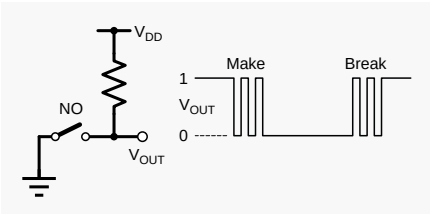
Drgania

Powróćmy do przycisków w joystickach i przełączników dwupozycyjnych na małej płytce między joystickami. Cechą

Operation	Standard Assignment	Compound Assignment
Addition	a = a + b;	a += b;
Subtraction	a = a - b;	a -= b;
Multiplication	a = a * b;	a *= b;
Division	a = a / b;	a /= b;
Modulo	a = a % b;	a %= b;
Bitwise AND	a = a & b;	a &= b;
Bitwise OR	a = a | b;	a |= b;
Bitwise XOR	a = a ^ b;	a ^= b;
Shift Left	a = a << b;	a <<= b;
Shift Right	a = a >> b;	a >>= b;

Rysunek 4. Lista złożonych operatorów przypisania w języku C

eprasa.pl 5641c41152



Rysunek 5. Przełącznik SPST z rezystorem podciągającym

charakterystyczną wszelkich przełączników – również dwupozycyjnych i przyciskowych – jest to, że ich styki drgają podczas zmiany stanu z wyłączenia na załączenie i odwrotnie (**rysunek 5**).

Symbol przełącznika na rysunku 5 oznacza przełącznik dwupołożeniowy, jednobiegunowy, normalnie otwarty (NO). W tym przypadku jedna strona przełącznika, którą możemy uznać za wejście, jest dołączona do masy (0 V), a druga, wyjście – do VDD (zasilania) poprzez rezystor podciągający. Gdy przełącznik jest w stanie nieaktywnym (otwartym), zacisk V_{OUT} jest przez rezystor podciągany do logicznej jedynki. Gdy przełącznik jest w stanie aktywnym (zamkniętym), V_{OUT} jest sprowadzany do logicznego zera (potencjału masy).

Dołączenie wejścia przełącznika do masy, a jego wyjścia do rezystora podciągającego jest konfiguracją typową i będziemy ją stosować w całym tym projekcie. Warto jednak zauważyć, że podejściem alternatywnym byłoby dołączenie wejścia przełącznika do VDD, a jego wyjścia – do masy poprzez rezystor ściągający. W tym przypadku w stanie nieaktywnym/otwartym przełącznika, V_{OUT} wynosiłoby 0, a w stanie aktywnym/zamkniętym miałoby poziom wysoki (1).

Gdy robię takie układy z rezystorami dyskretnymi, używam zazwyczaj wartości 10 kΩ. Nadają się tutaj również inne rezystancje z zakresu 1...10 kΩ.

Najważniejszą rzeczą w kontekście niniejszej dyskusji jest to, że po zamknięciu przełącznika jego styk mechaniczny sprężynuje, a wyjście może wielokrotnie przeskakiwać między wartościami 0 i 1, zanim ostatecznie ustali się w stanie 0. I analogicznie – gdy potem otwieramy przełącznik, styk znów wielokrotnie się „odbija", a wyjście przeskakuje między wartościami 1 i 0, zanim ustabilizuje się na 1.

Ile razy?

Łatwo jest powiedzieć „wielokrotnie", tak jak przed chwilą – ale co to właściwie oznacza? W praktyce, w zależności od przełącznika, odbić może być od jednego do ponad 100. Liczba odbić może być inna za każdym razem i – żeby było ciekawiej – może się zmieniać w zależności od warunków otoczenia (wilgotność, temperatura) i w miarę starzenia się przełącznika.

Dla zabawy wyciągnąłem z szuflady przełącznik SPST (jednobiegunowy/dwupołożeniowy; przypis redaktora) i przylutowałem do jego zacisków dwa krótkie przewody. Jeden z nich dołączyłem do masy, a drugi do cyfrowego pinu wejścia/wyjścia nr 14 w moim module Teensy 3.6.

Z powodów, które staną się jasne później, chciałem przetestować działanie mojego przełącznika przez czas dłuższy niż 6,2 ms, więc wybrałem ładną, okrągłą liczbę 10 ms. Pierwszą rzeczą, jaką zrobiłem, było utworzenie prostego szkicu, który (a) zapisuje czas w mikrosekundach (µs) od rozpoczęcia testu, (b) wykonuje w pętli określoną liczbę odczytów wejścia cyfrowego podłączonego do przełącznika, (c) zapisuje czas zakończenia testu w µs, (d) oblicza czas całkowity (czas zakończenia minus czas rozpoczęcia) wykonywania pętli oraz (e) wyświetla ten całkowity czas na monitorze dołączonym przez łącze szeregowe. Za pierwszym razem ustawiłem liczbę powtórzeń pętli na 10 000, co dało mi łączny czas 1112 µs (1,112 ms). Zwiększyłem liczbę powtórzeń do 100 000, co dało całkowity czas 11 120 µs (11,12 ms), czyli nawet więcej niż 10 ms, które chciałem uzyskać. Jeśli chcecie, możecie pobrać ten program (plik CB-Mar22-01.txt) ze strony internetowej Practical Electronics z marca 2022 r. (https://bit.ly/3oouhbl).

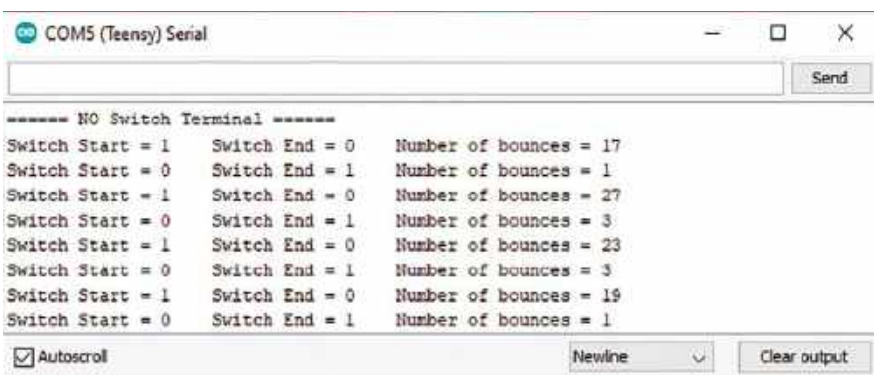
Wykorzystałem następnie doświadczenie zdobyte podczas tworzenia tego programu, aby stworzyć jego zmodyfikowaną wersję, która zlicza odbicia przełącznika (plik CB-Mar22-02.txt). Jeśli się uważnie przyjrzycie temu szkicowi, zauważycie złożone wyrażenie przypisania: numBounces += 1; Ten nowy program rozpoczyna się od funkcji setup(), która odczytuje stan początkowy załączenia/wyłączenia przełącznika. Kiedy dochodzimy do funkcji loop(), czekamy na przejście przełącznika do stanu przeciwnego, co jest informacją, że przełącznik został aktywowany lub deaktywowany. W tym momencie zaczynamy pętlę wykonującą się 100 000 razy (wiemy, że to więcej niż 10 ms), zliczając odbicia. Po wysłaniu wyników do okna Serial I/O całość powtarzamy od nowa (**rysunek 6**).

W tym przykładzie i z tym egzemplarzem przełącznika, najwięcej odbić (17, 27, 23, 19...) powodowało zamykanie przełącznika, natomiast jego otwieranie powodowało mniej odbić (1, 3, 3, 1...). Bawiłem się tym przełącznikiem długo. Jego zamykanie czasami wywoływało zaledwie 10 odbić, a otwieranie w jednym przypadku spowodowało ich aż 7.

Jak długo?

Jak długo trwa to odbijanie? To trudne pytanie. Różne osoby udzielają tu różnych odpowiedzi. Na przykład kiedy zaczynałem swoją karierę, doświadczony inżynier powiedział mi, że wszelkie odbicia z pewnością ustaną w ciągu 1 ms od pierwszego przełączenia. Mylił się. Kilka lat temu Jack Ganssle – jeden z moich kumpli, guru systemów mikroprocesorowych – wyciągnął z pudełka z częściami ponad 20 przełączników różnych kształtów i rozmiarów i zbadał je w swojej pracowni. Stwierdził, że średni czas „odbijania" wynosił 1,6 ms, a najgorszy przypadek to 6,2 ms. Dlatego w moich eksperymentach sprawdzałem przełącznik przez czas nie krótszy niż 10 ms.

Gdy drga przycisk w pilocie telewizora i przełącza kanały o kilka zamiast o jeden, powoduje to irytację. Natomiast zupełnie inna sprawa jest wtedy, gdy próbujesz ocalić świat, a w Twoim wehikule czasu przycisk „przenieś o jeden dzień" odbija jak piłeczka pingpongowa. Z tego powodu projektanci systemów o znaczeniu krytycznym dla bezpieczeństwa zwykle projektują je tak, aby żadnych działań sterowanych przełącznikami nie podejmować naprędce, lecz odczekiwać 20 ms po ostatnim odbiciu – aby upewnić się, że odbicie to było rzeczywiście ostatnie.



Rysunek 6. Zliczanie liczby odbić przełącznika

eprasa.pl 5641c41152

Tanie i tandetne

Jak wspominałem, na moim stanowisku testowym do głowy robota w celu eliminacji skutków drgań styków przełączników dwustabilnych i przycisków używam układu LogiSwitch LS119-P. Omawialiśmy te układy scalone już kilkakrotnie (Practical Electronics, kwiecień 2019 r. i marzec 2020 r.; EdW 10/2023).

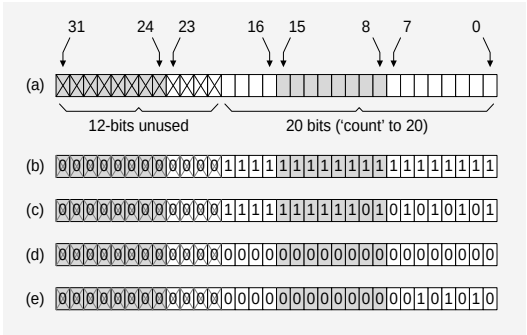
A co byśmy zrobili, gdybyśmy któregoś z tych układów nie mieli pod ręką? No cóż, moglibyśmy na przykład odfiltrowywać odbicia sygnału przełącznika w obwodzie opóźniającym rezystor-kondensator (RC) – patrz Practical Electronics, kwiecień 2019. Rozwiązaniem alternatywnym byłoby wyeliminowanie drgań napięcia przełącznika przez oprogramowanie pracujące na naszym mikrokontrolerze. W takim przypadku moglibyśmy zrezygnować z zewnętrznego rezystora podciągającego, programując wejście mikrokontrolera na typ INPUT_PULLUP, co uaktywni na tym pinie wewnętrzny rezystor podciągający.

Istnieje wiele sposobów radzenia sobie z odbiciami przełącznika na drodze programowej. Niektóre z nich nawet spełniają zadanie. Dla uproszczenia załóżmy, że pracujemy z jednym przełącznikiem, chociaż wszystko, co tutaj omówimy, odnosi się również do przypadków z wieloma przełącznikami.

Jeśli założymy, że nasz przełącznik jest w chwili rozpoczęcia działania systemu w stanie nieaktywnym, a jedyne zadanie naszego programu polega na wykryciu aktywacji przełącznika a następnie wywołaniu określonej akcji, możemy zdecydować się na rozwiązanie tanie i proste. Wystarczy oczekiwać w pętli na przejście przełącznika ze stanu nieaktywnego do aktywnego, a następnie uruchomić pożądane czynności.

A co, jeśli nasz system pracuje w obecności silnych zakłóceń elektrycznych, a wejście mikrokontrolera może odbierać sporadyczne zakłócenia w postaci skoków napięcia, które mogą być interpretowane jako przejście przełącznika do stanu aktywnego? W takim przypadku możemy najpierw czekać w pętli na pierwsze przejście, następnie odmierzyć pewien czas – powiedzmy 20 ms – i ponownie sprawdzić stan przełącznika. Jeśli znów stwierdzimy, że przełącznik jest aktywny, możemy uruchomić pożądaną akcję. Natomiast jeśli wykryjemy, że przełącznik powrócił do stanu nieaktywnego, wracamy do początkowej pętli i znów czekamy na pierwsze przejście.

W rzeczywistości życie rzadko jest tak proste. Częściej mamy do czynienia z wieloma przełącznikami, a nasz program ma, oprócz sprawdzania ich stanu, wiele innych zadań do wykonania. Może się również zdarzyć, że chcemy wykonać określoną akcję po aktywacji przełącznika, a inną – po jego dezaktywacji. Możliwym podejściem jest stworzenie programu w taki sposób, aby cyklicznie powtarzał pętlę główną, na przykład raz na milisekundę. Na początku tej pętli możemy sprawdzać stan przełączników i, jeśli przeszły one ze stanu nieaktywnego do aktywnego lub odwrotnie, wykonywać wszelkie akcje z tym związane. Następnie możemy przeprowadzać inne działania niezwiązane z przełącznikami. Sposób, w jaki można zaimplementować coś takiego, został szczegółowo omówiony w naszych dyskusjach na temat funkcji delay() (Practical Electronics, grudzień 2020 r.; EdW 7/2024).



Rysunek 7. Eliminacja odbić z rejestrem przesuwnym opartym na 32-bitowej liczbie całkowitej bez znaku

Niektórych fascynują liczniki

Załóżmy, że mamy wspomnianą pętlę główną i przyjmijmy dla uproszczenia, że działamy tylko z jednym przełącznikiem. Popularna technika programistyczna odczytu przełącznika z eliminacją efektu drgań styków polega na użyciu licznika. Inicjujemy go na wartość zero. Załóżmy, że na początku nasz przełącznik jest w stanie nieaktywnym (logiczne 1), co oznacza, że czekamy na przejście przełącznika do stanu aktywnego (0). W takim przypadku za każdym razem, gdy wykonujemy pętlę i odczytujemy 0, zwiększamy licznik (dodajemy do niego jeden), natomiast gdy odczytamy 1, licznik zerujemy. Gdy licznik osiągnie wartość 20 (szesnastkowo 0x14), wtedy mamy pewność, że nasz przełącznik był w stanie 0 przez 20 ms. Skoro już wiemy, że przełącznik jest w stanie aktywnym (0), wykonujemy wszystkie powiązane z tym działania, po czym zaczynamy czekać, aż powróci on do stanu nieaktywnego (1). Teraz przy każdym przejściu pętli głównej licznik zwiększamy wtedy, gdy z przełącznika odczytamy 1, a gdy odczytamy 0, licznik zerujemy. W ten sposób gdy licznik osiągnie wartość 20, wiemy, że nasz przełącznik był przez 20 ms w stanie 1.

Możecie zapoznać się z prostym szkicem, który wykonuje wszystkie te działania (plik CB-Mar22-03.txt). Zwróćcie ponownie uwagę na złożoną instrukcję przypisania: Counter += 1;

Zauważcie również, że Counter zdefiniowaliśmy jako zmienną całkowitą typu int. Rozmiar liczb całkowitych – w tym fakt, że może być on różny w zależności od typu mikrokontrolera – omówiliśmy we wcześniejszych artykułach z serii „Porady i wskazówki" (Practical Electronics, sierpień i wrzesień 2020 r.; EdW 3/2024 i 4/2024). W przypadku programów na Teensy 3.6 liczba całkowita jest wielkością 32-bitową. W Arduino Uno jej rozmiar wynosi 16 bitów.

Maksymalna wielkość, której używamy w tym przykładzie, wynosi 20. Gdybyśmy działali na małym mikrokontrolerze o ograniczonych zasobach, moglibyśmy zadeklarować nasz licznik jako liczbę całkowitą 8-bitową – albo ze znakiem, reprezentującą wartości z zakresu –128...+127, albo bez znaku, o zakresie 0...255. W prezentowanym szkicu używamy liczby całkowitej 32-bitowej, co jest dużą przesadą w stosunku do wielkości, które ma ona reprezentować. Robimy to jednak z dwóch powodów: (a) nie mamy ograniczeń co do użytych zasobów, (b) mikrokontrolery działają najwydajniej, gdy pracują z liczbami całkowitymi o rozmiarze dla siebie właściwym, standardowym (przypis redaktora: moduł Teensy 3.6 jest oparty na mikrokontrolerze 32-bitowym z rdzeniem ARM; mikrokontroler ten najszybciej operuje na liczbach 32-bitowych, natomiast gdy używa liczb 8- i 16-bitowych, wykonuje dodatkowe instrukcje formatujące).

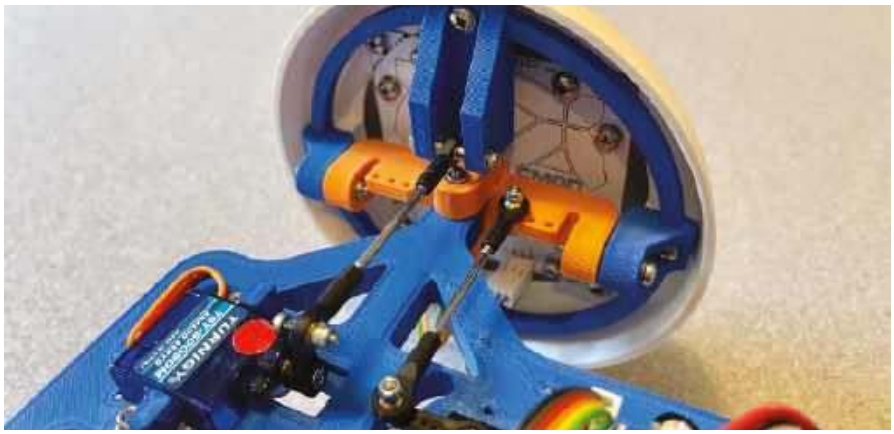
Innym wystarczają rejestry przesuwne

Nie zamierzam krytykować tych, którzy jako środek eliminacji efektu drgań styków preferują liczniki. Ja sam nie zaliczam się jednak do ich grona. Uśmiech aprobaty na mojej twarzy wywołuje subtelna prostota metody opartej na rejestrze przesuwnym. Koncepcję rejestrów przesuwnych przedstawiliśmy w artykule „Porady i wskazówki" Practical Electronics, czerwiec 2021 r.; EdW 1/2025. Znów załóżmy, że pracujemy tylko z jednym przełącznikiem. W takim przypadku potrzebny będzie tylko jeden rejestr przesuwny. Jak widać w szkicu (plik CB-Mar22-04.txt), wykorzystujemy tę samą metodę pętli, co nasz

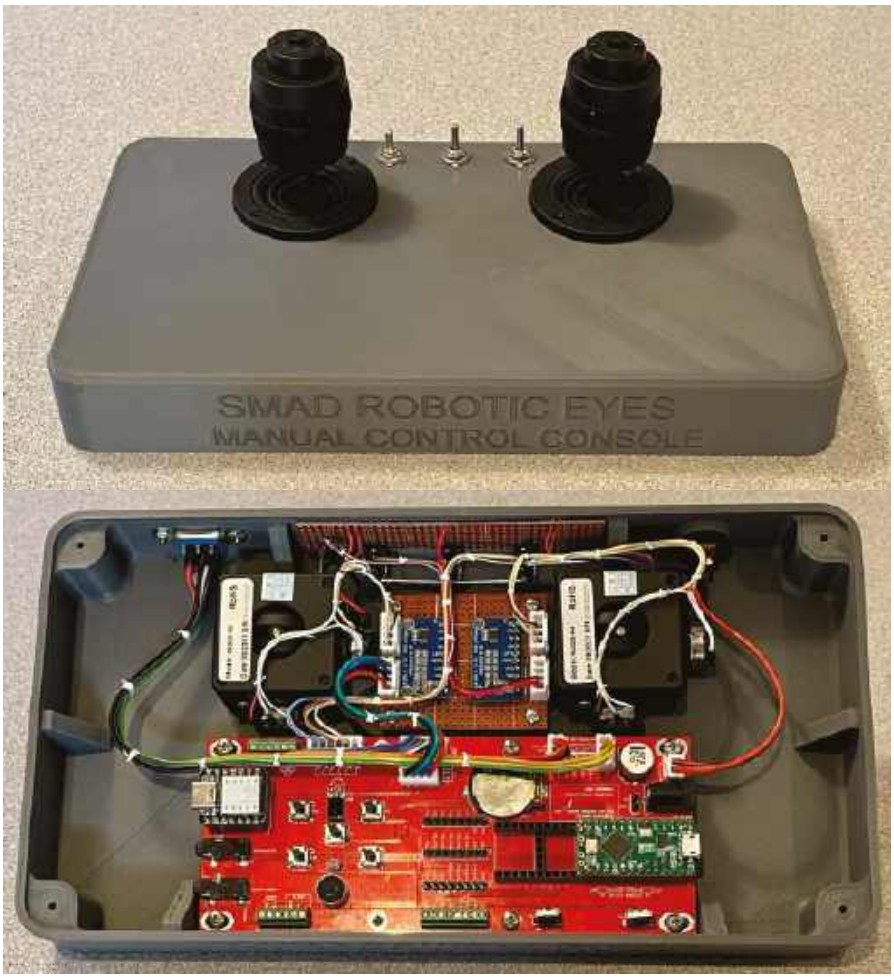
eprasa.pl 5641c41152



Rysunek 8. Tradycyjna implementacja zespołu obrotu i pochylania. Oba ruchy są izolowane mechanicznie



Rysunek 9. Dwa serwomechanizmy sterujące okiem SMAD-a. Zdjęcie: Steve Manley



Rysunek 10. Superelegancka konsola sterująca Steve'a. Zdjęcie: Steve Manley

poprzedni program. Zamiast licznika mamy jednak 32-bitową liczbę całkowitą bez znaku (typ uint32_t), użytą w roli rejestru przesuwnego. Do zliczenia do 20 potrzeba tylko 20 bitów, więc 12 najbardziej znaczących bitów liczby (MSB) pozostaje niewykorzystanych (**rysunek 7a**).

Załóżmy, że nasz przełącznik jest na początku w stanie nieaktywnym (1), a więc czekamy na jego przejście do stanu aktywnego (0). Inicjujemy zatem w naszym rejestrze przesuwnym 20 najmniej znaczących bitów (LSB) na wartość 1, a pozostałe 12 bitów na 0 (**rysunek 7b**).

Obsługa rejestru przesuwnego jest pod pewnymi względami prostsza niż w przypadku licznika, ponieważ na początku każdego wykonania pętli wystarczy przesunąć zawartość rejestru o jeden bit w lewo, załadować – używając operacji bitowej OR („|") – aktualny stan przełącznika do LSB (czyli do bitu nr 0) i wyzerować 12 najstarszych bitów, używając maski i operacji bitowej AND („&"). Logiczne operacje na bitach zostały wprowadzone w artykule „Porady i wskazówki" Practical Electronics, marzec 2021 r.; EdW 10/2024. Wszystkie te operacje przeprowadzamy w trzech instrukcjach, z których każda wykorzystuje przypisanie złożone:

```
ShiftReg <<= 1;
ShiftReg |= digitalRead(PinSw);
ShiftReg &= SR_MASK;
```

Na dłuższą metę nie interesuje nas, co się dokładnie działo z przełącznikiem, ponieważ technika rejestru przesuwnego doskonale filtruje drgania styków i zakłócenia. Załóżmy na przykład, że przełącznik zaczyna łączyć i odbija się pięć razy. Zakładając – dla potrzeb niniejszej dyskusji – że każde odbicie trwa milisekundę, w rejestrze przesuwnym pojawiłby się stan jak na **rysunku 7c**. Nie ma to dla nas żadnego znaczenia. Po prostu kontynuujemy wykonywanie pętli, aż wszystkie 20 najmłodszych bitów rejestru przesuwnego będzie zawierać 0. W połączeniu z faktem, że wymuszamy stan 0 na 12 najstarszych bitach, wartość 0x00000000 w systemie szesnastkowym będzie oznaczać, że przełącznik był w stabilnym stanie 0 przez 20 ms (**rysunek 7d**).

Gdy już stwierdzimy, że przełącznik osiągnął stan aktywny (0) i wykonamy wszelkie powiązane działania, zaczynamy czekać, aż powróci on do stanu nieaktywnego (1). Moglibyśmy teraz zainicjować rejestr przesuwny samymi zerami. Nie ma jednak takiej potrzeby, ponieważ rejestr zawiera już same zera od momentu, gdy stwierdziliśmy stan aktywacji przełącznika (rysunek 7d). I będzie

eprasa.pl 5641c41152

on nadal zawierał same zera, jak długo przełącznik pozostaje aktywny.

Teraz załóżmy, że przełącznik zaczyna przechodzić w stan nieaktywny i odbija się przy tym trzy razy. Ponownie zakładając, że każde odbicie trwa milisekundę, w rejestrze przesuwnym pojawi się stan jak na **rysunku 7e**. Tym razem kontynuujemy powtarzanie pętli, aż 12 najstarszych bitów rejestru przesuwnego będzie zawierać zera, a 20 najmłodszych bitów – jedynki. Odpowiada to w systemie szesnastkowym wartości 0x000FFFFF (rysunek 7b). I ta właśnie wartość poinformuje nas, że przełącznik był w stabilnym stanie 1 przez ostatnie 20 ms. Nie wiem jak wy, ale ja mam ochotę zaśpiewać „Tra-la-la!".

Zdajecie sobie sprawę, że...?

Początkujący – ale i profesjonaliści – łatwo zapominają, że wszystko, co możemy zrobić oprogramowaniem, można zrealizować w sprzęcie, i vice versa. Więc przyszło mi do głowy, iż warto zwrócić uwagę, że przedstawione powyżej techniki eliminowania skutków drgań styków, zarówno te oparte na liczniku, jak i te z rejestrem przesuwnym, można również zaimplementować sprzętowo. No bo jak myślicie – w jaki sposób wspomniane wyżej układy scalone LogiSwitch wykonują swoją magiczną pracę?

Nacieszcie oczy

Obawiam się, że znów zbliżamy się do końca artykułu. Zanim jednak zakończymy, chciałbym pokazać wam kilka rzeczy, nad którymi pracował Steve w ramach swojego „oficjalnego" (pełnego) projektu animatronicznej głowy.

Na początek wróćmy do dwóch mechanizmów obrotu i pochylania, które wykorzystuję w moim, coraz bardziej oszczędnym, prototypie – mechanizmów, które widzieliśmy zamontowane na małej podstawie drewnianej w głębi rysunku 3. Są to zestawy Mini Pan-Tilt Kits with Micro Servos firmy Adafruit (https://bit.ly/3f4FjjC). Każdy z tych mechanizmów będzie obsługiwał jedną z płytek SMAD (Steve and Max's Awesome Display), o których pisaliśmy w przez ostatnie miesiące. Chodzi o to, że są one zaimplementowane w taki sam sposób, jak wszystkie mechanizmy obrotu i pochylenia, jakie kiedykolwiek widziałem – oba ruchy są mechanicznie odizolowane od siebie. W tym przypadku podzespół serwomechanizmu pochylania jest umieszczony na podzespole serwomechanizmu obrotu (**rysunek 8**).

I tu zaczyna się robić ciekawie. W historii techniki było wiele przypadków, kiedy doświadczeni profesjonaliści twierdzili, że coś jest niemożliwe do zrealizowania. A, nieświadomi tego, ich niedoświadczeni młodsi koledzy po prostu zabierali się do roboty... i osiągali sukces.

Nie oznacza to bynajmniej, że Steve jest jakimś moim młodszym kolegą. On po prostu nigdy wcześniej nie pracował z mechanizmem obrotu i pochylania sterowanym serwomechanizmem. Kiedy więc po raz pierwszy opisałem mu, jaki rodzaj ruchu chcemy uzyskać, czyli indywidualny obrót i pochylanie każdego oka, Steve wymyślił rozwiązanie tak genialne (**rysunek 9**), że łzy radości napłynęły mi do oczu (które obracają się i pochylają bez serwomechanizmu).

Zdjęcie przedstawia jedno z oczu SMAD widziane od tyłu głowy robota. Ciekawe jest to, w jaki sposób Steve wykorzystuje dwa serwomechanizmy, przymocowane do głównej ramy wydrukowanej w 3D, do napędzania uniwersalnego przegubu przymocowanego do oka. Niesamowite jest to, że obrót i pochylanie pozostają od siebie niezależne.

Steve stworzył animację pokazującą to w akcji i uprzejmie pozwolił mi opublikować ją na moim kanale Cool Beans Blog na YouTube (https://bit.ly/3GcVTJK). Pokazałem tę animację – wraz z innym filmem przedstawiającym działanie oryginalnego zespołu – kilku moim znajomym inżynierom i wszyscy zgodziliśmy się, że nigdy wcześniej nie widzieliśmy czegoś podobnego.

Na koniec wróćmy do podstawy utrzymującej joysticki na pierwszym planie rysunku 3 oraz drewnianej podstawy z mikrokontrolerem i płytką sterującą serwomechanizmem w środkowej części rysunku. Porównajmy to z odpowiednikiem Steve'a (rysunek 10).

Steve wykonał tę obudowę na swojej drukarce 3D i trzeba przyznać, że wygląda ona znacznie bardziej profesjonalnie niż moja skromna propozycja. Duża czerwona płytka wewnątrz obudowy to jedna z płytek sterujących opracowanych przez Steve'a do obsługi naszych wiktoriańskich wyświetlaczy. Jak opisywaliśmy w poprzednim odcinku (Practical Electronics, lipiec 2021 r.; EdW 2/2025), płytka ta ma niezliczone możliwości, w tym obsługę sterowania podczerwienią (IR) oraz możliwość reagowania trójkolorowymi LED-ami SMAD-ów na dźwięk.

Za miesiąc

W następnym odcinku omówimy bardziej szczegółowo propozycje w zakresie animatroniki, zarówno moje, jak i Steve'a. Do tego czasu, jak zawsze, czekam na Wasze fascynujące komentarze, inspirujące pytania i wnikliwe sugestie. ■

Clive „Max" Maxfield

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

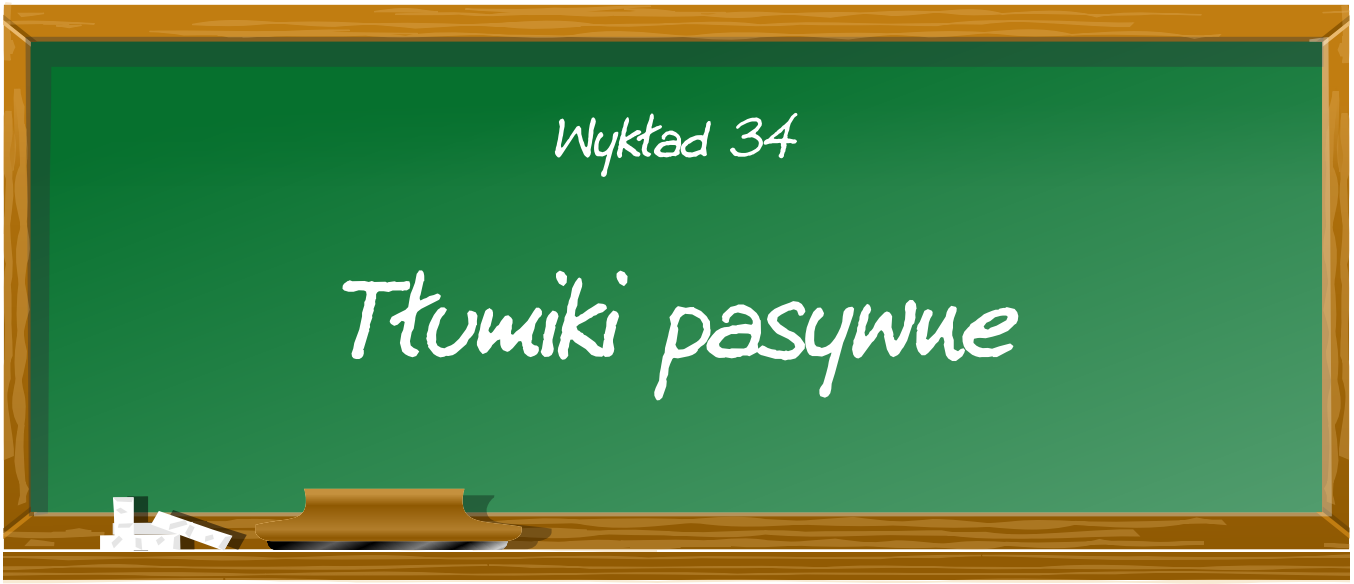
REKLAMA

Publikujemy dla projektantów i programistów elektroniki

ELPORTAL.pl

eprasa.pl 5641c41152

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.



Tłumiki pasywne (ang. attenuators) to układy zbudowane wyłącznie z rezystorów, których zadaniem jest zmniejszenie amplitudy sygnału do pożądanej wartości.

Pojęcia wstępne
Generowanie czy pomiar – tłumiki są niezbędne

Sprzęt laboratoryjny można ogólnie podzielić na dwie kategorie: przyrządy pomiarowe oraz generatory. W obu przypadkach konieczna jest możliwość ustawienia zakresu pomiarowego albo wielkości sygnału wyjściowego. Realizuje się to za pomocą potencjometrów i/lub przełączników.

Na poniższym zdjęciu widzimy przykładowo: po lewej tłumik wyjściowy generatora sinusoidalnego PM5109, a po prawej – generatora funkcyjnego F34.

Z tej ilustracji można wysnuć kilka wniosków:

- Tłumienie w praktyce jest wyskalowane zarówno w V, jak i w dB.
- Przy podziale w dB stosuje się kroki będące wielokrotnościami 10 dB.
- Przy podziale w V stosuje się kroki co 3 V i/lub 10 V.

W niektórych urządzeniach przełącznik tłumika i potencjometr tłumika połączone są w podwójne pokrętło sterujące. Oczywiste jest, że w przypadku konstrukcji amatorskich taka opcja nie wchodzi w grę – z tego, co wiemy, takie kombinowane elementy (przełącznik/potencjometr w jednym) nie są dostępne w sprzedaży.



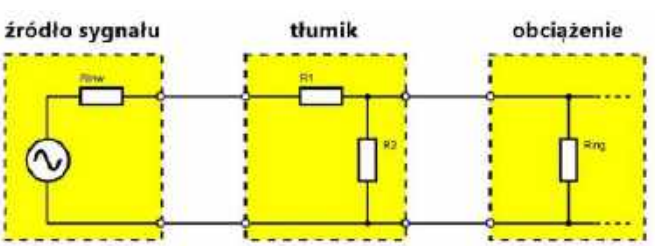
Dwa pasywne tłumiki w aparaturze pomiarowej (© 2022 Jos Verstraten)

Bardzo ważne układy

Mimo swojej prostoty tłumiki pasywne są niezwykle ważnymi i wręcz niezbędnymi układami. Weźmy dla przykładu tanie zestawienie typu „zrób to sam" – generator funkcyjny, który wytwarza sinusoidę o napięciu wyjściowym 10 V. W praktyce nie można tego sygnału wprost wykorzystać. Generator musi bowiem zasilać zarówno bardzo czuły wzmacniacz mikrofonowy wymagający sygnału rzędu 3 mV, jak i wzmacniacz mocy potrzebujący napięcia 0,755 V. Bez odpowiedniego tłumika, zbudowanego z przełącznika obrotowego i potencjometru, taki generator funkcyjny okazuje się bezużyteczny w praktycznych zastosowaniach.

Coś o rezystancjach wewnętrznych i obciążeniach

Tłumik pasywny oczywiście nie funkcjonuje samodzielnie, lecz jest częścią bardziej złożonego układu – z jednej strony podłączony jest do źródła sygnału, a z drugiej do obciążenia. Ani źródło, ani obciążenie nie są elementami idealnymi. Źródło posiada niepomijalną rezystancję wewnętrzną R_{inw}, a obciążenie – niepomijalną rezystancję wejściową R_{ing}. Sytuację tę przedstawiono na rysunku.



Tłumik pasywny w układzie (© 2022 Jos Verstraten)

eprasa.pl 5641c41152

Dzielnik rezystorowy R1/R2 odpowiada za żądane tłumienie. Załóżmy, że chcemy, aby na wyjściu pojawiła się połowa napięcia wejściowego. Gdyby rozpatrywać tłumik w oderwaniu od reszty układu, wystarczyłoby przyjąć, że rezystory R1 i R2 mają jednakową wartość. Wtedy na każdym z nich odkłada się identyczne napięcie, a na wyjściu otrzymujemy dokładnie połowę napięcia wejściowego.

W praktyce jednak ten „idealny" podział napięcia przestaje obowiązywać po podłączeniu tłumika do źródła sygnału i obciążenia. Rezystancja R_{inw} ustawia się szeregowo z rezystorem R1, natomiast rezystancja R_{ing} równolegle z rezystorem R2. W efekcie powstają niejako „nowe" wartości w dzielniku: R1 rośnie, R2 maleje. W rezultacie oczekiwane tłumienie do połowy napięcia wejściowego w praktyce nie zostaje osiągnięte.

Dobór rezystancji w aparaturze pomiarowej

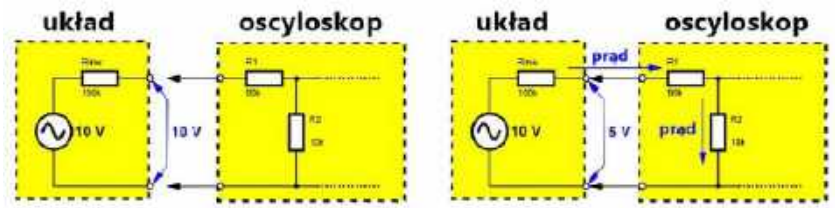
Jeżeli używa się tłumika pasywnego do rozszerzenia zakresu pomiarowego woltomierza lub oscyloskopu, rezystory wchodzące w jego skład powinny mieć możliwie największe wartości. Wyjaśnia to poniższy przykład.

Załóżmy, że chcemy zmierzyć napięcie w pewnym punkcie układu. W tym punkcie występuje napięcie 10 V, a rezystancja wewnętrzna R_{inw} wynosi 100 kΩ. Wejściowy tłumik przyrządu pomiarowego symbolicznie przedstawiono jako dwa rezystory: R1=90 kΩ oraz R2=10 kΩ.

Po podłączeniu oscyloskopu do badanego punktu powstaje zamknięty obwód obejmujący R_{inw}, R1 i R2. Przez wszystkie trzy rezystory płynie prąd. Ponieważ R_{inw}=R1+R2, na każdej z gałęzi odkłada się połowa napięcia, czyli 5 V. W efekcie oscyloskop pokaże tylko 5 V, zamiast rzeczywistych 10 V obecnych w układzie bez podłączonego przyrządu!

Wniosek: obciążając punkt układu wejściowym tłumikiem oscyloskopu, wprowadzamy do badanego obwodu nieakceptowalne zakłócenia. Może to doprowadzić do nieprawidłowej pracy układu, a na pewno do całkowicie błędnych pomiarów napięcia.

Z tego względu tłumik pasywny na wejściu aparatury pomiarowej musi charakteryzować się możliwie wysoką rezystancją. W „prawdziwych" oscyloskopach wartość ta jest standaryzowana na 1 MΩ, a w cyfrowych multimetriach spotyka się nawet 10 MΩ. Trzeba jednak pamiętać, że nawet wtedy należy rozważyć, jakie skutki dla działania badanego układu ma obciążenie jego punktu pomiarowego taką rezystancją.



Tłumik pasywny obciąża układ (© 2022 Jos Verstraten)

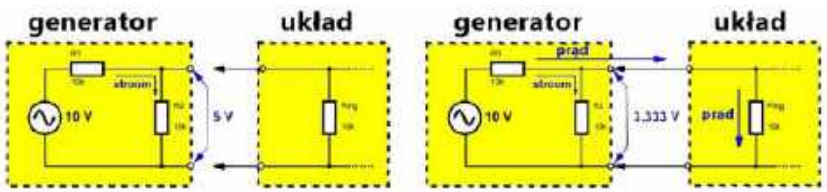
Dobór rezystancji w generatorach sygnałowych

Jeżeli generator wyposaża się w tłumik pasywny, za pomocą którego ustawia się poziom sygnału wyjściowego, rezystory tego tłumika powinny mieć możliwie małe wartości. Wyjaśnia to poniższy przykład.

Generator sam z siebie dostarcza napięcie 10 V, ale potrzebne jest napięcie wyjściowe 5 V. Można to uzyskać, podłączając do generatora tłumik złożony z dwóch rezystorów o jednakowych wartościach. R1 i R2 mają po 10 kΩ. Przez ten szeregowy dzielnik płynie prąd, który powoduje, że na każdym z rezystorów odkłada się identyczne napięcie, czyli 5 V. Jest to napięcie wyjściowe generatora w stanie jałowym (bez obciążenia).

Co się stanie, gdy wyjście generatora zostanie podłączone do jakiegoś układu? Ten układ ma określoną rezystancję wejściową R_{ing}. W naszym przykładzie wynosi ona 10 kΩ. Wówczas przez rezystory R1 i R_{ing} popłynie dodatkowy prąd. Powoduje to, że na rezystorze R1 odkłada się większe napięcie, a łatwo policzyć, iż napięcie wyjściowe spada wtedy do 3,33 V.

Wniosek: napięcie wyjściowe generatora ustawione bez obciążenia spada po podłączeniu odbiornika. Również w tym przypadku wyniki pomiarów stają się niewiarygodne.



Obwód obciąża pasywny tłumik (© 2022 Jos Verstraten)

Sprzeczne wymagania

Wniosek z dotychczasowych rozważań jest taki, że przy obliczaniu tłumików pasywnych trzeba dokładnie uwzględnić, do czego mają być użyte.

- Wejście przyrządu pomiarowego? Rezystory powinny mieć możliwie duże wartości!
- Wyjście generatora sygnałowego? Rezystory powinny mieć możliwie małe wartości!

Coś o pojemnościach pasożytniczych

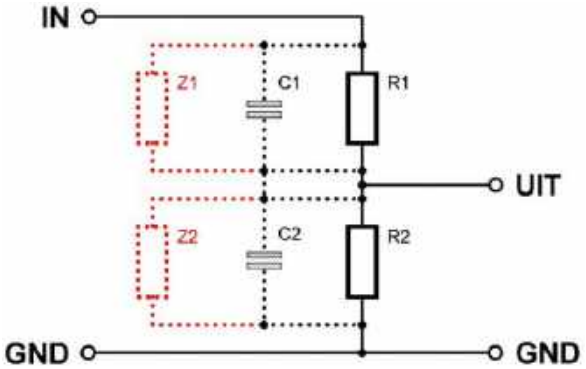
Drugim czynnikiem, z którym trzeba się liczyć przy projektowaniu tłumików pasywnych, jest wpływ pojemności pasożytniczych. Problem ten występuje jedynie w układach, w których mamy do czynienia z napięciami zmiennymi.

Każdy rzeczywisty rezystor, który wlutowujemy w układ, ma nie tylko określoną rezystancję, lecz również pewną pojemność równoległą. Nazywa się ją pojemnością pasożytniczą rezystora. Jeśli w schemacie tłumika uwzględnimy te „niewidzialne" elementy, powstaje układ przedstawiony poniżej.

eprasa.pl 5641c41152

Jak wiadomo, kondensator charakteryzuje się pewną impedancją Z, czyli opornością dla prądu przemiennego, której wartość zależy od częstotliwości. W schemacie oznaczyliśmy ją symbolicznie na czerwono. Dla prądu stałego impedancja Z jest nieskończenie duża – kondensatory nie mają wtedy wpływu na działanie układu. Wraz ze wzrostem częstotliwości sygnału napięcie na rezystorze zaczyna się jednak coraz bardziej „dzielić" z kondensatorem, ponieważ wartość Z maleje.

Oznacza to, że tłumienie naszego tłumika przestaje być stałe i zaczyna zależeć od częstotliwości sygnału podawanego na jego wejście.



Pojemności pasożytnicze w tłumiku (© 2022 Jos Verstraten)

Kompensacja częstotliwościowa

Jest oczywiste, że wpływ impedancji kondensatorów pasożytniczych maleje, gdy wartości rezystorów R1 i R2 są możliwie małe. Jednak w przypadku zastosowania tłumika w obwodzie wejściowym przyrządu pomiarowego rezystory muszą być jak największe.

Problem ten można rozwiązać, dołączając do rezystorów tłumika rzeczywiste kondensatory, których pojemność będzie znacznie większa niż pasożytnicze pojemności rezystorów. Należy je tak dobrać (lub wyregulować), aby tłumiły sygnały zmienne dokładnie w takim samym stopniu, w jakim czynią to rezystory.

W efekcie, choć całkowita rezystancja tłumika maleje wraz ze wzrostem częstotliwości sygnału, współczynnik tłumienia pozostaje możliwie stały.

Rodzaje tłumików pasywnych

Istnieje wiele sposobów budowy tłumika. W kolejnych akapitach omówimy następujące typy:

- tłumik potencjometryczny,
- tłumik typu L-pad,
- tłumik dekadowy (skokowy),
- tłumik skokowy 1/3/10,
- tłumik drabinkowy (skokowy),
- tłumik typu shunt (skokowy),
- tłumik typu T-pad,
- tłumik typu π-pad.

Potencjometr jako tłumik pasywny
Precyzyjna regulacja w tłumiku skokowym

W większości przypadków potencjometr stosuje się jako element regulacji dokładnej przy ustawianiu napięcia wyjściowego generatora. Najpierw wybiera się przełącznikiem obrotowym zakres, na przykład od 0 V do 1 V, a następnie za pomocą potencjometru ustawia się w tym zakresie napięcie wyjściowe na żądaną wartość.

Potencjometr jest najprostszą formą tłumika. Jak pokazano na rysunku, potencjometr nie jest niczym innym jak szeregowym połączeniem dwóch rezystorów R1 i R2, przy czym suwak połączony jest z węzłem między tymi rezystorami. Obracając suwak, zmienia się płynnie stosunek obu rezystancji. Potencjometr działa więc jak tłumik, w którym podział napięcia można regulować w sposób ciągły – od 1 do 0.



Potencjometr jako tłumik (© 2022 Jos Verstraten)

Tłumik typu L-pad
Potencjometr z „zablokowanym" suwakiem

Ten tłumik jest od strony technicznej dokładnie tym samym, co potencjometr. Różnica polega na tym, że stosunek podziału jest ustawiony na stałą wartość. Wartość tę wyznacza wzajemna relacja pomiędzy dwoma rezystorami: R1 i R2.

Obliczanie rezystorów

Załóżmy, że mamy do dyspozycji napięcie wejściowe U_{in}=10 V, a w pewnym punkcie potrzebne jest napięcie wyjściowe U_{out}=4 V. Dobierając odpowiedni stosunek rezystancji, w węźle pomiędzy dwoma rezystorami uzyskamy żądane napięcie 4 V. Jak wyznaczyć wartości takiego dzielnika napięcia, pokazano na poniższym rysunku – wynik wynika bezpośrednio z prawa Ohma.

eprasa.pl 5641c41152

Przez oba rezystory płynie prąd I_{tot}.
Napięcie na rezystorze R2 wynosi:

$$UR2 = R2 \cdot I_{tot}$$

Całkowity prąd w obwodzie określa zależność:

$$I_{tot} = \frac{U_{in}}{R_{tot}}$$

Jeżeli tę wartość podstawimy do poprzedniego wzoru, otrzymamy:

$$UR2 = R2 \cdot \frac{U_{in}}{R_{tot}}$$

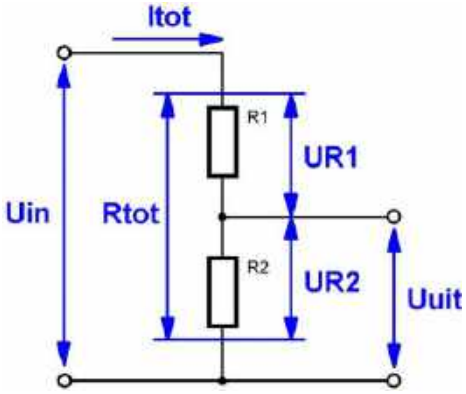
Wyrażenie $\frac{1}{R_{tot}}$ można przenieść w lewo:

$$UR2 \cdot R_{tot} = R2 \cdot U_{in}$$

Stąd:

$$R2 = \frac{UR2 \cdot R_{tot}}{U_{in}}$$

Wartości Uin i UR2 są znane: odpowiednio 10 V i 4 V. Wystarczy zatem wybrać wartość rezystancji całkowitej R_{tot}, na przykład 10 kΩ, aby natychmiast obliczyć wartość R2. W tym przypadku R2=4 kΩ, a zatem R1 musi mieć wartość 6 kΩ.



Tłumik typu L-pad o stałym współczynniku podziału (© 2022 Jos Verstraten)

Ważna uwaga

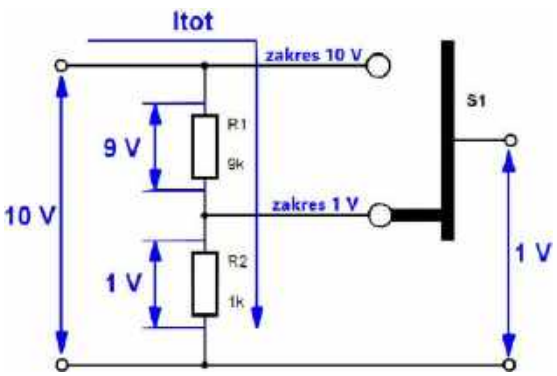
W powyższym obliczeniu tłumik typu L-pad został potraktowany w oderwaniu od otoczenia. W praktyce jednak napięcie wejściowe pochodzi z jakiegoś źródła, a napięcie wyjściowe podawane jest na dalszy układ. Należy więc uwzględnić wspomniane wcześniej rezystancje R_{inw} oraz R_{ing}. Ponieważ często trudno jest znać ich dokładne wartości, w praktyce sprowadza się to do tego, że rezystory R1 i R2 trzeba będzie dobrać doświadczalnie. Obliczone wartości mogą oczywiście stanowić dobrą wskazówkę przy tych próbach.

Tłumik dekadowy (skokowy) Krok co czynnik dziesięć

Niektóre generatory są wyposażone w tłumik skokowy pracujący dekadowo. Oznacza to, że przy każdym przełączeniu o jeden krok napięcie wyjściowe zwiększa się lub zmniejsza dziesięciokrotnie. Przykładowo generator funkcyjny może być wyposażony w czterostopniowy tłumik dekadowy:

- Krok 1: 0 V ~ 10 V
- Krok 2: 0 V ~ 1 V
- Krok 3: 0 V ~ 100 mV
- Krok 4: 0 V ~ 10 mV

Dzięki takiemu tłumikowi oraz potencjometrowi można precyzyjnie ustawić zarówno 3 mV potrzebne dla wzmacniacza mikrofonowego, jak i 0,755 V wymagane dla wzmacniacza końcowego.



Dwupozycyjny tłumik dekadowy (© 2022 Jos Verstraten)

Dwustopniowy tłumik dekadowy

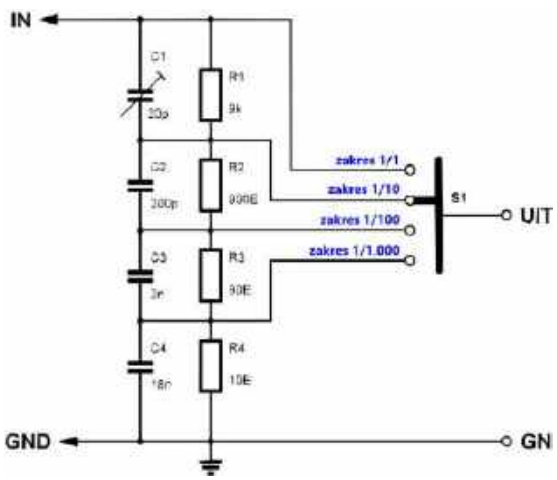
W przykładzie schemat tłumika R1/R2 został przerobiony na dwustopniowy tłumik dekadowy. Załóżmy, że do układu doprowadzone jest napięcie 10 V. W pierwszym położeniu [1] napięcie wyjściowe powinno być równe tej wartości, w drugim położeniu [2] napięcie wyjściowe powinno wynosić 1 V. Z podanego wzoru łatwo obliczyć, że przy całkowitej rezystancji 10 kΩ wartości rezystorów muszą wynosić odpowiednio: R1=9 kΩ oraz R2=1 kΩ.

Schemat praktycznego tłumika dekadowego

Na rysunku przedstawiono schemat praktycznego, czterostopniowego tłumika skokowego działającego według zasady dekady. Układ taki można na przykład zastosować jako wyjście jednego z wielu bardzo tanich zestawów generatorów funkcyjnych dostępnych w Chinach (często w cenie poniżej dziesięciu euro), które standardowo mają jedynie mały potencjometr do regulacji amplitudy sygnału wyjściowego.

Cztery rezystory zapewniają tłumienie odpowiednio do wartości: 1/1, 1/10, 1/100 i 1/1000 napięcia wejściowego.

Kondensatory dołączone równolegle do rezystorów odpowiadają za kompensację częstotliwościową układu. Najmniejsza pojemność musi być połączona równolegle z największym rezystorem. Ponieważ przy tej



Praktyczny tłumik dekadowy o czterech stopniach (© 2022 Jos Verstraten)

eprasa.pl 5641c41152

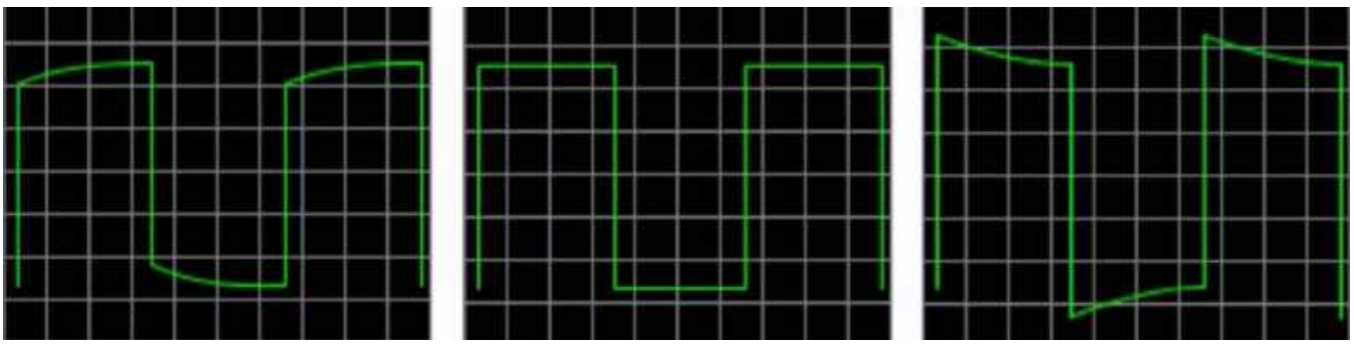
najmniejszej wartości (20 pF) istotny wpływ ma pasożytnicza pojemność samego rezystora, której dokładna wartość nie jest znana, należy w tym miejscu zastosować trymer.

Warto zwrócić uwagę, że również ten układ jest poprawnie wyskalowany tylko w sytuacji, gdy jego wyjście podłączone jest do układu o rezystancji wejściowej R_{ing} wielokrotnie większej niż rezystancje tłumika skokowego.

Regulacja trymera

Aby wyregulować trymer, należy podać na tłumik sygnał prostokątny o częstotliwości 1 kHz. Ustaw przełącznik w pozycji 1/10 i podłącz wyjście do oscyloskopu. Następnie, posługując się małym, niemetalowym śrubokrętem, obracaj śrubę regulacyjną trymera, aż na ekranie oscyloskopu pojawi się idealnie płaski sygnał prostokątny.

Na poniższym rysunku przedstawiono przebiegi oscyloskopowe uzyskane dla tłumika: niedokompensowanego, prawidłowo skompensowanego oraz przekompensowanego.

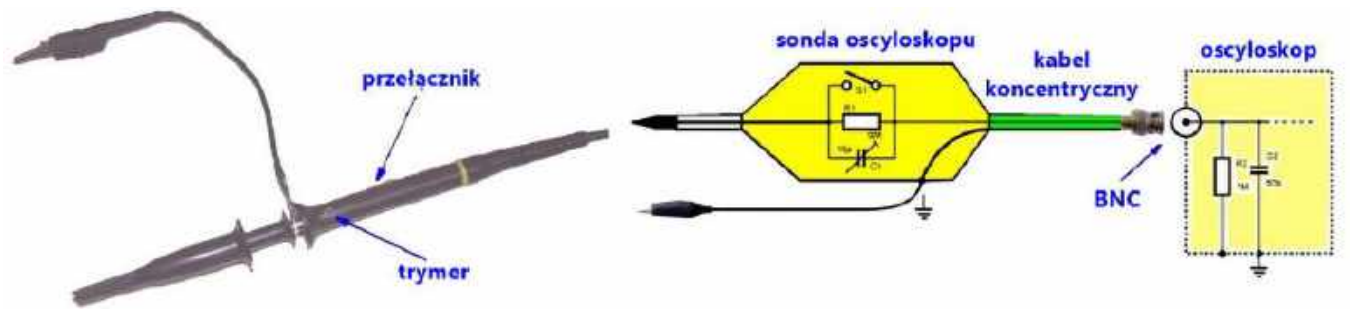


Sygnały na wyjściu tłumika: niedokompensowanego, prawidłowo skompensowanego i przekompensowanego (© TiePie)

Praktyczny przykład tłumika dekadowego

Praktycznym przykładem skompensowanego tłumika dekadowego z dwiema pozycjami jest standardowa sonda oscyloskopowa, której zdjęcie pokazano na poniższym rysunku. Ma ona wbudowany mały przełącznik suwakowy w rękojeści, którym można przełączać się między trybami 1/1 i 1/10. W pierwszym położeniu sygnał mierzony jest przekazywany bez tłumienia, w drugim – zostaje stłumiony dziesięciokrotnie.

W rękojeści sondy znajduje się, ukryta za niewielkim otworem, śrubka trymera, za pomocą której można wyregulować tłumik w opisany wcześniej sposób. Prawie każdy oscyloskop ma w tym celu specjalne wyjście, na którym dostępny jest sygnał prostokątny o częstotliwości 1 kHz.



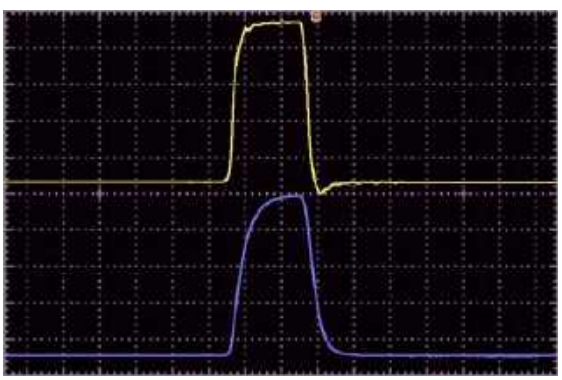
Sonda oscyloskopowa z wbudowanym, skompensowanym tłumikiem (© 2022 Jos Verstraten)

Zaleta stosowania sondy oscyloskopowej w trybie 1/10

W sondzie znajduje się rezystor o wartości dokładnie 9 MΩ, który wraz z rezystancją wejściową oscyloskopu równą 1 MΩ tworzy żądany dzielnik napięcia 1/10.

Największą zaletą pracy w trybie 1/10 nie jest samo tłumienie sygnału, lecz zwiększenie rezystancji wejściowej oscyloskopu do 10 MΩ. Dzięki temu negatywny wpływ pojemności kabla koncentrycznego sondy zostaje niemal całkowicie wyeliminowany. Punkt pomiarowy jest wtedy znacznie mniej obciążany pojemnościowo, co poprawia wierność odwzorowania sygnałów wysokiej częstotliwości i szybkich impulsów.

Aby pokazać, jak duże znaczenie ma taki pasywny tłumik, poniżej zamieszczono zrzut ekranu przedstawiający stromy impuls o szerokości 100 ns zmierzony dwiema identycznymi sondami. Pierwsza (żółty przebieg) pracuje w trybie 1/10, druga (niebieski przebieg) w trybie 1/1.



Ten sam impuls zmierzony z użyciem sondy ustawionej w trybie 1/10 i w trybie 1/1 (© 2022 Jos Verstraten)

eprasa.pl 5641c41152

Tłumik skokowy 1/3/10
Stosowany w miernikach analogowych

Analogowe woltomierze z ubiegłego wieku miały zazwyczaj dwie skale: do 3,0 V oraz do 10,0 V. Wartości te nie odpowiadają dokładnie pełnym zakresom, co widać na poniższym zdjęciu. Wynika to z faktu, że mierniki te były również wyposażone w skalę w decybelach, a przełączenie z zakresu 3 V na 10 V odpowiada tłumieniu 10 dB.

Z tego powodu w wielu generatorach sinusoidalnych stosuje się tłumik, którego maksymalne zakresy również są ustawione w ten sposób: 10 V ~ 3 V ~ 1 V ~ 300 mV ~ 100 mV ~ 30 mV ~ 10 mV. Dzięki temu każde przełączenie na wyższy lub niższy zakres powoduje odpowiednio stłumienie lub wzmocnienie sygnału wyjściowego generatora o 10 dB.

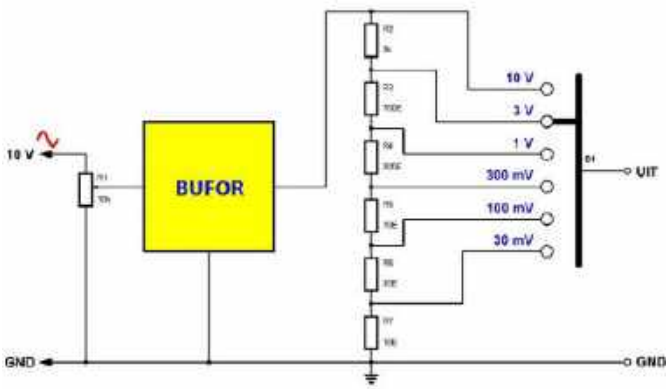


Podziałka analogowego woltomierza miliwoltowego (© 2022 Jos Verstraten)

Praktyczny układ

Na poniższym rysunku przedstawiono schemat praktycznego tłumika skokowego 1/3/10, który można na przykład dołączyć do wyjścia taniego generatora funkcyjnego. Rezystor R1 pełni rolę regulacji precyzyjnej napięcia wyjściowego, natomiast rezystory R2…R7 zostały tak dobrane, aby zapewnić odpowiednie wartości tłumienia na wyjściu.

Rezystory 10 Ω, 20 Ω, 200 Ω oraz 2 kΩ są dostępne w szeregu E96 z tolerancją ±1%. Rezystory 70 Ω i 700 Ω można uzyskać, łącząc równolegle dwa rezystory o wartościach odpowiednio 140 Ω oraz 1,4 kΩ. Te wartości również występują w szeregu E96.



Praktyczny tłumik 1/3/10 (© 2022 Jos Verstraten)

Tłumik drabinkowy (skokowy)
Każdy krok ma własny dzielnik

Tłumik dekadowy oraz tłumik 1/3/10 są w istocie szeregowymi układami wielu rezystorów. Wadą takiego rozwiązania jest to, że przy niekorzystnym zsumowaniu tolerancji poszczególnych rezystorów niedokładność tłumienia może okazać się zbyt duża. W tłumiku drabinkowym tego problemu nie ma, ponieważ do realizacji każdego kroku wykorzystuje się jedynie dwa rezystory.

Pewnym mankamentem jest natomiast konieczność użycia przełącznika dwutorowego. W praktyce nie jest to jednak poważna wada, gdyż przełączniki obrotowe o dwóch torach i sześciu pozycjach są łatwo dostępne.

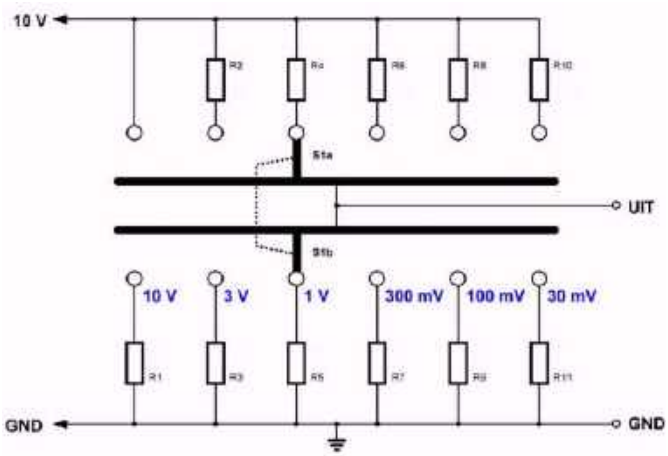
Drugą wadą omawianych wcześniej tłumików jest to, że ich rezystancja wyjściowa nie jest stała, lecz zależy od położenia przełącznika. Tłumik drabinkowy można jednak obliczyć tak, aby rezystancja wyjściowa pozostawała znacznie bardziej stabilna podczas przełączania wszystkich pozycji.

Schemat tłumika drabinkowego

Na poniższym rysunku przedstawiono schemat takiego tłumika. Każda pozycja przełącznika dwutorowego załącza inny tłumik typu L-pad. Dla każdej pozycji można więc obliczyć inną parę rezystorów.

Aby dodatkowo zwiększyć precyzję tłumienia, jeden z rezystorów stałych można zastąpić szeregowym połączeniem rezystora i potencjometru nastawnego o dziesięciokrotnie mniejszej wartości. Pozwala to bardzo dokładnie wyregulować każdy krok tłumika, kontrolując napięcie wyjściowe za pomocą cyfrowego woltomierza.

Oczywiście wyjście tłumika należy zakończyć stopniem buforowym o wysokiej rezystancji wejściowej.



Schemat tłumika drabinkowego (© 2022 Jos Verstraten)

Tłumik drabinkowy wyskalowany w dB

Ponieważ dla każdej sekcji tłumika można dobrać indywidualne wartości dwóch rezystorów, tłumik drabinkowy jest idealnym rozwiązaniem do budowy tłumika skokowego wyskalowanego w decybelach.

W **tabeli 1** podano wartości rezystorów dla kilku pozycji tłumika, odpowiadających tłumieniu od 1 dB do 20 dB.

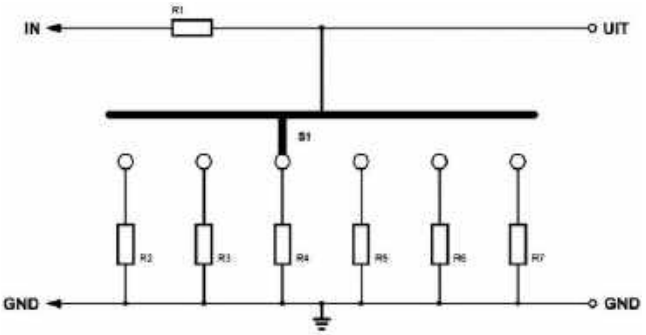
Oczywiście ważną rolę odgrywają tu rezystancje R_{ing} i R_{inw} układów, pomiędzy którymi znajduje się tłumik. Wartości rezystorów podane w tabeli obowiązują wyłącznie wtedy, gdy obydwa mają wartość 50 Ω.

eprasa.pl 5641c41152

Tłumik skokowy typu shunt
Tłumik drabinkowy z mniejszą liczbą rezystorów

Tłumik skokowy typu shunt działa zasadniczo według tej samej zasady co tłumik L-pad, z tą różnicą, że rezystor R1 jest wspólny dla wszystkich kroków. Schemat takiego układu przedstawiono na poniższym rysunku.

Również w tym przypadku każdą pozycję tłumika można osobno wyskalować, zastępując dolne rezystory połączeniem stałego rezystora i potencjometru nastawnego.



Schemat tłumika skokowego typu shunt (© 2022 Jos Verstraten)

Tłumik typu T-pad
Trzy rezystory na krok

Jak łatwo się domyślić, tłumik typu T-pad składa się z trzech rezystorów połączonych w układ przypominający literę T, co pokazano na poniższym schemacie. Również ten tłumik musi być zakończony od strony wejścia i wyjścia identycznymi rezystorami.

Najważniejszą cechą tłumika T-pad jest to, że jego rezystancja wejściowa (R_{ing}) i rezystancja wewnętrzna (R_{inw}) są sobie równe. Dzięki temu wejście i wyjście można zamieniać miejscami bez żadnych problemów.

Tłumik dB z układem T-pad

Tłumik typu T-pad również doskonale nadaje się do projektowania tłumików wyskalowanych w decybelach. W **tabeli 2** podano wartości rezystorów R1 i R2 dla tłumika T-pad przystosowanego do pracy z wejściem i wyjściem o impedancji 50 Ω.

Tabela 1. Tłumiki drabinkowe wyskalowane w dB dla 50 Ω (© 2022 Jos Verstraten)

Tłumienie L-PAD (50 Ω)	R1 [Ω]	R2 [Ω]
1 dB	5,44	409,77
2 dB	10,28	193,11
3 dB	14,6	121,2
4 dB	18,45	85,49
6 dB	24,94	50,24
10 dB	34,19	23,12
20 dB	45	5,56

Idealne do zastosowań w.cz.

W układach wysokiej częstotliwości bardzo istotną rolę odgrywa impedancja przewodów połączeniowych. Musi być ona równa impedancji wyjściowej (Z_{inw}) oraz wejściowej (Z_{ing}) dwóch łączonych układów. Jeśli tak nie jest, w kablu pojawiają się tzw. odbicia sygnału, które mogą powodować bardzo niepożądane skutki.

W większości przypadków wszystkie impedancje w systemie w.cz. standaryzuje się na 50 Ω lub 75 Ω. Tłumik typu T-pad obliczony dla 50 Ω można bez problemu włączyć pomiędzy dwa układy o impedancji 50 Ω, ponieważ nie zakłóca on dopasowania kabla. Zarówno nadajnik, jak i odbiornik „widzą" wciąż przewód o impedancji 50 Ω.

Tabela 2. Tłumiki T-pad wyskalowane w dB dla 50 Ω (© 2022 Jos Verstraten)

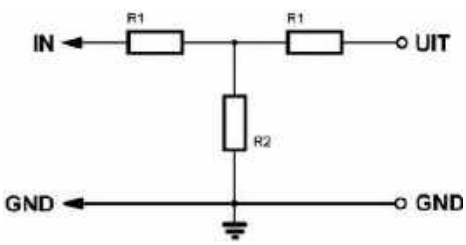
Tłumienie T-PAD (50 Ω)	R1 [Ω]	R2 [Ω]
1 dB	2,88	433,34
2 dB	5,73	215,24
3 dB	8,55	141,93
4 dB	11,31	104,83
6 dB	16,61	66,93
10 dB	25,97	35,14
20 dB	40,91	10,1

Kaskadowanie tłumików T-pad

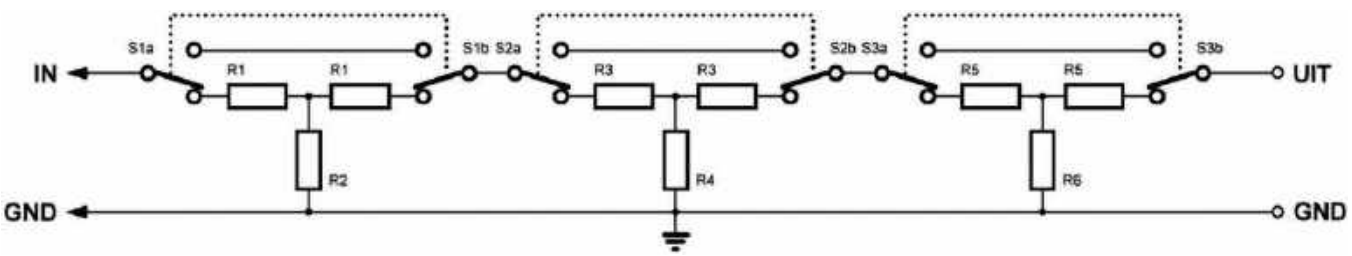
Ponieważ tłumik typu T-pad nie zmienia impedancji charakterystycznej systemu, w którym jest stosowany, można bez problemu łączyć szeregowo kilka jego sekcji. Nazywa się to kaskadowaniem.

W ten sposób powstaje tłumik, za pomocą którego można ustawić tłumienie sygnału na dowolną wartość wyrażoną w decybelach. Całkowite tłumienie jest równe sumie wartości dB aktywnych sekcji.

Na poniższym rysunku przedstawiono przykład takiego tłumika skokowego zbudowanego z trzech sekcji T-pad. Załóżmy, że każda sekcja tłumi sygnał o 10 dB. Włączając lub wyłączając poszczególne



Schemat tłumika typu T-pad (© 2022 Jos Verstraten)



Tłumik skokowy z krokiem co 10 dB (© 2022 Jos Verstraten)

eprasa.pl 5641c41152

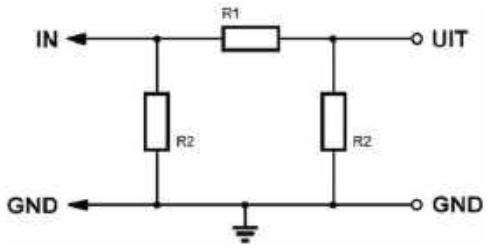
Tabela 3. Tłumiki π-pad wyskalowane w dB dla 50 Ω (© 2022 Jos Verstraten)

Tłumienie π-PAD (50 Ω)	R1 [Ω]	R2 [Ω]
1 dB	5,77	869,55
2 dB	11,61	436,21
3 dB	17,61	292,4
4 dB	23,85	220,97
6 dB	37,35	150,48
10 dB	71,15	96,25
20 dB	247,5	61,11

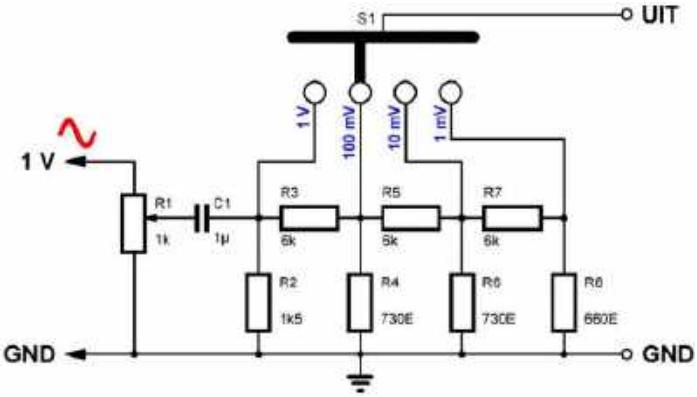
przełączniki dwutorowe, można ustawić tłumienie całkowite na poziomie 10 dB, 20 dB lub 30 dB.

Tłumik typu π-pad
Trzy rezystory w układzie przypominającym literę π

Tłumik π-pad można porównać do tłumika T-pad, z tą różnicą, że trzy rezystory są w nim połączone w inny sposób. Również ten tłumik można bez problemu włączyć w tor o określonej impedancji charakterystycznej, nie zmieniając jej wartości.



Typowy układ tłumika typu π-pad (© 2022 Jos Verstraten)



Tłumik π-pad do niskoczęstotliwościowego generatora sinusoidalnego (© 2022 Jos Verstraten)

Tłumik dB z padami π

Tłumik π idealnie nadaje się również do projektowania skalibrowanych tłumików dB. **Tabela 3** przedstawia wartości rezystancji dla R1 i R2 dla padu π odpowiedniego dla wejść i wyjść 50 Ω.

Łączenie kaskadowe tłumików π-pad

Tłumiki π-pad można oczywiście łączyć kaskadowo w dokładnie taki sam sposób, jak opisano wcześniej dla tłumików T-pad.

Tłumik π-pad do generatora sinusoidalnego

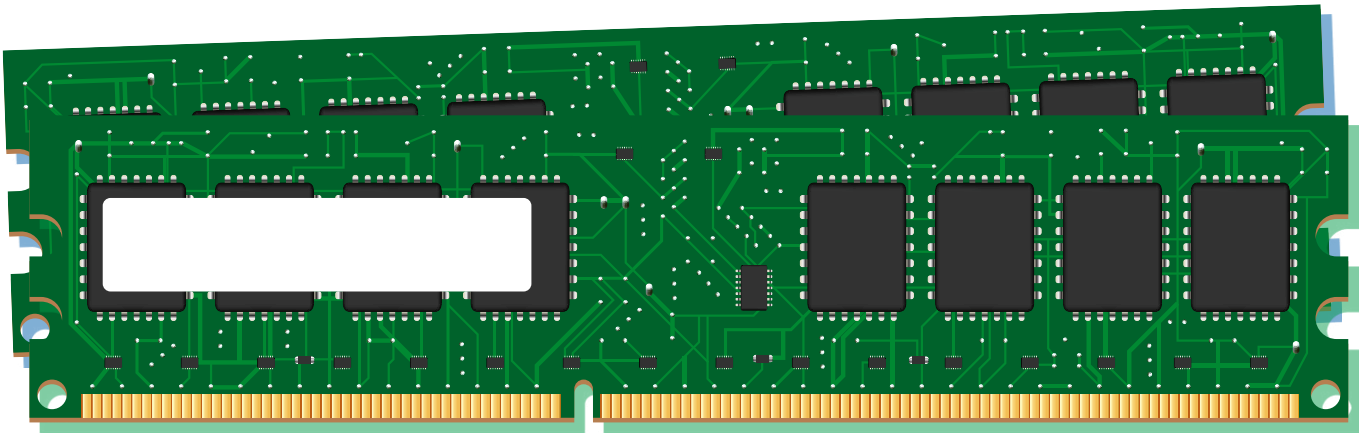
Na koniec, na ostatnim rysunku pokazano przykład tłumika skokowego π-pad, który można wykorzystać do regulacji amplitudy niskoczęstotliwościowego generatora sinusoidalnego.

Dwa pionowe rezystory R2 w sąsiednich sekcjach zostały tutaj zastąpione jednym rezystorem o wartości równej dwóm równolegle połączonym rezystorom. Wyjście tego tłumika należy obciążyć rezystancją 600 Ω. Potencjometr R1 umożliwia regulację napięcia wyjściowego w obrębie czterech zakresów – od zera do maksymalnej wartości danego zakresu. ■

Jos Verstraten

REKLAMA





Więcej o pamięci komputerowej

Poprzedni artykuł zawierał przegląd nowoczesnych rozwiązań technicznych, dotyczących pamięci komputerowych. Te zagadnienia są bardzo złożone i ich pełny opis zająłby dużo miejsca, dlatego zebraliśmy garść interesujących informacji przeznaczonych dla osób, które chciałyby dowiedzieć się nieco więcej na temat budowy i działania wybranych typów pamięci.

Zagadnienia poruszone w tym artykule dotyczą sposobów zapisu danych, różnic między pamięciami SRAM i DRAM i różnic w taktowaniu pamięci DRAM. Opisana jest także droga rozwoju pamięci DRAM od momentu ich wprowadzenia na rynek, do czasów obecnych, z uwzględnieniem najnowszych funkcji, realizowanych przez najnowsze pamięci DDR5.

Schematy kodowania danych w pamięci

W poprzednim artykule opisane były sposoby zapisu plików tekstowych (np. w postaci zbiorów znaków ASCII). Wczesne komputery miały pamięci o niewielkiej pojemności i ograniczone możliwości obsługi urządzeń wejścia/wyjścia, tak że liczby i teksty były jedynymi typami danych, które mogły przetwarzać. W dzisiejszych czasach komputery przechowują i wyświetlają o wiele więcej niż kiedyś. Oto kilka typów danych, które mogą być przechowywane w pamięci RAM:

1. Liczby

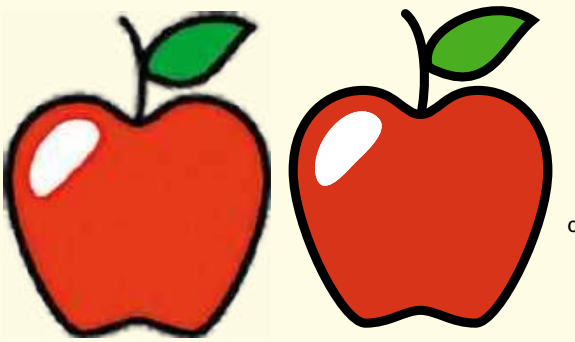
Liczby całkowite są zwykle zapisywane w kodzie binarnym. Jeśli mieszczą się w zakresie od 0 do 255 lub od –128 do +127 zajmują jeden bajt (8 bitów) pamięci, jeśli mieszczą się w zakresie od 0 do 65535 lub od –32768 do +32767 zajmują dwa bajty (16 bitów) pamięci. W czterech bajtach (32 bitach) mogą być przechowywane liczby bez znaku, mieszczące się w zakresie od 0 do ponad czterech miliardów lub liczby ze znakiem, mieszczące się w zakresie od około minus dwóch miliardów do około dwóch miliardów.

W systemach finansowych bywają używane liczby zapisane w kodzie BCD (Binary Coded Decimal), gdzie w każdym bajcie pamięci można przechowywać dwie cyfry dziesiętne, mieszczące się w zakresie od 0 do 9 każda. Jest to metoda mniej ekonomiczna od kodowania binarnego, ponieważ w jednym bajcie można przechowywać tylko 100 zamiast 256 różnych wartości, ale ułatwia to konwersję danych podczas wyświetlania liczb wielocyfrowych i zapewnia prawidłowe zaokrąglanie sum pieniężnych, np. do dolarów i centów.

W przypadku liczb dziesiętnych najczęściej stosowane jest kodowanie zmiennoprzecinkowe, podobne do notacji naukowej, na przykład $6{,}02\times10^{23}$ lub $1{,}602\times10^{-19}$. Pozwala to na zapis zarówno bardzo małych jak i bardzo dużych liczb w pamięci o tej samej objętości.

Liczby zmiennoprzecinkowe są zwykle przechowywane w postaci 32 lub 64 bitowej, z jednym bitem znaku, wykładnikiem (potęgą, do której podnoszona jest liczba 10) i mantysą (6,02 lub 1,602 w zamieszczonych przykładach). W przypadku 32-bitowych liczb zmiennoprzecinkowych, o tak zwanej pojedynczej precyzji, wykładnik zajmuje 8 bitów, a mantysa 23 bity. W przypadku 64-bitowych liczb zmiennoprzecinkowych o podwójnej precyzji, wykładnik zajmuje 11 bitów, a mantysa 52 bity.

Gdy szybkość przetwarzania jest bardziej krytyczna niż precyzja obliczeń lub szeroki zakres przetwarzanych liczb, stosowane są stałoprzecinkowe liczby dziesiętne. Są to w zasadzie liczby całkowite ze stałym



Mapa bitowa (skala 300%) Obraz wektorowy (skala 300%)

Obraz bitmapowy, czyli rastrowy, obok jego wektorowej wersji. Obrazy wektorowe skalują się lepiej niż mapy bitowe. Wynika to z faktu, że obrazy bitmapowe są tworzone poprzez przypisanie informacji o kolorze do każdego z pikseli, tym czasem obrazy wektorowe składają się ze ścieżek matematycznych. JPG jest przykładem formatu obrazu bitmapowego, zaś SVG jest popularnym formatem wektorowym.

eprasa.pl 5641c41152

współczynnikiem skalowania, równym np. 1/1000. W takim przypadku liczba całkowita 1234 reprezentuje liczbę dziesiętną 1,234.

2. Obrazy nieruchome

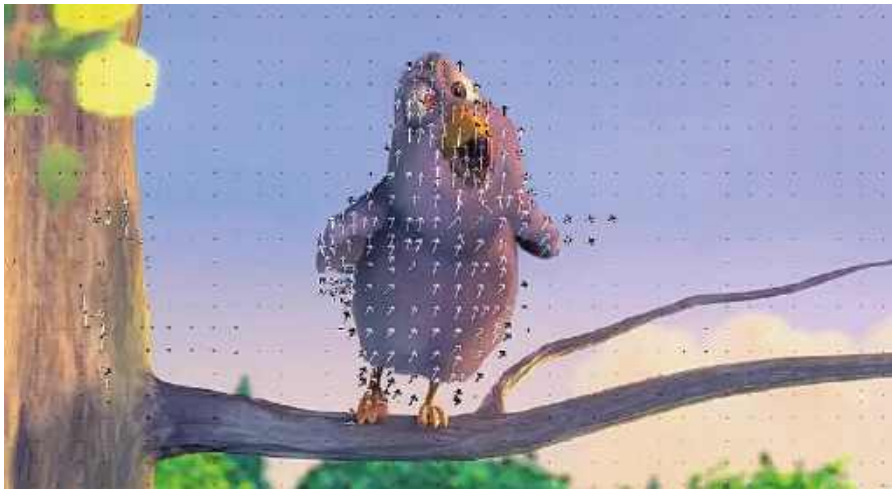
We wczesnych latach rozwoju grafiki komputerowej obrazy były zapisywane w postaci map bitowych. Najprostsze wyświetlacze były z reguły monochromatyczne i mogły tylko włączać lub wyłączać poszczególne piksele, tak więc każdy piksel miał przypisany tylko jeden bit. Zwykle 0 oznaczało wyłączony piksel a 1 oznacza włączony. W przypadku współczesnych wyświetlaczy monochromatycznych, oddających skalę szarości, każdy piksel ma przypisaną pewną liczbę, ewentualnie cały bajt. W takim przypadku 0 oznacza kolor czarny a 255 oznacza kolor biały, pozostałe liczby oznaczają 254 odcieni szarości.

Obrazy kolorowe zazwyczaj wymagają zapamiętania od 16 bitów (dwa bajty) do 32 bitów (cztery bajty) na piksel. Bity te są stosowane do zapisu trzech liczb, jedną do kodowania intensywności koloru czerwonego i po jednej dla kolorów zielonego i niebieskiego. Te trzy kolory są mieszane w różnych proporcjach, aby stworzyć szeroką gamę barw obserwowanych przez ludzkie oko.

Obrazy przeznaczone do druku mogą wykorzystywać cztery wartości w kodzie CMYK (cyjan, magenta, żółty i czarny) zamiast trzech w kodzie RGB (czerwony, zielony i niebieski). Obrazy o szerokim zakresie dynamiki (HDR) mogą wykorzystywać jeszcze więcej bitów, do 16 na atrybut lub od 48 do 64 bitów na piksel. Zazwyczaj (ale nie zawsze) wszystkie informacje o kolorze stanowią całkowitą wielokrotność rozmiarów bajtu, aby ułatwić odczyt lub zapis danych dotyczących pikseli, zapisanych w buforze pamięci.

W przypadku 16-bitowych obrazów kolorowych, kodowanych metodą RGB, używanych w małych wyświetlaczach TFT, 16 bitów jest zwykle przydzielanych na segmenty po 5-6-5 bitów, z sześcioma bitami dla koloru zielonego i pięcioma dla czerwonego i niebieskiego. Dzieje się tak ze względu na lepszą rozróżnialność odcieni w kolorze zielonym niż w kolorach czerwonym i niebieskim przez ludzkie oczy. Jednak przy takim podziale liczba uzyskiwanych odcieni kolorów jest ograniczona. To często prowadzi do powstawania pasów w obszarach o małym kontraście, takich jak np. obraz bezchmurnego nieba, więc preferowane jest co najmniej 24-bitowe kodowanie barw, w systemie 8-8-8 lub lepszym.

System zapisu obrazów oparty na mapach bitowych jest koncepcyjnie prosty, jednak mało wydajny ze względu na dużą objętość powstających plików graficznych. Obraz o rozdzielczości 4K (3480×2160 pikseli) zapisany w postaci mapy RGB z funkcją HDR (12 bitów na atrybut) zajmuje 3840×2160×3 (RGB)×12 (bitów)=296,6 Mb lub 37,3 MB.



Ten obraz przedstawia wektory ruchu (w postaci strzałek), zaznaczone na pojedynczej klatce z filmu Big Buck Bunny (Blender Foundation, Peach Movie Project) kodowanego metodą H.264. Wektory ruchu są używane do opisania sposobu przekształcania danego obrazu w kolejny, podczas kompresji filmów, patrz https://w.wiki/62xT.
Źródło: https://trac.ffmpeg.org/wiki/Debug/MacroblocksAndMotionVectors

Zapis obrazów w formie map bitowych (BMP) jest stosowany, gdy wymagany jest szybki dostęp do danych graficznych. W przypadku plików przeznaczonych do długotrwałego przechowywania stosuje się kompresję bezstratną (np. PNG), lub stratną (np. JPEG).

3. Obrazy wektorowe

Obrazy wektorowe są zazwyczaj przechowywane jako kształty ograniczone liniami prostymi lub splajnami. Splajn to skuteczny sposób definiowania krzywej w przestrzeni 2D lub 3D, przy użyciu zaledwie kilku liczb. W przypadku linii prostej wystarczy podać współrzędne jej końców. Splajny mają zazwyczaj określone dwa punkty końcowe i dwa punkty kontrolne.

Współrzędne mogą być liczbami całkowitymi, zmiennoprzecinkowymi lub stałoprzecinkowymi (dziesiętnymi). Wraz z informacjami o obramowaniu obiektu zwykle pojawiają się informacje o kolorze, teksturze i przezroczystości. Na tej zasadzie są na przykład definiowane czcionki, a także inne elementy graficzne, umieszczane w plikach w formacie PDF (Portable Document Format) i PS/EPS (PostScript) itp.

4. Dźwięk

Sygnał akustyczny jest zwykle przechowywany w formacie PCM (modulacja impulsowo-kodowa). Zapis ma postać serii liczb, reprezentujących chwilową wartość sygnału dźwiękowego, próbkowanego w regularnych odstępach czasu. Liczba próbek na sekundę jest określana jako częstotliwość próbkowania, zaś liczba bitów przypisanych do każdej z próbek jest określana jako głębia bitowa. Zapis dźwięku o jakości CD ma częstotliwość próbkowania 44,1 kHz i 16-bittową głębię na każdy kanał.

Kolejną popularną częstotliwością próbkowania jest 48 kHz. Inne spotykane częstotliwości stanowią połowę, jedną czwartą, dwukrotność lub czterokrotność obu wspomnianych wartości (44,1 kHz lub 48 kHz). Zmniejszenie głębi bitowej i częstotliwości próbkowania prowadzi do pogorszenia jakości zapisanego sygnału akustycznego. Próbkowanie 24-bitowe jest używane do remasteringu nagrań, jednak w przypadku dźwięku konsumenckiego, nawet o wysokiej jakości, wymagania są znacznie mniejsze.

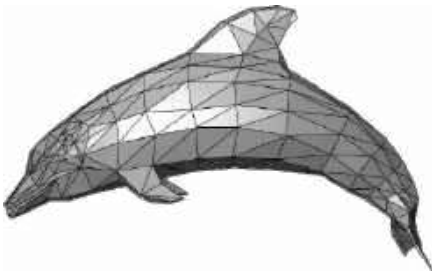
Podobnie jak w przypadku obrazów, pliki akustyczne mogą w pamięci zajmować dużo miejsca, więc często są kompresowane, na przykład do formatu FLAC (bezstratnego) lub MP3/AAC (stratnego).

5. Obrazy ruchome

Obraz ruchomy składa się z serii kolejnych klatek wyświetlanych w szybkim tempie (np. 25 na sekundę). Można go kodować tak samo jak obrazy nieruchome – przykładem jest metoda Motion JPEG, w której każda klatka kompresowana jest niezależnie. Rozwiązanie to jest jednak mało wydajne.

Efektywniejsze metody wykorzystują fakt, że kolejne klatki wideo są zwykle bardzo podobne. Zamiast zapisywać każdą z nich w całości, wystarczy okresowo zakodować klatkę kluczową (key frame, inaczej I-frame), a pomiędzy nimi przechowywać jedynie dane

eprasa.pl 5641c41152



Siatka wielokątów 3D przedstawiająca delfina. Źródło: https://w.wiki/62xp

różnicowe. Mogą to być klatki predykcyjne (P-frames) lub dwukierunkowe (B-frames), które zawierają wektory ruchu i skompresowane reszty różnicowe. Dzięki temu współczesne standardy kompresji, takie jak MPEG-2 czy MPEG-4 (H.264/AVC), uzyskują wysoką oszczędność miejsca.

Okresowe odświeżanie klatki kluczowej jest niezbędne, aby zapobiec kumulacji błędów i umożliwić szybki dostęp do dowolnego miejsca w nagraniu. Dźwięk zapisywany jest oddzielnie, zwykle w osobnym strumieniu audio, a następnie łączony z wideo w jednym pliku lub strumieniu transmisyjnym.

Podczas odtwarzania dekoder ładuje pierwszą klatkę kluczową do bufora pamięci, a następnie rekonstruuje kolejne klatki na podstawie danych różnicowych i wektorów ruchu, korzystając z buforów referencyjnych. Proces ten powtarza się do momentu natrafienia na kolejną klatkę kluczową.

6. Modele 3D

Modele 3D są podobne do obrazów wektorowych opisanych powyżej, tyle tylko że są trójwymiarowe. Przestrzenna mapa punktów, linii i/lub splajnów opisuje kształt obiektu, takiego jak osoba, pojazd, budynek, który ma być wyświetlany na ekranie. Płaskie tekstury obrazu są mapowane na powierzchnię obiektu i na niej owijane.

By renderowane obrazy wyglądały bardziej realistycznie są stosowane skomplikowane efekty świetlne. Symulowane szkielety obiektów mogą zmieniać swój kształt, aby uzyskać realistyczne wrażenie ruchu. Odczucia specyficzne dla wyglądu włosów, ubrań i innych elementów mogą być nakładane na szkielety, tworząc trójwymiarowy, ruchomy obraz, który przy obecnym stanie techniki może zbliżyć się wyglądem do poziomu klasycznego filmu.

Płynne przekształcenie wszystkich danych wektorowych w ruchome obrazy o wysokiej rozdzielczości wymaga szybkiego wykonywania wielu obliczeń, dlatego nowoczesne procesory graficzne są zazwyczaj najdroższą i najbardziej energochłonną częścią komputerów. Ponadto, procesory graficzne są zazwyczaj wyposażone w bardzo szybką pamięć RAM, czasami o przepustowości przekraczającej 1000 GB na sekundę!



Przykładowa mapa pobrana z OpenStreetMap (www.openstreetmap.org/) przedstawiająca trasę (w kolorze niebieskim) z Circular Quay do Sydney Opera House

7. Mapy do celów nawigacyjnych

Mapy używane do celów nawigacyjnych mają również postać danych wektorowych. Obrazy ulic są łączone z obrazami skrzyżowań. Na to są nakładane opisy i metadane, takie jak liczby pasów ruchu, dane co do kierunków ruchu i możliwości skrętów, itd. Mapy są przechowywane w pamięci w postaci danych matematycznych, umożliwiających wyznaczenie najkrótszej lub najszybszej trasy i wygenerowanie wskazówek dla kierowcy.

SRAM kontra DRAM

Pamięci SRAM (Static Random Access Memory) są proste w użyciu. Aby odczytać bajt lub słowo z pamięci SRAM, na szynę adresową należy wprowadzić odpowiednie dane. W zależności od konkretnego adresu, w strukturze układu SRAM są aktywowane określone linie, a tym samym są uruchamiane tylko te komórki pamięci, które są zgodne z wprowadzonym adresem.

Następnie, po aktywacji linii read-enable (zezwolenie na odczyt), dane zapisane w wybranych komórkach pamięci są podawane na szynę danych. Po upływie określonego czasu, zwykle mierzonego w nanosekundach, dane wyjściowe stabilizują się i są gotowe do udostępnienia procesorowi.

Zapis do pamięci SRAM odbywa się na podobnej zasadzie. Na podstawie danych wprowadzonych na szynę adresową, w strukturze układu są aktywowane określone linie, a tym samym są uruchamiane tylko te komórki pamięci, które są zgodne z wprowadzonym adresem. Jednocześnie do szyny danych, współdzielonej podczas odczytu i zapisu,



Układ pamięci SRAM o pojemności 2 KB używany w klonie NES. Pamięć SRAM jest znacznie szybsza, ale droższa niż DRAM, więc jest stosowana w małych objętościach, tak jak w pamięciach podręcznych L1 i L2 (od kilku kB do kilku Mb). Źródło: https://w.wiki/63EN

Polecenia związane z taktowaniem pamięci

tCL	Opóźnienie CAS, określa liczbę cykli zegarowych, upływających od momentu wydania polecenia aktywacji kolumny, do momentu przekazania danych do bufora pamięci
tRCD	Opóźnienie RAS do CAS, określa liczbę cykli zegarowych upływających od momentu lokalizacji kolumny, do momentu wykonania polecenia RAS, określającego właściwy wiersz w pamięci
tRP	Opóźnienie od momentu zamknięcia dostępu do wcześniej aktywowanego wiersza do momentu aktywacji kolejnego wiersza
tRAS	Opóźnienie od momentu pojawienia się sygnału RAS do dezaktywacji wybranego wiersza

Więcej szczegółów na temat opóźnień można znaleźć na stronie: https://w.wiki/62vt & siliconchip.au/link/abi2

eprasa.pl 5641c41152

doprowadzane są dane wejściowe. Następnie, po aktywacji linii write-enable (zezwolenia na zapis), dane wejściowe są wprowadzane do wybranych wcześniej komórek pamięci. Podobnie jak poprzednio, czas trwania cyklu zapisu jest mierzony w nanosekundach.

Procesor może odczytywać i zapisywać dane w dowolnie wybranych komórkach pamięci SRAM. Ich rozkład nie ma wpływu na częstotliwość taktowania pamięci. Zarówno odczyt, jak i zapis danych może się odbywać z maksymalną częstotliwością, specyficzną dla danego układu scalonego, wynoszącą np. 100 MHz dla pamięci SRAM o czasie trwania cyklu równym 10 ns.

Korzystanie z pamięci DRAM (Dynamic Random Access Memory) jest znacznie bardziej skomplikowane. Zamiast wyznaczania zaledwie kilku przedziałów czasowych, takich jak czasy ustalania się adresu i danych w pamięci SRAM, pamięć DRAM wymaga ustalenia wielu różnych przedziałów czasowych Dzieje się tak dlatego, że dla osiągnięcia wysokiej gęstości upakowania komórek, bity w układzie DRAM są rozmieszczone w rzędach i kolumnach, a w danym momencie tylko jeden wiersz komórek może być aktywny.

Aktywacja rzędów komórek w pamięci DRAM nie jest natychmiastowa. Aby zmienić wiersz na inny, należy najpierw dezaktywować stary wiersz za pomocą polecenia PRECHARGE, co wiąże się z późnieniem o czas tRP. Następnie, poleceniem ACTIVE musi zostać aktywowany nowy wiersz, co powoduje kolejne opóźnienie o czas tRCS. Następnie, po upływie kolejnego opóźnienia o czas CL, mogą być odczytane dane z wybranej kolumny.

Opóźnienia tRP, tRCd i tCL zajmują zwykle podobną liczbę cykli zegara (np. około 14 cykli dla DDR4). Zazwyczaj opóźnienie między momentem aktywacji jakiegoś wiersza a uzyskaniem zdolności do jego dezaktywacji jest dłuższe od innych opóźnień. Tak więc ciągłe przełączanie między wierszami w celu odczytu wartości rozproszonych po całym obszarze pamięci jest procesem znacznie wolniejszym niż sekwencyjny lub losowy odczyt danych, umieszczonych w tym samym wierszu.

Aby rozwiązać zaistniałe problemy stosuje się kilka różnych podejść do tematu. Jednym z nich jest zastosowanie szybkiej, podręcznej pamięci SRAM, umieszczonej w procesorze, w której przechowuje się dane z najczęściej używanych lokalizacji pamięci DRAM. W ten sposób dane z całych wierszy pamięci DRAM mogą być szybko przenoszone do lub z pamięci podręcznej. z wykorzystaniem możliwości szybkiego odczytu i zapisu danych w pamięci DRAM, w przypadku sekwencyjnie zmieniających się adresów.

Każdy z modułów pamięci DIMM (Dual In-Line Memory Module) jest podzielony na tak zwane banki. Gdy jeden z tych banków nie może być wykorzystany z powodu opóźnień w przełączaniu wierszy, przez interfejs pamięci mogą przechodzić dane z innego banku. Tak więc przy wystarczająco dużej liczbie rdzeni w procesorze, stale odczytujących i zapisujących dane w różnych bankach, interfejs pamięci DRAM nigdy nie pozostaje bezczynny.

Jest to jedynie uproszczony opis zasady działania pamięci DRAM. W praktyce sprawa jest o wiele bardziej skomplikowana! Nowoczesne pamięci DRAM mają następujące parametry taktowania: CAS, RCD, RP, RAS, RC, FAW, RRDS, RRDL i CCDL. To nawet nie jest pełna lista. Te parametry, specyficzne dla wybranej prędkości zegara taktującego, są przechowywane w podręcznej pamięci EEPROM, umieszczonej w każdym module DIMM, aby zapewnić odpowiednią konfigurację kontrolera pamięci DRAM podczas uruchamiania systemu.

Pomimo dostępności wszystkich tych danych, aby osiągnąć najlepszą z możliwych wydajność pracy pamięci DRAM, jej kontroler musi poświęcić trochę czasu na testowanie systemu podczas pierwszego rozruchu komputera. Polega to na eksperymentalnym doborze wartości parametrów taktowania, tak by uzyskać ich optymalną kombinację. Dlatego też uruchomienie komputera po raz pierwszy, lub po resecie BIOS-u, może czasami zająć kilkadziesiąt sekund.

Jednym z interesujących aspektów związanych z wydajnością pracy pamięci DRAM jest dostępność wielu banków, w których często występują opóźnienia w dostępie. Rozważmy system z wielordzeniowym procesorem. Poszczególne rdzenie działają równolegle i uzyskują dostęp do pamięci DRAM za pośrednictwem współdzielonej magistrali. Niektóre rdzenie będą w danym momencie zablokowane, w oczekiwaniu na dostęp do pamięci.

Jednak w tym samym czasie inne rdzenie mogą uzyskiwać dostęp do danych przechowywanych w innych bankach pamięci DRAM. Zatem mogą one wykorzystać chwilowo bezczynną magistralę do przesyłania swoich danych. Po zakończeniu tych transferów kolejne banki pamięci będą już gotowe do działania, a magistrala zostanie przekazana innym rdzeniom procesora.

Dlatego stosowanie wielordzeniowego procesora nie tylko zwiększa całkowitą, dostępną moc obliczeniową systemu, ale także prowadzi do lepszego wykorzystania magistrali pamięci DRAM. Tak więc rozdzielenie jakiegoś zadania na wiele rdzeni może poprawić wydajność systemu, szczególnie wtedy, gdy jest ona ograniczona głównie przez zbyt małą szybkość pracy pamięci.

Pamięć DRAM zintegrowana z procesorem

Szybkie pamięci podręczne SRAM umieszczane w tym samym chipie co procesor istnieją już od dawna, a przynajmniej od 1989 roku, kiedy to firma Intel wprowadziła na rynek procesor 80486 z wewnętrzną pamięcią podręczną L1, o pojemności 8 kB lub 16 kB. Idąc tym śladem, w listopadzie 2020 roku, firma Apple wprowadziła na rynek swoją pierwszą linię komputerów, wykorzystujących własne procesory, nazwane M1 i o specyficznej konstrukcji.

Procesory te i ich następcy, seria M2, stanowią wyjątek na dzisiejszym rynku komputerowym, ponieważ nie wykorzystują zewnętrznej pamięci DRAM. Zamiast tego są wyposażone w stałą, relatywnie dużą pamięć DRAM, umieszczoną na oddzielnej matrycy krzemowej, zintegrowanej z chipem procesora – **tabela 1**. LPDDR to wariant pamięci DDR S DRAM opisany w poprzednim artykule, zoptymalizowany pod kątem niskiego zużycia energii.

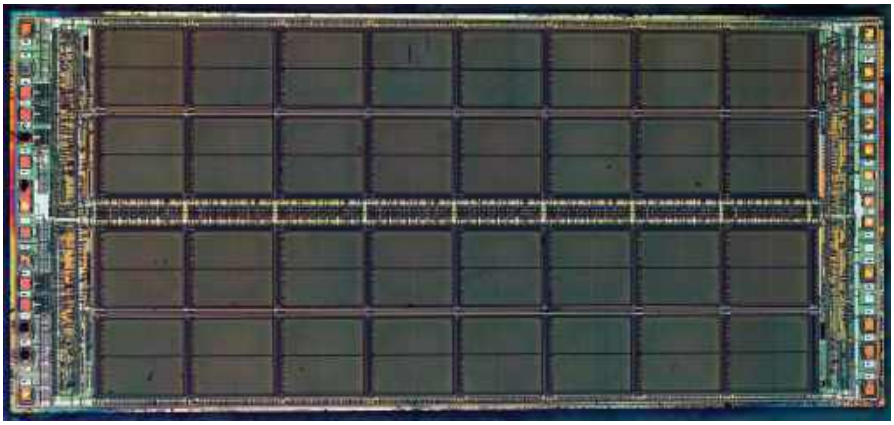
Główną wadą takiego rozwiązania jest brak możliwości rozbudowy pamięci RAM w tych komputerach. Ponadto zintegrowane chipy są dość drogie w produkcji, jednak korzyści wynikające ze wzrostu wydajności systemu są znaczne.

Jak na dzisiejsze standardy, rdzenie M1 i M2 nie są szczególnie szybkie. Jednak ze względu na dużą przepustowość wbudowanej pamięci

Tabela 1. Różne konfiguracje pamięci RAM w procesorach Apple M1 i M2

Model	Pojemność pamięci RAM	Układ pamięci RAM	Szerokość magistrali	Szybkość transmisji danych
M1	8 GB lub 16 GB	LPDDR4X-4266	128 bit	68,3 GB/s
M1 Pro	16 GB lub 32 GB	LPDDR5-6400	256 bit	204,8 GB/s
M1 Max	32 GB lub 64 GB	LPDDR5-6400	512 bitów	409,6 GB/s
M1 Ultra	64 GB lub 128 GB	LPDDR5-6400	1024 bit	819,2 GB/s
M2	8 GB, 16 GB lub 24 GB	LPDDR5-6400	128 bit	100 GB/s

eprasa.pl 5641c41152



Układ Micro M4TC 128kB DRAM. W pamięci DRAM, do przechowywania jednego bitu danych, jest zazwyczaj stosowany pojedynczy kondensator i tranzystor zamiast, wielu tranzystorów, jak w przypadku pamięci SRAM. Pamięć DRAM jest znacznie tańsza ze względu na większą gęstość komponentów na bit, ale z kolei zużywa więcej energii niż pamięć SRAM. Źródło: https://w.wiki/63EQ

RAM i niewielkie opóźnienia podczas transferu danych, ich wydajność znacznie przewyższa konkurencyjne rozwiązania, przynajmniej w niektórych zastosowaniach. Dotyczy to na przykład obsługi rozbudowanych baz danych.

Zaawansowane technologicznie pamięci DDR5

Najnowszy standard pamięci komputerowej DDR5 powstał w wyniku ewolucji dobrze znanego standardu DDR4, który istnieje na rynku od 2014 roku. Poza usprawnieniem procesu produkcyjnego, pozwalającym na osiąganie wyższych prędkości pracy pamięci przy niższych napięciach zasilających, główne ulepszenia polegają na lokalnej regulacji napięcia i podziale 64-bitowego kanału transmisji danych na dwa 32-bitowe kanały o dwukrotnie większej maksymalnej długości ciągu danych przy pracy w trybie Burst Mode.

Podczas gdy szybkość działania pierwszych pamięci DDR4 wynosiła 2133 MT/s (megatransferów na sekundę), typowy pakiet DIMM z układami DDR4 jest obecnie oceniany na 3200 MT/s do 4000 MT/s, zaś ocena szybkości pracy pamięci DDR5 zaczyna się od 3200 MT/s. Typowy moduł DIMM z układami DDR5 może osiągnąć 4800 MT/s, a niektóre nawet ponad 5000 MT/s.

W przypadku pamięci DDR4, impulsowe regulatory napięcia są umieszczone na płycie głównej komputera i zmniejszają napięcie zasilające do poziomu 1,2 V, To napięcie jest doprowadzane do układów pamięci przez kilka pinów złącza krawędziowego. Natomiast, w przypadku pamięci DDR5, z płyty głównej dostarczane jest wyższe napięcie, na poziomie 5 V lub 12 V, które jest obniżane za pomocą regulatorów umieszczonych wewnątrz modułu DIMM.

Ma to kilka zalet, w tym bardziej precyzyjną regulację napięcia, zwłaszcza w przypadku pojawienia się stanów nieustalonych. Napięcie zasilające doprowadzane do pamięci DDR5 ma roboczą wartość równą 1,1 V i w razie potrzeby może wzrastać do 1,35 V, zaś dla pamięci DDR4 to napięcie mieści się w przedziale od 1,2 V do 1,6 V.

Jeśli chodzi o podział kanału transmisji danych na dwie części, celem jest zmniejszenie opóźnień gdy dostęp do pamięci jest uzyskiwany w sposób rozproszony, a nie sekwencyjny. Co ważne, układy DDR5 są podzielone na 32 banki, w porównaniu z 16-toma bankami w pamięci DDR4, co oznacza, że przełączanie banków nie jest tak często wymagane. Przez to średnia przepustowość pamięci jest lepsza.

Maksymalna pojemność pojedynczego układu DDR5 wynosi 512 GB, co pozwala na umieszczanie pamięci o łącznej pojemności 2 TB na pojedynczym module DIMM. Warto zauważyć, że znaczna przewaga układów DDR5 w stosunku do DDR4 jest spowodowana kilkoma drobnymi ulepszeniami, a nie rewolucyjnymi zmianami technologicznymi.

Starsze generacje pamięci DDR

Jak wspomniano wcześniej, pierwsze pamięci DDR4 pojawiły się w 2014 roku i także powstały w drodze ewolucji starszych układów DDR3, które przez prawie dekadę, od 2007 roku, królowały na rynku. Moduły DDR3 działały zazwyczaj przy napięciu 1,5 V w porównaniu do 1,2 V w DDR4, więc zużywały znacznie więcej energii.

W porównaniu do przepustowości pamięci DDR4 mieszczącej się w przedziale 2133…5000 MT/s, układy DDR3 działały znacznie wolniej, na poziomie 800…2133 MT/s, rzadko do 3200 MT/s. Moduły DIMM w standardzie DDR3 osiągały maksymalną pojemność około 16 GB w porównaniu do 128 GB w przypadku pamięci DDR4. Podobnie, liczba banków w nowszych pamięciach podwoiła się, z 8 do 16.

Cofając się dalej, ta sama historia dotyczy pamięci w standardzie DDR2, dostępnych od 2003 roku, pracujących przy



Większość pakietów DIMM z układami DDR2-DDR5 wygląda podobnie. Zauważalna różnica polega na tym, że pamięć DDR1 ma tylko 184 piny w porównaniu do 240 pinów w pamięciach DDR2-DDR5. Ten typ pamięci jest zwykle używany w komputerach i jest formą synchronicznej pamięci DRAM, która ma dostarczany zewnętrzny sygnał zegarowy. Powyższe zdjęcie przedstawia zestaw czterech modułów DIMM DDR3

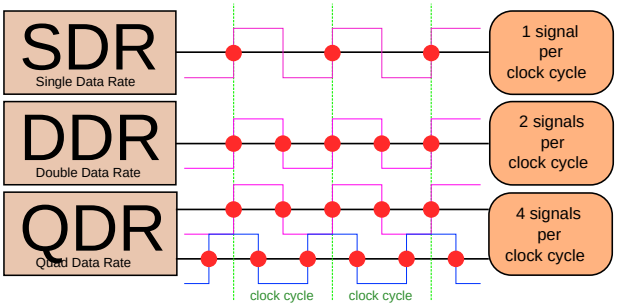
eprasa.pl 5641c41152

jeszcze wyższym napięciu zasilania, na poziomie 1,8 V. Te pamięci były jeszcze bardziej energochłonne i wolniejsze od DDR3. Ich przepustowość mieściła się w zakresie od 400 MT/s do 1066 MT/s, zaś ich pojemność w jednym module DIMM wynosiła typowo 2 GB, maksymalnie, aczkolwiek bardzo rzadko 8 GB.

Wprowadzenie na rynek pamięci DDR2 stanowiło znaczący postęp w stosunku do pierwotnego standardu DDR1, dostępnego od 1998 roku. W przypadku układów DDR2, magistrala interfejsu pamięci jest taktowana z dwukrotnie większą częstotliwością niż właściwe układy DRAM, dzięki temu możliwe jest przesłanie czterech zestawów danych na każdy cykl zegara taktującego, w porównaniu do dwóch zestawów w przypadku DDR1. Moduły DIMM w standardzie DDR1 miały również mniej pinów (184 zamiast 240) i były podzielone jedynie na dwa banki.

Moduły DIMM w standardzie DDR1 działały z prędkością zaledwie 200…400 MT/s i miały pojemność do 1 GB, co ograniczało maksymalną pojemność pamięci w systemach stacjonarnych do 4 GB. Pracowały przy napięciu zasilającym w zakresie od 2,5 V do 2,6 V, czyli ponad dwukrotnie większym niż w przypadku pamięci DDR5!

Moduły DIMM z pamięciami DDR1 o łącznej pojemności 2 GB były produkowane specjalnie dla zastosowań serwerowych, i nie przyjęły się w klasycznych komputerach stacjonarnych.



Na rysunku pokazane są różnice w sposobach wykorzystania sygnału zegarowego w pamięciach SDR, DDR i QDR. Źródło: https://w.wiki/63sx

Wnioski

Pamięci DDR DRAM będą używane jako podstawowe wyposażenie komputerów jeszcze przez jakiś czas, dopóki nie pojawi się lepsze rozwiązanie. Przykładowo, pamięć DRAM w standardzie QDR (Quad Data Rate), która wykonuje cztery transfery w każdym cyklu zegara taktującego, była krótko testowana przez firmę Intel w połowie 2000 roku, ale nigdy nie przyjęła się na rynku. Układy pamięci GDDRX5 z 2016 roku, przeznaczone do pracy w systemach wizyjnych, również pracowały w trybie QDR.

Pamięć DDR przesyła dane dwa razy w każdym cyklu zegara – na zboczu narastającym i opadającym. W przypadku pamięci QDR (Quad Data Rate) stosuje się osobne zegary dla operacji zapisu i odczytu, dzięki czemu w jednym cyklu zegara możliwe są cztery transfery – dwa związane z odczytem i dwa z zapisem. Wydaje się jednak, że zwiększona złożoność tej techniki nie przynosi realnych korzyści, gdyż nie zmniejsza czasów opóźnień podczas dostępu do danych.

Obecnie najlepszym pomysłem wydaje się równoległe połączenie pamięci DRAM o dużej przepustowości z dużymi i bardzo szybkimi pamięciami podręcznymi SRAM, takimi jak „Infinity Cache” firmy AMD, stosowanymi w procesorach graficznych RDNA2 (128 MB pamięci podręcznej) i RDNA3 (od 96 MB do 384 MB pamięci podręcznej). ■

Nicholas Vinen

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

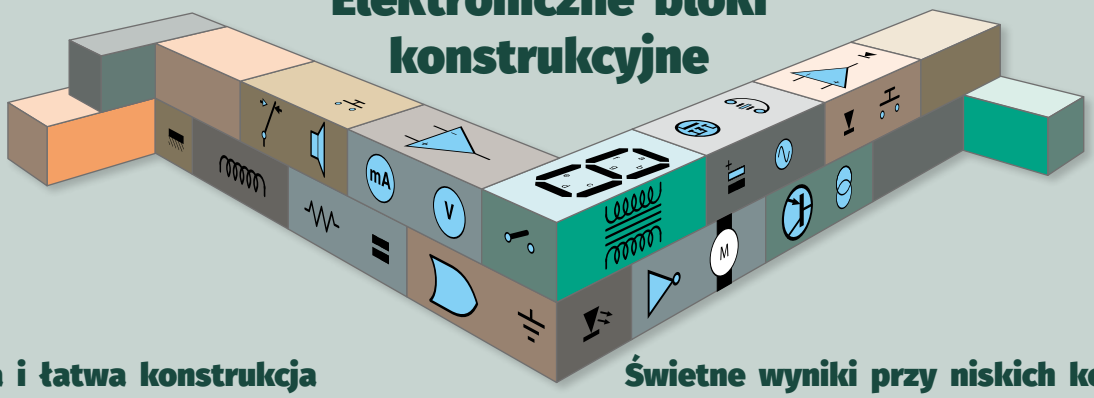
REKLAMA

świat radio
Magazyn wszystkich użytkowników eteru
KRÓTKOFALARSTWO CB RADIOTECHNIKA

przejrzysz i kupisz na
www.ulubionykiosk.pl



eprasa.pl 5641c41152



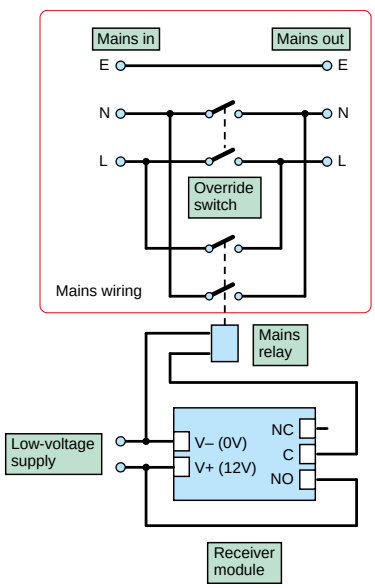
Szybka i łatwa konstrukcja

Świetne wyniki przy niskich kosztach

Zdalne sterowanie na odległość 300 m

Ten zestaw do zdalnego sterowania oświetleniem jest wyposażony w przekaźnik, zdolny do przełączania dużych obciążeń w sieci energetycznej. System może niezawodnie działać w trudnych warunkach środowiskowych i ma zasięg około 300 m lub więcej, jeśli pilot i odbiornik wzajemnie się „widzą" (otwarta przestrzeń bez przeszkód).

Zrealizowałem ten projekt, ponieważ nie mogłem znaleźć gotowego rozwiązania, które spełniałoby moje oczekiwania i mieściło się w rozsądnym budżecie. Chciałem mieć możliwość włączania kilku świateł zewnętrznych, jednak tu pojawiał się problem. Światła znajdują się przy bramie wjazdowej do sąsiedniej działki, na której planowałem wybudować dom. Chciałem mieć możliwość włączania świateł z naszego obecnego domu, a następnie, w przyszłości, z nowego budynku. Oczywistym rozwiązaniem było użycie systemu do zdalnego sterowania. Wtedy światła mogłyby być włączane i wyłączane z dowolnego miejsca, zarówno teraz, jak i w przyszłości.



Rysunek 1. Moduł odbiornika do zdalnego sterowania (na dole) uruchamia przekaźnik sieciowy (pośrodku). Dodatkowy przełącznik (u góry) umożliwia załączanie oświetlenia, nawet jeśli system do zdalnego sterowania nie działa. Należy pamiętać, że okablowanie widoczne w górnej części obudowy ma połączenie z siecią energetyczną i musi być odpowiednio izolowane

Pierwszym napotkanym problemem był zasięg. Odbiornik systemu do zdalnego sterowania miał być zamontowany w skrzynce na licznik energii elektrycznej, czyli tam, gdzie dochodziło zasilanie sieciowe. Ale ta skrzynka znajdowała się około 80 m od naszego obecnego domu i około 100 m od miejsca, w którym stanie nowy dom. Tanie piloty do zdalnego sterowania zwykle nie działają na takim dystansie, zwłaszcza gdy odbiornik jest umieszczony w metalowej skrzynce!

Drugim problemem było bezpieczne przełączanie napięcia sieciowego. Z opisu tanich modułów do zdalnego sterowania wynika, że zastosowane w nich przekaźniki są teoretycznie przystosowane do pracy w instalacjach oświetleniowych. Jednak oznaczenie „10 A przy 240 V" bywa mylące – w praktyce ścieżki na płytce drukowanej i zaciski połączeniowe tych modułów nie nadają się do pracy z takimi obciążeniami.

Rozwiązaniem było zbudowanie własnego systemu. To okazało się dość łatwe, zwłaszcza że dysponowałem pewnymi komponentami, takimi jak przekaźnik i plastikowa obudowa.

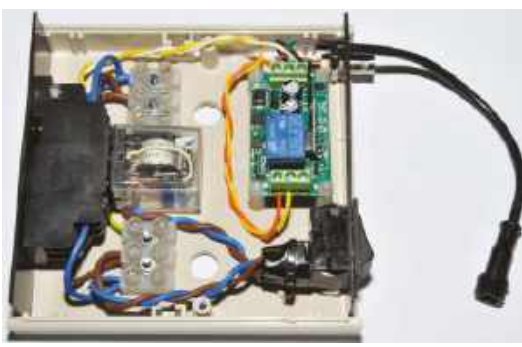
Odbiornik i nadajnik zdalnego sterowania

Większość popularnych, tanich zestawów do zdalnego sterowania ma ograniczony zasięg działania. Na rynku są dostępne droższe produkty, znacznie lepsze pod tym względem. Zazwyczaj są opisywane jako systemy dalekiego zasięgu. Ten, który kupiłem w serwisie eBay nosił nazwę „Garage Door Long-Distance DC12 V/24 V RF Wireless Remote Control Switch System12 V 433 MHz". Kosztował 14 funtów wraz z dostawą. Podobne zestawy można także kupić w serwisie Amazon.

Co frustrujące, w chwili pisania tego tekstu nie mogłem znaleźć w sprzedaży dokładnie takich samych produktów, więc zamieszczam kilka wskazówek dotyczących kryteriów wyboru.

Po pierwsze, urządzenie powinno być sprzedawane jako system do zdalnego sterowania o dużym zasięgu, jednak do podawanych dystansów należy podchodzić z dużą ostrożnością. Na niektórych identycznie wyglądających urządzeniach są podawane różne maksymalne odległości, wahające się od 300 m do 1000 m.

Po drugie, nadajnik powinien mieć wysuwaną antenę i być znacznie większy niż typowy breloczek do zdalnego sterowania. Odbiornik musi mieć dwustanowe wyjście przekaźnikowe, skonfigurowane tak, aby



Rysunek 2. W systemie zdalnego sterowania o dużym zasięgu wykorzystany został niedrogi moduł odbiornika, przekaźnik sieciowy i kilka dodatkowych elementów, takich jak listwy połączeniowe, przełącznik do ręcznego sterowania oświetleniem oraz złącze do anteny zewnętrznej. Do zasilania odbiornika wykorzystany został kabel z fabrycznie zaprawionym przyłączem sieciowym

eprasa.pl 5641c41152

pierwsze naciśnięcie przycisku w nadajniku go włączało, a kolejne wyłączało.

Po trzecie, przekaźnik w odbiorniku powinien mieć odpowiednią obciążalność, typową dla ogólnie dostępnego osprzętu oświetleniowego, takiego jak wyłączniki i gniazdka sieciowe.

W moim projekcie korzystałem z jednokanałowego systemu do zdalnego sterowania, ale systemy wielokanałowe są dostępne w podobnej cenie, więc przed zakupem należy zastanowić się, czy sterowaniu ma podlegać tylko jeden punkt oświetleniowy.

Inne elementy systemu

Istotną częścią systemu jest przekaźnik przystosowany do przełączania prądu o dużym natężeniu. W moim przypadku mam zamiar włączać dwie lampy o mocy 300 W każda, a trzecia lampa może zostać dodana w przyszłości. Przy napięciu w sieci równym 240 V oznacza to przełączanie prądu o natężeniu poniżej 4 A. Wybrałem przekaźnik o obciążalności 5 A przy napięciu 250 V, który leżał w moim pudełku z częściami elektrycznymi. Okazało się, że ma on dwie pary styków przełączających (typu DPDT).

Przekaźniki przeznaczone do pracy w sieci oświetleniowej o obciążalności do 10 A są ogólnodostępne i często używane. Powyżej tej wartości konieczne jest zastosowanie stycznika sieciowego, zazwyczaj używanego do włączania i wyłączania silników elektrycznych. Przy wyborze przekaźnika należy zwrócić uwagę na napięcie pracy cewki, odpowiadające napięciu roboczemu odbiornika do zdalnego sterowania – w moim przypadku 12 V.

Większość przekaźników nie ma zacisków śrubowych, pozwalających na bezpośrednie podłączenie przewodów. Sposobem na rozwiązanie tego problemu jest wybór przekaźnika montowanego w podstawce, wyposażonej w zaciski śrubowe. Taka podstawka ma zarówno odpowiednie zaciski,



Rysunek 4. Na rysunku widoczne są listwy elektryczne z zaciskami śrubowymi dla połączeń wejścia i wyjścia zasilania sieciowego oraz odpowiednie otwory dla kabli. Te listwy ułatwiają podłączanie odbiornika w warunkach terenowych



Rysunek 3. Wybierając odpowiedni zestaw do zdalnego sterowania o dużym zasięgu, należy upewnić się, że nadajnik jest znacznie większy od typowego breloczka do zdalnego sterowania i ma wysuwaną antenę

jak i otwory montażowe, pozwalające na bezpieczną instalację przekaźnika.

Potrzebna będzie również obudowa, umożliwiająca montaż wszystkich elementów systemu i ich ochronę przed przypadkową ingerencją. Przyjrzyjmy się, jak został zmontowany mój system do zdalnego sterowania oświetleniem.

Budowa systemu

Użyta przeze mnie obudowa jest wykonana z dobrego jakościowo plastiku i ma wymiary 130×130×40 mm. Zawiera ona dwie ścianki boczne. Po wewnętrznej stronie jednej z nich zamontowałem podstawkę do przekaźnika. Ze względu na jego konstrukcję (typu DPDT) zdecydowałem się przełączać zarówno przewód fazowy jak i neutralny.

Na drugiej ściance bocznej zamontowałem wyłącznik sieciowy o obciążalności 10 A. Jego użycie nie jest konieczne. Zamontowałem go, aby światła mogły być załączane ręcznie, gdyby system do zdalnego sterowania zawiedzie, na przykład nadajnik zostanie zgubiony, będzie miał rozładowaną baterię lub po prostu się zepsuje. Użyłem wyłącznika dwubiegunowego (typu DPST), aby móc załączać zarówno przewód fazowy jak i neutralny.

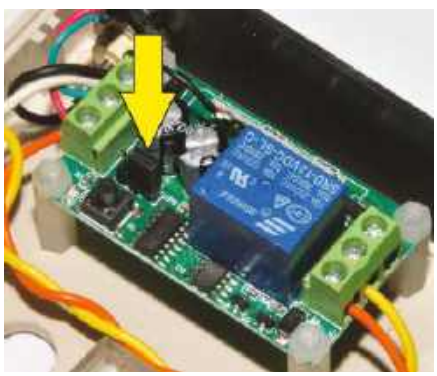
Ponadto, w ściance bocznej wywierciłem dwa otwory, jeden na kabel zasilający odbiornik, drugi na gniazdo antenowe BNC (więcej o tym gnieździe za chwilę).

Na dolnej ściance obudowy zamontowałem odbiornik do zdalnego sterowania. Użyłem do tego plastikowych podstawek zatrzaskowych. Ponadto umieściłem tam dwie potrójne listwy połączeniowe, jedną dla kabla zasilającego, drugą dla kabla prowadzącego do świateł. Otwory, przez które przechodzą kable zostały umieszczone w dolnej części obudowy, ponieważ całość miała być zamontowana na płycie montażowej, umieszczonej w skrzynce z licznikiem energetycznym. W tej płycie zostały także wykonane otwory przepustowe dla kabli.

Standardowa antena do odbiornika wchodząca w skład zestawu ma postać krótkiego, zwiniętego przewodu. Przetestowałem odbiornik z tą anteną i okazało się, że działa on w promieniu do 100 m – nawet gdy jest umieszczony wewnątrz metalowej skrzynki z licznikiem.

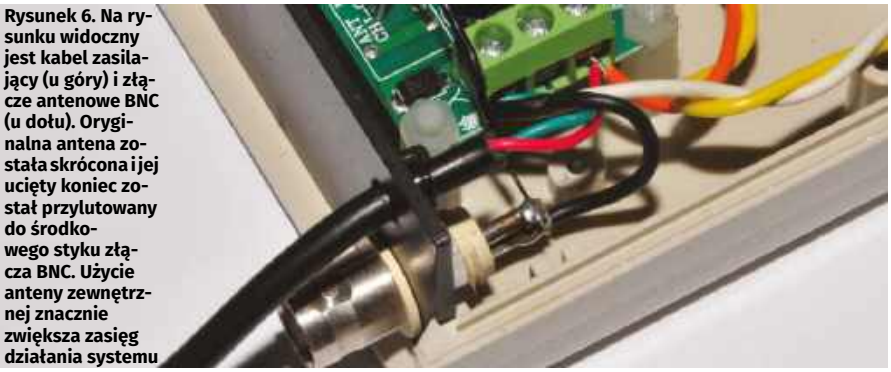
By uniknąć ekranującego działania tej skrzynki dodałem gniazdo antenowe, pozwalające na użycie anteny zewnętrznej. Ograniczony dostęp do komponentów odbiornika utrudniał mi podłączenie tego gniazda. Najprostszym rozwiązaniem okazało się odcięcie fabrycznej anteny i przylutowanie jej pozostawionego końca do środkowego wyprowadzenia gniazda BNC. Część zewnętrzna tego gniazda została połączona z masą układu odbiorczego.

Nowa antena została wykonana z drutu ze stali nierdzewnej i miała długość 270 mm. Użyłem drutu spawalniczego, ale można też użyć szprychy rowerowej



Rysunek 5. Użyty przeze mnie odbiornik do zdalnego sterowania ma zworkę konfiguracyjną (oznaczoną strzałką). W pierwszym ustawieniu przekaźnik załącza się tylko na czas naciśnięcia przycisku w nadajniku, w drugim ustawieniu przekaźnik trwale załącza się po jednym naciśnięciu przycisku i wyłącza po kolejnym naciśnięciu. Ja skorzystałem z drugiego ustawienia. Przycisk umieszczony na płytce drukowanej obok zworki umożliwia wprowadzenie do systemu kilku nadajników. Po prawej stronie znajduje się przełącznik do ręcznego załączania oświetlenia. Należy zauważyć, że jego zaciski zostały zaizolowane – żadne połączenia sieciowe nie powinny być odsłonięte

eprasa.pl 5641c41152



Rysunek 6. Na rysunku widoczny jest kabel zasilający (u góry) i złącze antenowe BNC (u dołu). Oryginalna antena została skrócona i jej ucięty koniec został przylutowany do środkowego styku złącza BNC. Użycie anteny zewnętrznej znacznie zwiększa zasięg działania systemu



Rysunek 7. Nowa antena zewnętrzna została wykonana z krótkiego odcinka drutu ze stali nierdzewnej, przymocowanego do porcelanowego izolatora

ze stali nierdzewnej. Używając cążek, jeden koniec drutu owinąłem wokół pręta o odpowiedniej średnicy, zamocowanego w imadle stołowym. Powstałe w ten sposób oczko odgiąłem pod kątem prostym. To pozwoliło na łatwe przymocowanie anteny za pomocą śruby i podkładek do gwintowanego izolatora porcelanowego. Izolator pochodzi z części, które odziedziczyłem po moim ojcu, więc obecnie może mieć 70 lub 80 lat – ponowne użycie starych części daje mi sporo satysfakcji. Połączenie z anteną odbywa się za pomocą zacisku oczkowego, umieszczonego pod śrubą mocującą, do którego przylutowałem środkową żyłę kabla koncentrycznego o impedancji 50 Ω, zakończonego wtykiem BNC. Można też wypróbować inne konstrukcje anteny i sposoby jej połączenia z odbiornikiem.

Dla oceny zasięgu można umieścić moduł odbiornika w domu i poprosić osobę z telefonem komórkowym o asystę. Następnie należy próbować wyzwolić odbiornik z coraz większej odległości, pozostając w kontakcie telefonicznym z asystentem. Po wykonaniu takiej próby odkryłem, że z opisaną anteną mogłem osiągnąć niezawodne działanie systemu z odległości ponad 300 m. Zaznaczam, że odbiornik był umieszczony wewnątrz domu i nie znajdował się w zasięgu wzroku w stosunku do nadajnika.

Następnie wystarczyło zainstalować moduł odbiornika w skrzynce z licznikiem energii i wykonać odpowiednie połączenia z instalacją oświetleniową.

Osiągnięty wynik

Nie jest to skomplikowany ani czasochłonny projekt, ale działa dobrze. Pożądany rezultat został osiągnięty niskim kosztem, a właśnie tego oczekujemy od naszych projektów elektronicznych. ■

Julian Edgar

Ten artykuł był wcześniej opublikowany na łamach „Practical Electronics”, listopad 2023 (www.epemag3.com)



Dwie lampy o mocy 300 W każda są umieszczone w pobliżu bramy. Oświetlają one rozległy teren, a dzięki zdalnemu sterowaniu można je włączać z odległości dochodzącej do 100 m

Być może zastanawia Cię moc znamionowa tych świateł – 300 W każde!? Czy nie lepiej zastosować oprawy z diodami LED? Ile musi kosztować eksploatacja tych lamp!?

Przedstawione powyżej jednostki oświetleniowe to wysokiej jakości lampy metalohalogenkowe, stosowane w parkach i ogrodach. Mają metalowe obudowy a ich polerowane odbłyśniki są wykonane ze stali nierdzewnej. Dopiero po zdemontowaniu można ocenić ich jakość.

Ich cena dochodziła kiedyś do 200 funtów za sztukę, ja jednak kupiłem je znacznie taniej w sklepie, przy lokalnym wysypisku odpadów (centrum recyklingu), za jedyne 5 funtów za sztukę. Lampy były zupełnie nowe! Władze lokalne zamieniły oświetlenie parkowe na oprawy z diodami LED i zdecydowały, że te światła są bezwartościowe.

Oczywiście, lampy metalohalogenkowe będą zużywać znacznie więcej energii niż oprawy z diodami LED, ale jeśli będą włączane tylko sporadycznie i na krótko, całkowite koszty oświetlenia będą akceptowalne – zwłaszcza biorąc pod uwagę ogromną ilość światła wytwarzanego przez te lampy.

eprasa.pl 5641c41152



Chirurgia obwodowa

Generator Royera

Niedawno na forum EE Web zamieszczono pytanie użytkownika Frostyjams dotyczące generatora Royera. Samym pytaniem nie będziemy się zajmować. Podano tam odsyłacz do schematów (aczkolwiek w momencie pisania tego tekstu nie było do nich dostępu). Sam układ Royera jest jednak na tyle interesujący, że przyjrzymy mu się dokładniej.

Generator Royera, określany również jako „przetwornica Royera", jest powszechnie stosowany w inwerterach mocy, które wytwarzają stosunkowo wysokie napięcia zmienne z zasilania stałoprądowego. Wyjściowe napięcie zmienne można oczywiście wyprostować, uzyskując przetwornicę stałoprądową (DC-DC). Istnieje kilka podobnych układów, które można wykorzystać do tego celu.

Przetwornice Royera (lub podobne) były powszechnie stosowane w wyświetlaczach do wytwarzania wysokich napięć dla układów podświetlania opartych na lampach fluorescencyjnych z zimną katodą (CCFL). W ciągu ostatniej dekady zakres stosowania podświetlenia CCFL zmniejszył się, ponieważ rozpowszechniły się metody oparte na diodach LED. Niemniej jednak istnieje wiele zastosowań wymagających użycia przetwornicy podwyższającej napięcie, w których warto zastosować układ Royera lub podobny.

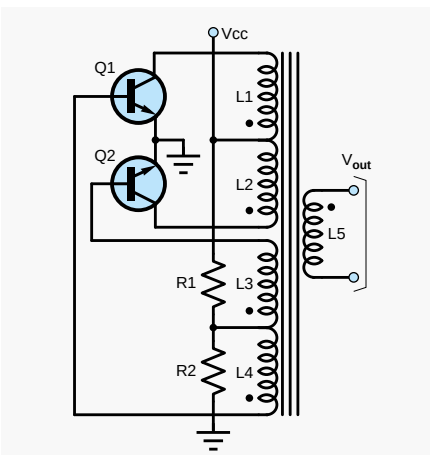
Względy bezpieczeństwa

W artykule omówimy zasadę działania przetwornicy Royera, w tym niektóre kwestie związane z symulacją działania. Nie przedstawiamy żadnego gotowego projektu, ale oczywiście projekty można znaleźć gdzie indziej. Każdy zainteresowany budową takich układów musi mieć świadomość, że niektóre z nich mogą wytwarzać napięcia wyjściowe niebezpieczne dla życia lub wydzielać duże ilości ciepła w wyniku silnego nagrzewania się elementów. Istnieje więc ryzyko porażenia prądem i poparzenia. Podczas pracy z takimi układami należy podejmować odpowiednie środki ostrożności.

Podstawy działania generatora Royera

Przetwornica Royera została po raz pierwszy opisana przez G. H. Royera w 1954 roku. Podstawowy układ generatora Royera pokazano na **rysunku 1**. Opiera się on na transformatorze z kilkoma uzwojeniami, sterowanymi przez dwa tranzystory. Działanie generatora polega na wysterowywaniu dzielonego uzwojenia pierwotnego L1-L2 i pobieranie sprzężenia zwrotnego z dzielonego uzwojenia wtórnego L3-L4 o stosunkowo małej liczbie zwojów. Uzwojenia te wystarczają do tego, by wystąpiły oscylacje. Aby uzyskać podwyższone napięcie wyjściowe, wymagane jest jednak jeszcze jedno uzwojenie wtórne – L5. Napięcie indukowane w uzwojeniu wtórnym zależy od napięcia zasilania (VCC) i stosunku liczby zwojów L1-L2 do L5.

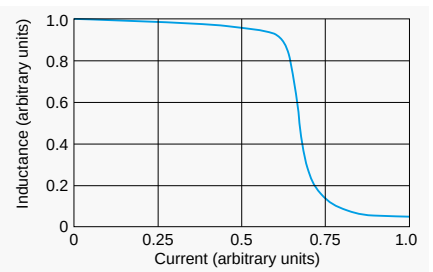
Aby transformator w generatorze Royera był wykorzystany prawidłowo, należy wiedzieć, w którą stronę podłączyć jego uzwojenia. Początki uzwojeń transformatora są oznaczane na jego obudowie kropkami (tzw. „kropki fazowe"). Kropki podawane są również na schemacie. Zaciski z kropką mają podczas pracy transformatora taką samą chwilową polaryzację napięcia. Na przykład, gdy uzwojenie pierwotne jest od strony kropki zasilane dodatnią połówką fali napięcia przemiennego (lub dodatnim impulsem napięcia), uzwojenie wtórne będzie miało od strony zacisku z kropką dodatnią polaryzację w odniesieniu do drugiego zacisku. Podczas dodatniego cyklu prąd będzie wpływał do zacisku pierwotnego z kropką i wypływał z oznaczonego kropką zacisku wtórnego.



Rysunek1. Układ podstawowy przetwornicy Royera

Nasycenie magnetyczne

Działanie generatora Royera wymaga nasycenia magnetycznego, więc warto zdefiniować, co przez to rozumiemy. Przyłożenie zewnętrznego pola magnetycznego do materiału magnetycznego powoduje jego namagnesowanie. Nasycenie magnetyczne występuje, gdy wzrastające pole magnetyczne nie może dalej zwiększać stopnia namagnesowania materiału. Zachodzi to w przypadku niektórych rodzajów materiałów, w szczególności materiałów ferromagnetycznych, np. żelaza. W materiałach tych istnieją mikroskopijne domeny, które działają jak bardzo małe magnesy i mogą zmieniać kierunek swojego namagnesowania. W obecności zewnętrznego pola magnetycznego domeny te mają tendencję do wyrównywania się z przyłożonym polem. Im silniejsze pole, tym bardziej domeny



Rysunek 2. Przykład typowej zależności indukcyjności od prądu dla cewki wykazującej twarde nasycenie. Kształt krzywej i wartości zależą od rozmiaru cewki i materiału rdzenia

eprasa.pl 5641c41152

stają się wyrównane. Istnieje jednak granica tego procesu, po przekroczeniu której dalsze zwiększanie przyłożonego pola magnetycznego nie spowoduje większego wyrównania domen (stopnia namagnesowania). W tym momencie następuje nasycenie magnetyczne.

Jeśli materiał rdzenia cewki wykazuje nasycenie, wówczas przy prądach, które zbliżają się do punktu nasycenia lub przekraczają go, cewka staje się elementem nieliniowym. Oznacza to, że indukcyjność cewki zmienia się w zależności od przepływającego przez nią prądu (w przypadku idealnej cewki indukcyjność od prądu nie zależy). Gdy rdzeń wchodzi w nasycenie, indukcyjność maleje. Zmniejsza się również sprzężenie między uzwojeniami transformatora.

Kształt wykresu indukcyjności w funkcji prądu różni się w zależności od właściwości materiału rdzenia. Przykład pokazano na **rysunku 2**. Przedstawia on charakterystykę określaną jako „nasycenie twarde", gdzie indukcyjność powyżej pewnego poziomu prądu spada gwałtownie.

W większości zastosowań nasycenia się unika, ponieważ zmniejszenie indukcyjności może prowadzić do niepożądanego wzrostu prądu, zniekształceń kształtu przebiegu lub niskiej sprawności układu. W niektórych zastosowaniach nasycenie magnetyczne jest jednak wykorzystywane. W działaniu generatora Royera odgrywa ono znaczącą rolę.

Kształty przebiegów i częstotliwość

Ponieważ w układzie Royera transformator jest wprowadzany w nasycenie, oscylacje mają charakter nie sinusoidalny, lecz raczej zbliżony do fali prostokątnej. Aby uzyskać dobrą sprawność należy zastosować transformator z odpowiednim materiałem rdzenia. W zasilaczach sieciowych do uzwojenia pierwotnego transformatora dochodzi przebieg sinusoidalny o częstotliwości 50 lub 60 Hz. W przypadku przetwornic DC-DC nie ma potrzeby ani pracować z falą sinusoidalną, ani używać niskiej częstotliwości. Wysokie częstotliwości umożliwiają stosowanie mniejszych transformatorów. Jeśli częstotliwość leży powyżej zakresu słyszalnego (20 kHz), praca przetwornicy będzie bezgłośna – w innym przypadku możemy słyszeć buczenie lub pisk.

W nowoczesnych zasilaczach impulsowych, do wysterowania transformatora lub cewki są powszechnie stosowane sygnały impulsowe (prostokątne), ponieważ są one stosunkowo łatwe do wytworzenia w układach logiki sterującej. Logika ta zwykle przeprowadza jakiś rodzaj modulacji (załączanie/wyłączanie impulsów lub zmianę ich szerokości) w celu stabilizowania napięcia wyjściowego przy zmianach obciążenia. Tego typu przetwornice zapewniają oczywiście lepszą wydajność niż podstawowy układ generatora Royera, w którym brak jest regulacji napięcia wyjściowego. Generator Royera (lub podobny układ – patrz dalej) może być jednak używany w połączeniu z nowoczesnym stabilizatorem impulsowym. Sposób taki zapewnia stabilne napięcie wyjściowe. Podejście to powszechnie stosowano w „czasach świetności" podświetlenia CCFL.

Działanie układu

Odpowiednią polaryzację baz tranzystorów realizuje dzielnik rezystorowy (rysunek 1). Zapewnia on również, że po załączeniu zasilania jeden z tranzystorów zostanie włączony, a układ zacznie oscylować. Po włączeniu zasilania niewielka asymetria rzeczywistego układu spowoduje, że jeden z tranzystorów włączy się wcześniej niż drugi – układ rzeczywisty nigdy nie jest idealnie symetryczny, mimo że na taki wygląda na schemacie. Generator wykazuje zachowanie typowe dla przerzutnika bistabilnego, a tranzystory załączają się i wyłączają w przeciwnych fazach, z cyklem pracy wynoszącym 50%.

Zaletą układu Royera jest to, że transformator jest bezpośrednio elementem generatora. Układ przetwornicy podwyższającej zawiera więc stosunkowo niewiele elementów i nie wymaga stosowania oddzielnych bloków generatora i sterownika. Układ ten ma jednak kilka wad, które omówimy później.

Tranzystory

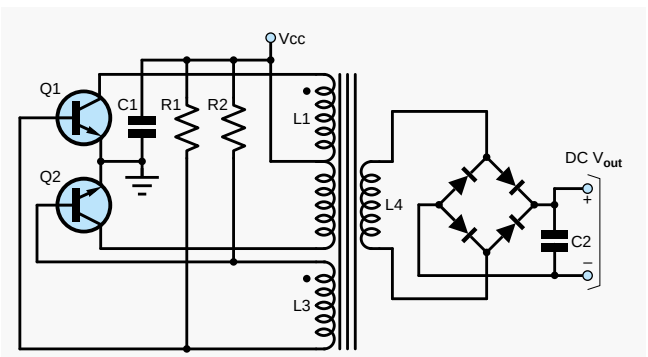
Należy stosować odpowiednie typy tranzystorów, o dużym wzmocnieniu prądowym h_{FE}, niskim napięciu nasycenia $V_{CE(sat)}$, niskiej rezystancji załączenia $R_{CE(sat)}$ i wysokim napięciu przebicia kolektor-baza. Muszą to być tranzystory zaprojektowane specjalnie do przełączania dużych prądów.

Jak już wspomnieliśmy, tranzystory naprzemiennie włączają się i wyłączają, a jeden z nich po załączeniu zasilania włącza się jako pierwszy. Ten fakt możemy użyć jako punkt wyjścia do opisania działania układu. Jeśli założymy, że jako pierwszy włączy się Q1, to na L1 pojawi się napięcie (z biegunem dodatnim przy kropce), a dzięki działaniu transformatora, na uzwojeniach wtórnych L3 i L4 pojawią się napięcia o polaryzacji odpowiadającej kropkom przy końcach uzwojeń. W ten sposób baza Q1 zostanie wysterowana napięciem dodatnim, które jeszcze bardziej włączy ten tranzystor. Wystąpi dodatnie sprzężenie zwrotne, zapewniając mocniejsze załączenie tranzystora. Po włączeniu Q1, strumień magnetyczny w rdzeniu będzie wzrastał (jego szybkość zmian wynika z prawa Faradaya, które wiąże szybkość zmian strumienia magnetycznego z siłą elektromotoryczną). Po pewnym czasie jednak transformator nasyci się, to znaczy strumień magnetyczny przestanie rosnąć. W tym momencie działanie transformatora w dużym stopniu ustanie, a prąd bazy Q1 przestanie płynąć. Po zaniku prądu bazy Q1 wyłączy się, co spowoduje spadek jego prądu kolektora. Nastąpi przeciwna zmiana napięcia, co poprzez szczątkowe działanie transformatora wywoła dodatnie napięcie na bazie tranzystora Q2. Zacznie się on załączać, a dodatnie sprzężenie zwrotne „popchnie go" do stanu pełnego włączenia.

Gdy Q2 się załączy, wynikająca z tego zmiana polaryzacji napięcia na uzwojeniu pierwotnym L1-L2 (patrz kropki na schemacie) spowoduje, że transformator najpierw wyjdzie z nasycenia, a następnie nasyci się strumieniem o przeciwnym kierunku niż wtedy, gdy włączony był Q1. A kiedy transformator znów się nasyci, Q2 wyłączy się na tej samej zasadzie, jak przedtem Q1, a w konsekwencji zacznie się włączać Q1 i cykl zacznie się powtarzać.

W ten sposób uzyskujemy oscylacje. Ich częstotliwość zależy od pola przekroju poprzecznego rdzenia transformatora, liczby zwojów w uzwojeniu pierwotnym, właściwości magnetycznych rdzenia (strumień nasycenia) oraz napięcia zasilania. Wszystko to sprawia, że stosunkowo trudno jest dokładnie ustawić częstotliwość.

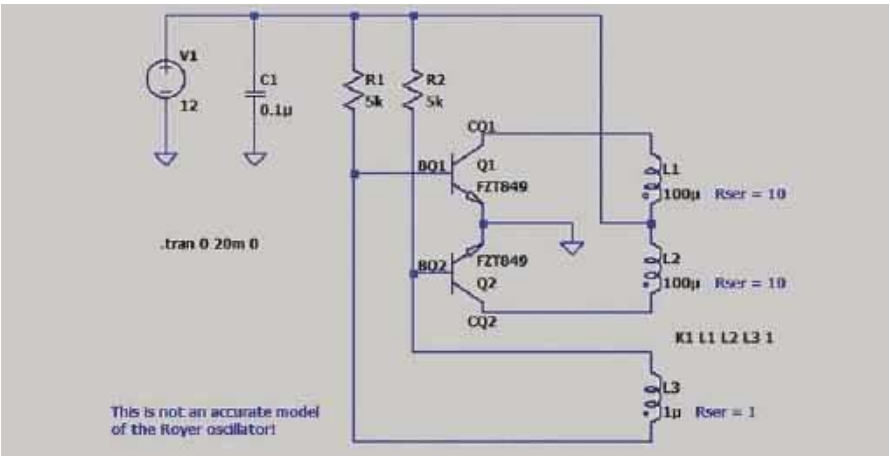
Istnieje wiele możliwych wariantów podstawowego układu Royera z rysunku 1.



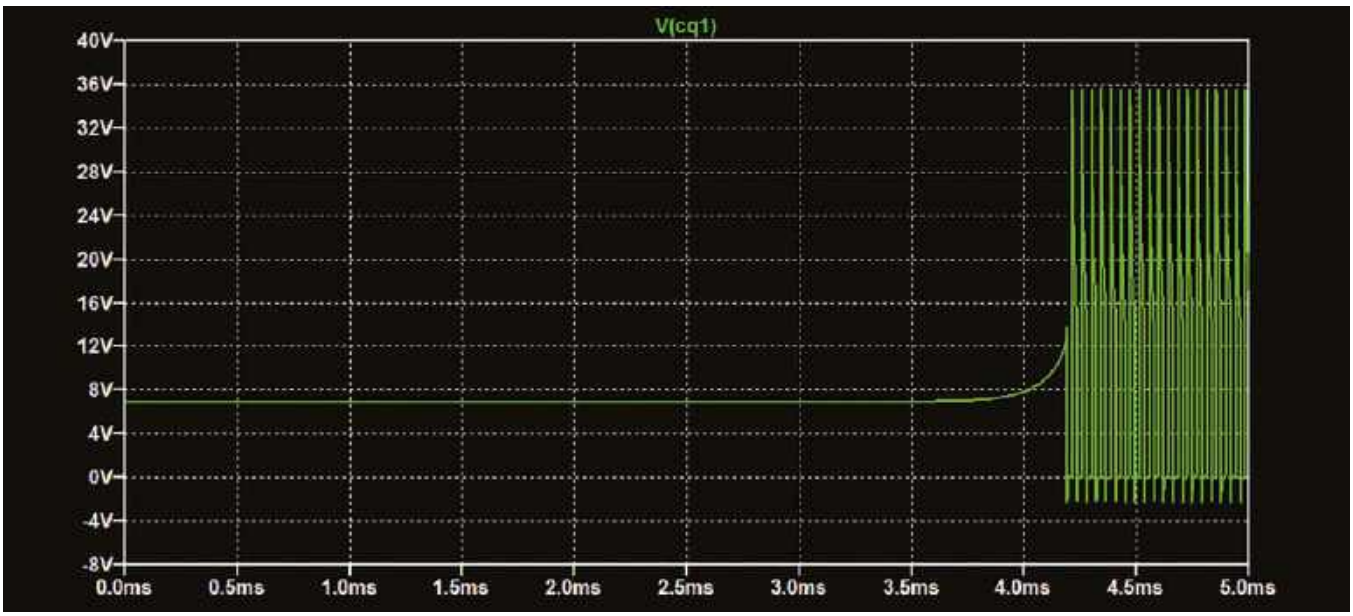
Rysunek 3. Wariant układu Royera z przykładem obwodu po stronie wtórnej

eprasa.pl 5641c41152

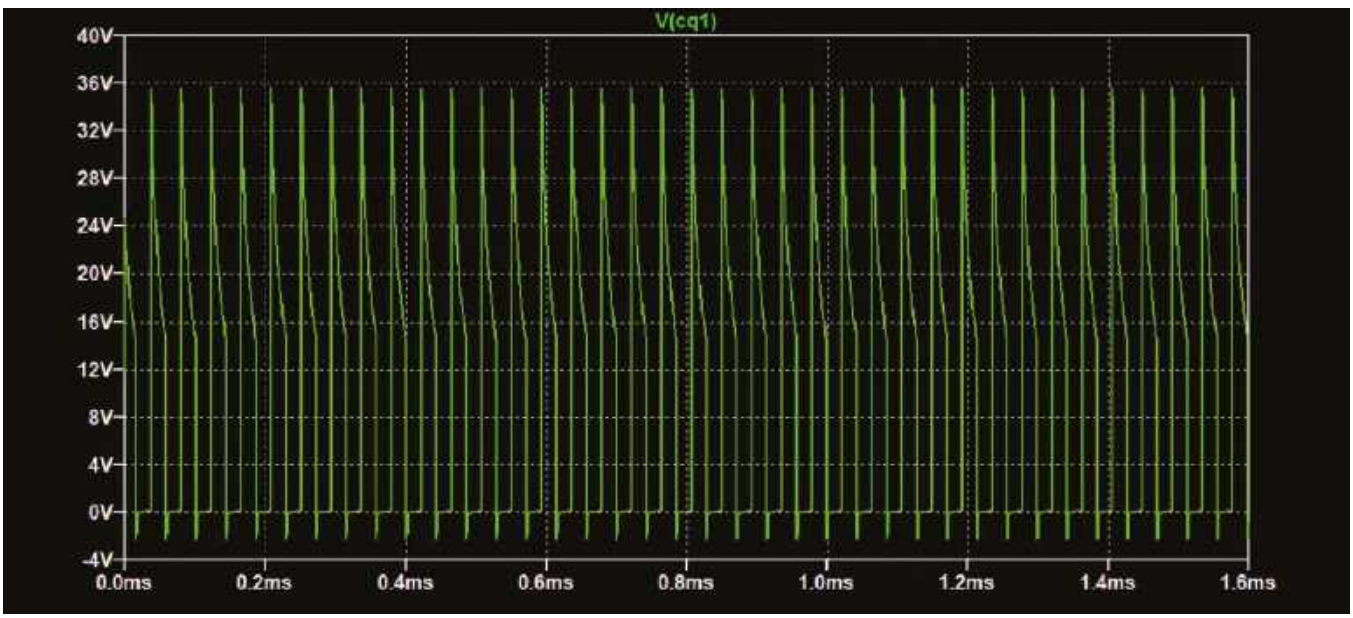
Obejmują one dodanie diod w celu ochrony tranzystorów przed przepięciami oraz inne rozwiązania obwodu polaryzacji i sprzężenia zwrotnego przez uzwojenie wtórne. Przykład pokazano na **rysunku 3**. Układ ten nie wymaga dla sprzężenia zwrotnego uzwojenia z odczepem. Ponadto w układzie jest kondensator odsprzęgający zasilanie (C1). Odsprzęganie zasilania jest generalnie bardzo zalecane, szczególnie w układach przełączających, gdzie w krótkich chwilach występuje duże zapotrzebowanie na prąd. Na rysunku 3 mamy również obwód prostownika pełnookresowego i kondensator wygładzający, podłączone do uzwojenia wtórnego. To tylko przykład. W zależności



Rysunek 4. Schemat generatora Royera w LTspice (model niedokładny)

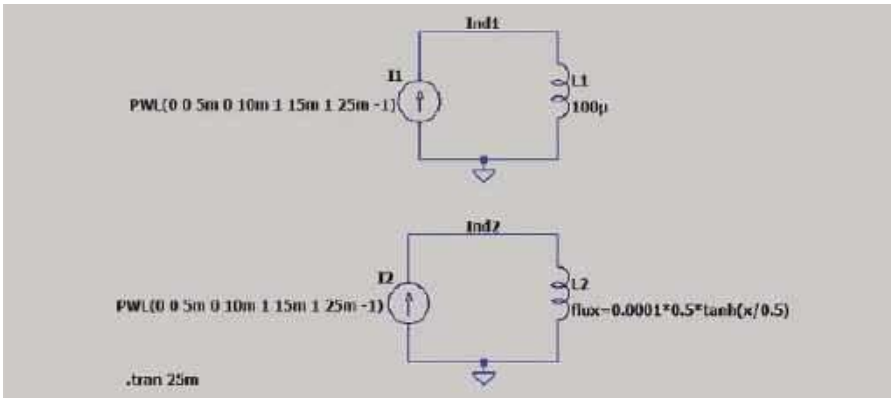


Rysunek 5. Wyniki symulacji układu z rysunku 4



Rysunek 6. W rozpoczęciu symulacji generatora może pomóc odpowiednie ustawienie warunków początkowych

eprasa.pl 5641c41152



Rysunek 7. Schemat układu w LTspice do zademonstrowania nasycenia cewki

od zastosowania można po stronie wtórnej użyć różnych rozwiązań układowych.

Symulacja układu Royera

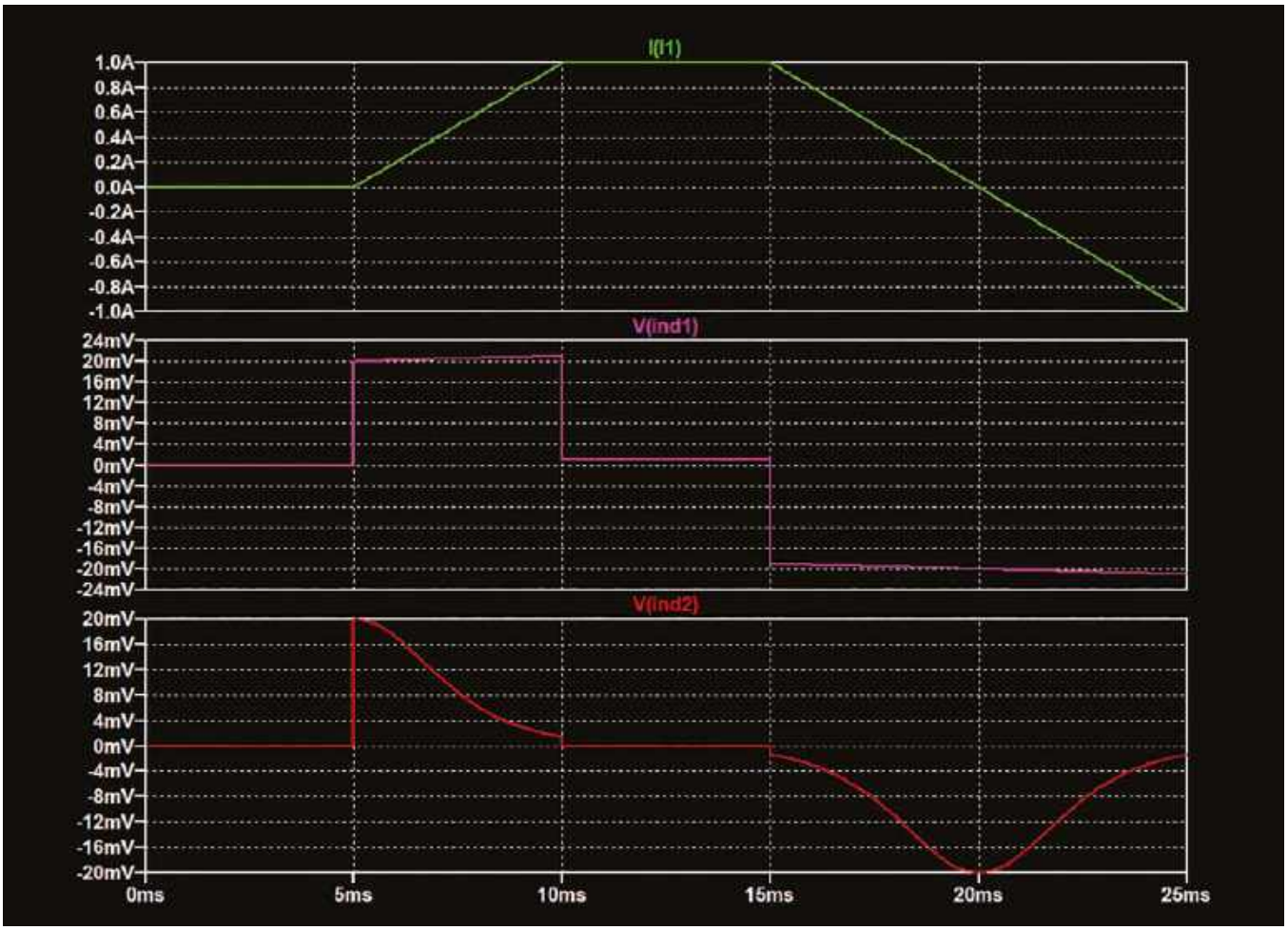
W artykułach z cyklu Chirurgia Obwodowa często symulujemy różne układy. Generator Royera jest ciężki do dokładnego zasymulowania. Warto jednak przyjrzeć się kilku zagadnieniom. **Rysunek 4** to schemat generatora Royera w symulatorze LTspice, oparty na schemacie z rysunku 3. Wybór elementów jest nieco arbitralny, ale symulacja nie będzie zbyt realistyczna, więc nie warto się tym zbytnio przejmować.

Aby w LTspice utworzyć transformator, musimy zdefiniować „wzajemną cewkę" – dodać element do listy połączeń, co odbywa się poprzez dodanie do tej listy wiersza tekstu opisującego wzajemną cewkę. Składnia instrukcji dla indukcyjności wzajemnej to:

```
Kxxx L1 L2 [L3 ...] <współczynnik>
```

Mamy tu nazwę zaczynającą się od K, po której następuje lista cewek sprzężonych ze sobą (np. uzwojeń transformatora), a na końcu podawany jest współczynnik sprzężenia. W przypadku transformatorów idealnych współczynnik ten wynosi 1, ale można go zmieniać w zakresie od 0 do 1, modelując transformatory, w których nie cały strumień magnetyczny idealnie sprzęga cewki. Tutaj, dla uproszczenia, użyjemy wartości 1.

Wyniki symulacji układu z rysunku 4 pokazano na **rysunku 5**. Zauważmy, że oscylacje powstają, ale dopiero po dość długim czasie. Przy symulacji generatorów takich jak ten, częstym problemem bywa rozruch. Niektóre układy poddane symulacji w ogóle nie chcą zacząć oscylować. W tym przypadku powodem jest idealna symetria układu w symulatorze, która w rzeczywistych układach nie występuje. Założyliśmy poprzednio, że jeden z tranzystorów załączy się jako pierwszy, i dzięki temu oscylacje się rozpoczynają. Może się to nie zdarzyć w symulacji, w której



Rysunek 8 Wyniki symulacji układu z rysunku 7

eprasa.pl 5641c41152

użyto dwóch tranzystorów z identycznymi modelami. Do powstania drgań mogą być czasem wystarczające niewielkie różnice numeryczne powstające w trakcie obliczeń, lecz zjawisko to nie odzwierciedla zachowania rzeczywistego układu.

Wymuszenie oscylacji w symulatorze

W symetrycznym układzie generatora uruchomienie oscylacji można osiągnąć poprzez wprowadzenie do układu asymetrii lub przez wymuszenie napięć początkowych o wartościach gwarantujących rozpoczęcie oscylacji. Pierwszy przypadek możemy zrealizować, zmieniając wartości elementów. Na przykład w naszym układzie może zadziałać wybranie nieco innych wartości rezystorów. W drugim przypadku możemy wypróbować poleceń .IC oraz .NODESET symulatora SPICE. Wpływają one na stałoprądowe warunki początkowe, które LTspice wyznacza na początku każdej symulacji i które stanowią punkt początkowy symulacji przejściowych. Dyrektywa .IC wymusza napięcia początkowe symulacji, natomiast .NODESET jest raczej wskazówką dla symulatora dotyczącą początkowych obliczeń. Użycie .IC wymaga ostrożności, ponieważ może dać mylące wyniki. Może być jednak przydatne do uruchomienia generatora w sytuacji, kiedy .NODESET nie rozwiązuje problemu. W układzie pokazanym na rysunku 4 spróbujmy zastosować:

```
.IC V(bq1)=0.6 v(bq2)=0
```

Wymusza to na początku symulacji takie napięcia na bazach tranzystorów, że Q1 jest załączony, a Q2 wyłączony. Powoduje to natychmiastowe rozpoczęcie oscylacji. Widać to na rysunku 6. Instrukcję .IC można dodać za pomocą opcji „.op” dyrektywy SPICE.

Symulacja nasycenia transformatora

Łatwo byłoby ulec pokusie i przyjąć, że przebieg z **rysunku 6** jest już ostatecznym wynikiem symulacji. Rysunek pokazuje „spiczastą” falę prostokątną, a tego właśnie możemy oczekiwać po generatorze Royera. Musimy jednak być ostrożni, ponieważ w modelu symulacyjnym brakuje jeszcze bardzo istotnego czynnika, który miał kluczowy wpływ na działanie układu – nasycenia transformatora. Cewki w symulatorze są elementami zbliżonymi do idealnych (pomijając fakt, że mają określoną rezystancję szeregową) i nie wykazują nasycenia. Nie można więc zakładać, że wyniki są realistyczne. W LTspice uwzględnienie nasycania się cewek jest dość proste. Odbywa się to poprzez zastąpienie na schemacie normalnej wartości indukcyjności wyrażeniem matematycznym na strumień magnetyczny. Tworzymy w ten sposób „cewkę behawioralną” (określaną jako Arbitrary Inductor). Najbardziej podstawową formą tego wyrażenia jest:

```
flux = L · Is · tanh(x/Is)
```

gdzie L to indukcyjność w henrach (przed nasyceniem), Is to prąd nasycenia w amperach, a x to prąd cewki (w dokumentacji LTspice określany jako „specjalne słowo kluczowe”). tanh to funkcja tangensa hiperbolicznego. Dla cewki 100 µH i prądu nasycenia 500 mA powyższe wyrażenie ma postać:

```
flux = 0.0001 · 0.5 · tanh(x/0.5)
```

Ten przykładowy wzór został użyty w symulacji LTspice według schematu z **rysunku 7**, razem ze standardową cewką 100 µH. Przykład ten ma na celu zilustrowanie zachowania w LTspice różnych modeli cewek i nie reprezentuje konkretnych elementów rzeczywistych. Wzór na strumień może być też bardziej złożony, co pozwala modelować więcej szczegółów procesu nasycenia cewki – na przykład określone zakrzywienie charakterystyki prąd-indukcyjność.

W układzie na rysunku 7 zastosowano liniowe źródła napięcia (PWL), które wytwarzają prąd w cewkach indukcyjnych – stały lub zmieniający się ze stałą szybkością ±200 A/s (1 A w ciągu 5 ms) – patrz górny wykres na **rysunku 8**. Równanie charakterystyczne cewki – zależność między prądem przepływającym przez cewkę (i) a napięciem na niej (v) wynosi:

$$v = L\frac{di}{dt}$$

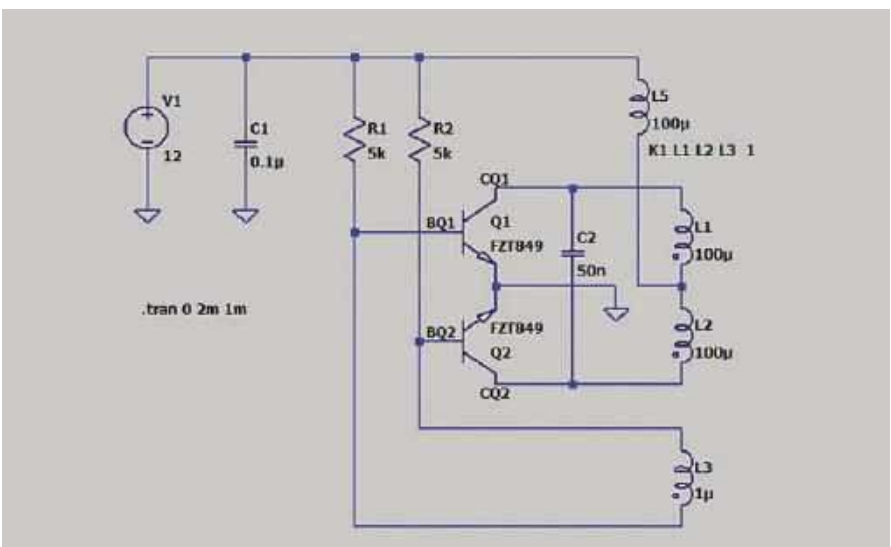
L to indukcyjność, a iloraz $\frac{di}{dt}$ reprezentuje szybkość zmiany prądu (i) w czasie (t). Przepływ prądu przez cewkę skutkuje wystąpieniem napięcia na cewce, które jest proporcjonalne do szybkości zmiany prądu.

Na środkowym wykresie z rysunku 8 pokazane jest napięcie w symulacji przy użyciu standardowego modelu cewki. Gdy prąd jest stały – 0 lub 1 A – napięcie cewki wynosi zero. Gdy prąd zmienia się z prędkością ±200 A/s, napięcie na cewce indukcyjnej wynosi, zgodnie z powyższym równaniem, 100 µH·200 A/s =20 mV, przy czym biegunowość tego napięcia zależy od kierunku zmiany prądu.

Na dolnym wykresie pokazano zachowanie cewki z nasyceniem. Jest ono oczywiście mocno odmienne od pokazanego na wykresie środkowym. Nadal obowiązuje równanie prąd-napięcie-indukcyjność, ale wraz ze wzrostem prądu indukcyjność maleje – tak jak na rysunku 2, aczkolwiek niekoniecznie według dokładnie takiej samej krzywej. Spadek indukcyjności przy wzroście prądu skutkuje niższymi napięciami przy wyższych prądach. Zwróćmy na przykład uwagę na rysunku 8 na ujemny szczyt napięcia, kiedy w chwili „20 ms” malejący prąd przechodzi przez zero.

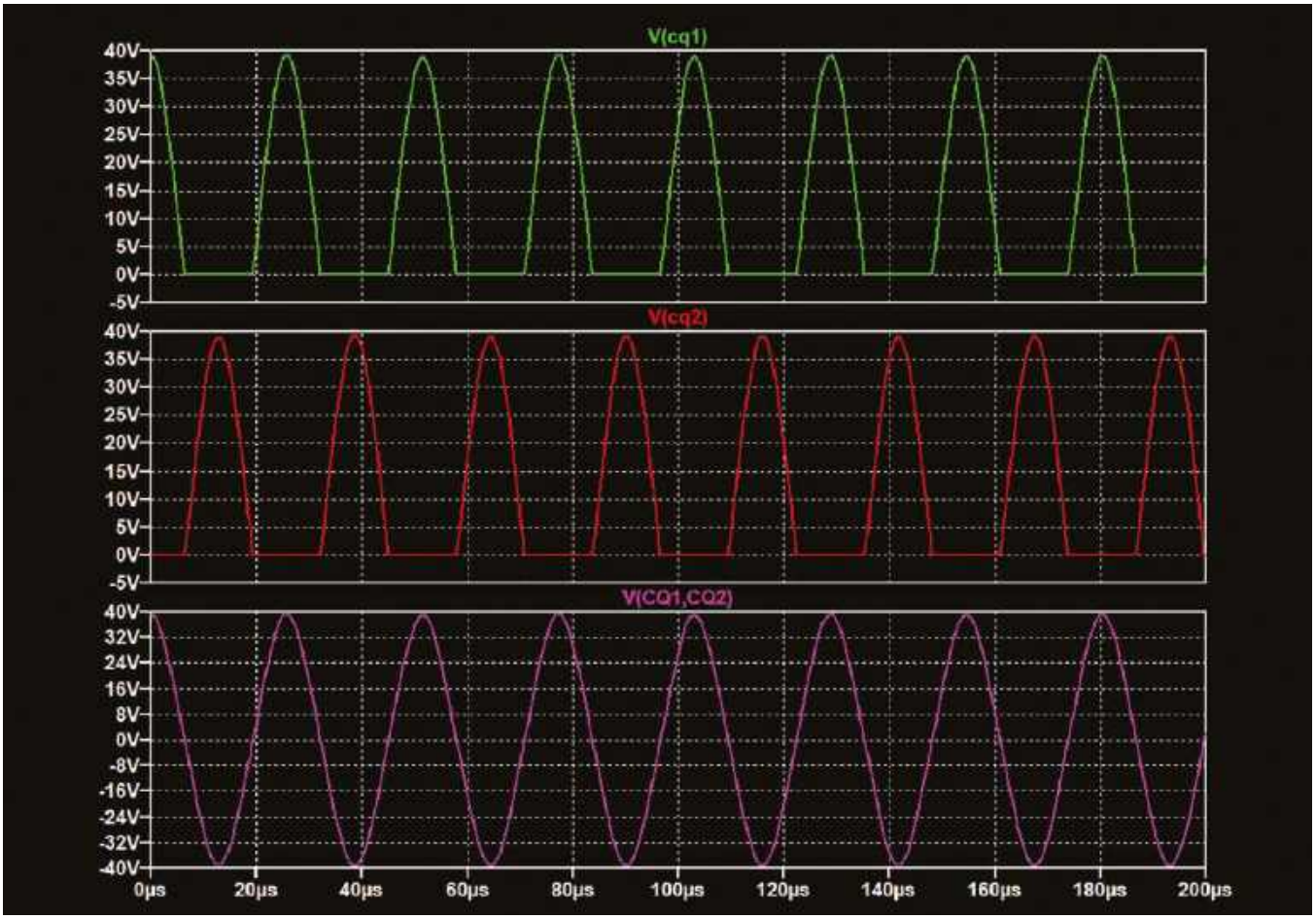
Ograniczenia symulacji

Model Arbitrary Inductor nie obejmuje niestety wszystkich aspektów nasycenia cewki – a w szczególności histerezy nasycenia. Można zastosować inne podejście, oparte na modelu Chana (nazwanym na cześć Johna Chana, który wraz z innymi współautorami opublikował go w IEEE Transactions



Rysunek 9. Schemat w LTspice generatora Baxandalla, użyty do wygenerowania przykładowych przebiegów

eprasa.pl 5641c41152



Rysunek 10. Wyniki symulacji układu z rysunku 9

on Computer-Aided Design, Vol. 10. No. 4, April 1991). Model ten jest wbudowany w LTspice, ale wymaga ustawienia kilku parametrów magnetycznych rdzenia. Zamiast normalnej wartości indukcyjności jest wprowadzana lista wartości parametrów, w podobny sposób jak w modelu Arbitrary Inductor. Aby korzystać z modelu, trzeba znać te wartości. Co więcej, model Chana w LTspice nie obsługuje cewek sprzężonych, więc nie może być w prosty sposób używany do symulowania transformatorów. Istnieją bardziej złożone modele transformatorów, ale dla odzwierciedlenia zachowania transformatora wymagają zazwyczaj stosowania skomplikowanych obwodów równoważnych.

Tym kończymy naszą dyskusję na temat symulacji układu z rysunku 3. Nie udało nam się uzyskać szczegółowego modelu transformatora. Otrzymaliśmy pewien wgląd w zachodzące w tym zakresie trudności.

Wady generatora Royera

Generator Royera ma kilka niepożądanych cech. Po pierwsze – ma tendencję do wytwarzania dużych, zachodzących jednocześnie, skoków napięcia i prądu, które mogą uszkodzić tranzystory. Po drugie – częstotliwość oscylacji zależy od napięcia zasilania, co w niektórych projektach może być niepożądane. Po trzecie – przy każdym przełączeniu duże skoki napięć i mogące im towarzyszyć oscylacje pasożytnicze o wysokiej częstotliwości mogą generować wiele zakłóceń w pasmach radiowych. Skoki te zmniejszyć – a przy tym poprawić sprawność układu – może cewka, umieszczona pomiędzy środkowym zaciskiem uzwojenia pierwotnego a plusem zasilania.

Generator Baxandalla

Przed zakończeniem naszej dyskusji warto rzucić okiem na układ w LTspice przedstawiony na **rysunku 9**. Układ jest określany jako generator Royera, ale bywa również nazywany „generatorem Baxandalla" od nazwiska Petera Baxandalla, który w 1959 roku opublikował artykuł na jego temat. Wiele układów typu Royera w przetwornicach podwyższających CCFL, o których była mowa na początku tego artykułu, to w istocie generatory Baxandalla. Ta właśnie nazwa jest chyba odpowiednia, ponieważ zasada działania tych generatorów jest zupełnie inna. Szczególnie istotne jest to, że w generatorze Baxandalla transformator się nie nasyca.

Zasadniczą różnicą w stosunku do układu Royera jest kondensator (C2) na uzwojeniu pierwotnym (L1-L2), który tworzy obwód rezonansowy LC. Powstają w nim drgania sinusoidalne, a nie fala prostokątna jak u Royera. Obwód rezonansowy LC steruje naprzemiennym przełączaniem tranzystorów poprzez uzwojenie sprzężenia zwrotnego w sposób podobny jak w układzie Royera. Przełączanie tranzystorów z kolei podtrzymuje rezonans i wytwarzanie drgań.

Wyniki symulacji układu Baxandalla są pokazane na **rysunku 10**. Napięcia na obu kolektorach (dwa wykresy górne) są połówkami sinusoidy, natomiast napięcie na całym obwodzie pierwotnym (L1-L2) jest pełną sinusoidą (wykres dolny). Układ na rysunku 9 nie jest gotowym projektem. Jest to tylko konfiguracja demonstracyjna, która posłużyła jako źródło przebiegów ilustrujących zachowanie tego typu układu. ■

Ian Bell

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

eprasa.pl 5641c41152

TAWOIA Glass (szkło kwarcowe)

https://sklep.avt.pl/pl/menu/tawoia-glass-4505.html



BESTSELLERY sklepu AVT – sklep.avt.pl

3 unikalne serie gniazdek i włączników

Rabat dla Czytelników EdW
przy zakupie podaj kod EdW2505GW

Kod ważny do 30.09.2025

-5%

Rabat dla Prenumeratorów EdW
przy zakupie podaj numer prenumeraty

-10%

Ceramic Loft (ceramika)

https://sklep.avt.pl/pl/menu/seria-ceramic-loft-4190.html



Retro PRL (bakelit)

https://sklep.avt.pl/pl/series/retro-prl-3237.html



eprasa.pl 5641c41152

Wszczepialne chipy przechowujące informacje (2)

W poprzednim odcinku omawialiśmy system śledzenia zwierząt, oparty na chipach wszczepianych do ich ciał. Teraz przechodzimy do projektu, w którym wykorzystano fakt, że w maleńkim chipie umieszczonym wewnątrz ciała ludzkiego można bezpiecznie przechowywać poufne dane i hasła. Można go wszczepić w taki sposób, aby do tych informacji miał dostęp tylko użytkownik. Wiele osób decyduje się na wszczepienie takich chipów zawierających dane, które chcą zachować w tajemnicy. Sposób ten skutecznie zabezpiecza poufne informacje przed utratą lub wyciekiem. Wszczepiane chipy stają się coraz bardziej popularne.

Istnieją dwa główne warianty tej metody:

Chip uwierzytelniający. Wszczepiony chip służy jako element uwierzytelniania. Odblokowuje on dane przechowywane w chmurze lub na laptopie. Dostęp do danych jest przyznawany użytkownikowi dopiero po zeskanowaniu chipa umieszczonego wewnątrz jego ciała.

Chip z pamięcią. Można wszczepić chip, który sam będzie przechowywał poufne dane. Dostęp do tych danych będzie można uzyskać, wyłącznie skanując chip.

Wszczepialny chip przechowujący dane

Metoda ta zapewnia maksimum bezpieczeństwa. Krytyczne dane przechowywane są w chipie wszczepionym do wnętrza ciała użytkownika, pozostając poza zasięgiem świata zewnętrznego. Używamy chipa z możliwością odczytu i zapisu. Na rynku dostępnych jest kilka alternatyw, np.:

- Implant xEM RFID. Produkt firmy Dangerous Things, działający na częstotliwości 13,56 MHz, oferujący możliwość odczytu i zapisu.
- Implant xCARD RFID. Inna oferta firmy Dangerous Things – implant RFID 13,56 MHz nadający się do różnych zastosowań, w tym do przechowywania danych.
- Implant NFC (komunikacja bliskiego zasięgu). Implant, choć nie pracuje w systemie RFID, działa również na częstotliwości 13,56 MHz i może przechowywać dane.
- Implant do biohackingu. Firmy i społeczności zajmujące się biohackingiem badają urządzenia RFID i NFC z funkcjami konfigurowalnymi przez użytkownika, w tym chipy z przechowywaniem danych.

Każdy z tych systemów zapewnia bezpieczne przechowywanie danych. Użytkownikowi pozostaje wybrać jeden z nich.



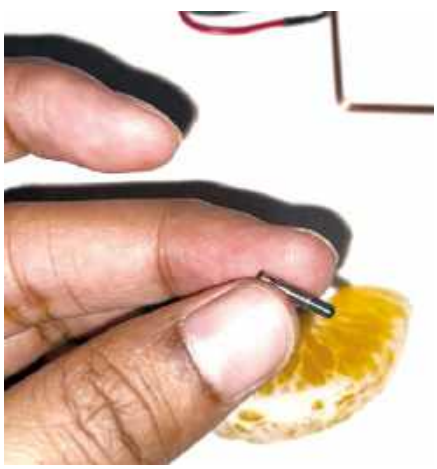
Rysunek 1. Wygląd kilku wszczepialnych chipów (źródło: https://dangerousthings.com)

Wszystkie niezbędne podzespoły są wymienione w **tabeli 1**.

W pierwszym wariancie chip zawiera hasło UUID (unikatowy 128-bitowy identyfikator użytkownika; przypis redaktora), a zeskanowanie chipa jest niezbędnym warunkiem uzyskania dostępu do danych przechowywanych w chmurze lub na laptopie.

Drugi wariant działania to zapisanie danych bezpośrednio we wszczepionym chipie. Do odczytu tych danych służy odpowiedni skaner, podłączony do USB Raspberry Pi lub laptopa.

Rysunek 1 przedstawia przykłady wszczepialnych chipów, a **rysunek 2** – proces wszczepiania chipa do kawałka pomarańczy w celach testowych. Po prawej stronie



Rysunek 2. Wszczepianie chipa do kawałka pomarańczy

Tabela 1. Lista elementów

Element	Liczba	Opis
Wszczepialna kapsułka RFID	1	Kapsułka RFID 13,56 MHz do odczytu i zapisu
Czytnik RFID z funkcją zapisu; 13,56 MHz	1	Moduł czytnika chipów z łączem szeregowym
Raspberry Pi Zero/4 (opcjonalnie)	1	SBC

eprasa.pl 5641c41152

decrupt.py | Encrypt.py

```python
from cryptography.fernet import Fernet

# Generate a key for encryption and decryption
key = Fernet.generate_key()
cipher_suite = Fernet(key)

# Function to encrypt and save text data to a locked file
def encrypt_and_save(text_data, filename):
    encrypted_data = cipher_suite.encrypt(text_data.encode())

    with open(filename, 'wb') as file:
        file.write(encrypted_data)

    print(f"Text data encrypted and saved to {filename}")

# Example usage: Encrypt and save text data to a locked file
text_to_encrypt = "This is a secret message."
encrypted_file = 'locked_file.txt'

encrypt_and_save(text_to_encrypt, encrypted_file)
```

Rysunek 3. Fragment programu szyfrującego

rupt.py | Encrypt.py

```python
from cryptography.fernet import Fernet
import rdm6300

# Generate a key for encryption and decryption
key = Fernet.generate_key()
cipher_suite = Fernet(key)

# RFID card chip id to allow decryption
allowed_chip_id = 53346

# Function to unlock and decrypt the data from a locked file
def unlock_and_decrypt(filename, rfid_chip_id):
    with open(filename, 'rb') as file:
        encrypted_data = file.read()

    if rfid_chip_id == allowed_chip_id:
        decrypted_data = cipher_suite.decrypt(encrypted_data).decode()
        print(f"Decrypted Data: {decrypted_data}")
    else:
        print("Unauthorized access. The correct RFID card is required for decryption.")

# Function to scan RFID card chip
def scan_rfid():
    reader = rdm6300.Reader('/dev/ttyS0')
    print("Please scan your RFID card...")
    while True:
        card = reader.read()
        if card:
            return card.value
```

Rysunek 4. Fragment programu odszyfrowującego





Rysunek 5. Chip umieszczony wewnątrz ciała, świecący podczas skanowania

rysunku 1 widzimy chip, który ma pamięć do przechowywania danych i diodę LED świecącą podczas skanowania. Chip ten zawiera:

a. Układ komunikacji NFC typu 2, pracujący na częstotliwości 13,56 MHz wg ISO14443A,
b. Sterylną cylindryczną osłonę z bioszkła 2×15 mm,
c. 888 bajtów pamięci zapisywalnej przez użytkownika,
d. Wskaźnik LED otrzymywanej energii.

Cechy te łącznie decydują o wszechstronności tego chipa, dzięki czemu doskonale nadaje się on do bezpiecznego przechowywania informacji w ludzkim ciele.

Oprogramowanie

Na początek utworzymy program, który będzie szyfrował dane, co sprawi, że będą one nieczytelne nawet jeśli ktoś niepowołany je odczyta. Dane te staną się czytelne dopiero po zeskanowaniu wszczepionego chipa.

Na potrzeby tego projektu tworzymy i modyfikujemy nowe oprogramowanie, inne niż w poprzednim odcinku tego artykułu. Jak wspomnieliśmy wcześniej, można użyć implantów różnego typu, byle miały zapisywalną pamięć.

Uwaga od redakcji EFY: pełna realizacja tego projektu wymaga spełnienia niezbędnych certyfikatów bezpieczeństwa, zakłada również zaawansowaną umiejętność programowania.

Najpierw instalujemy bibliotekę funkcji szyfrujących, uruchamiając w terminalu następujące polecenie:

```
pip3 install cryptography
```

Tworzymy program, który poddaje szyfrowaniu poufne informacje i pliki i zapisuje je. Program szyfrujący będzie wykorzystywać

Shell

```
>>> %Run Encrypt.py
  Text data encrypted and saved to locked_file.txt
>>>
```

Rysunek 6. Komunikat Pythona dotyczący szyfrowania informacji

eprasa.pl 5641c41152

bibliotekę kryptograficzną. Będziemy wstawiać tajne informacje i uruchamiać program, a on zapisze dane w formacie zaszyfrowanym.

Utworzymy następnie program, który będzie skanował wszczepione chipy, sprawdzał, czy identyfikator UUID wszczepionego chipa jest prawidłowy, a następnie odszyfruje dane i plik z informacjami i wyświetli go. W zależności od typu używanego chipa RFID można użyć biblioteki RDM Python (patrz poprzednia część tego artykułu) lub biblioteki szeregowej. W programie należy odpowiednio zmodyfikować nazwę portu szeregowego i szybkość transmisji.



Rysunek 7. Zaszyfrowane dane

Testowanie

Piszemy wiadomość i zaznaczamy plik, który chcemy zaszyfrować w programie encrypt.py. Uruchamiamy program, szyfrujemy dane i zapisujemy je. Podłączamy skaner chipów RFID. W programie encrypt.py ustawiamy port szeregowy skanera i szybkość transmisji. Uruchamiamy program. Wyświetli się prośba o skanowanie. Jeśli będzie zeskanowany właściwy chip, dane i wiadomość zostaną odszyfrowane.

Na **rysunku 5** widać, jak dioda LED we wszczepionym chipie świeci podczas skanowania. Warto też obejrzeć „demo" na stronie https://forum.dangerousthings.com/t/show-off-your-blink-xsiid-nfc-led-gallery-glow/8519/2.

Uwaga od redakcji „Electronics For You"

Niniejszy artykuł powinien służyć wyłącznie do celów edukacyjnych. W wyniku eksperymentów nie mogą ucierpieć ludzie ani zwierzęta. Implantacja chipa wewnątrz ciała wiąże się z zagrożeniem dla zdrowia, dlatego zaleca się korzystanie z artykułu wyłącznie w celach edukacyjnych. Chipy należy trzymać poza zasięgiem dzieci poniżej 18. roku życia. W przypadku kiedy planowana jest faktyczna implantacja w ciele, należy skonsultować się najpierw z lekarzami i ekspertami. ■

Ashwini Kumar Sinha

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", styczeń 2024 (efymag.com)

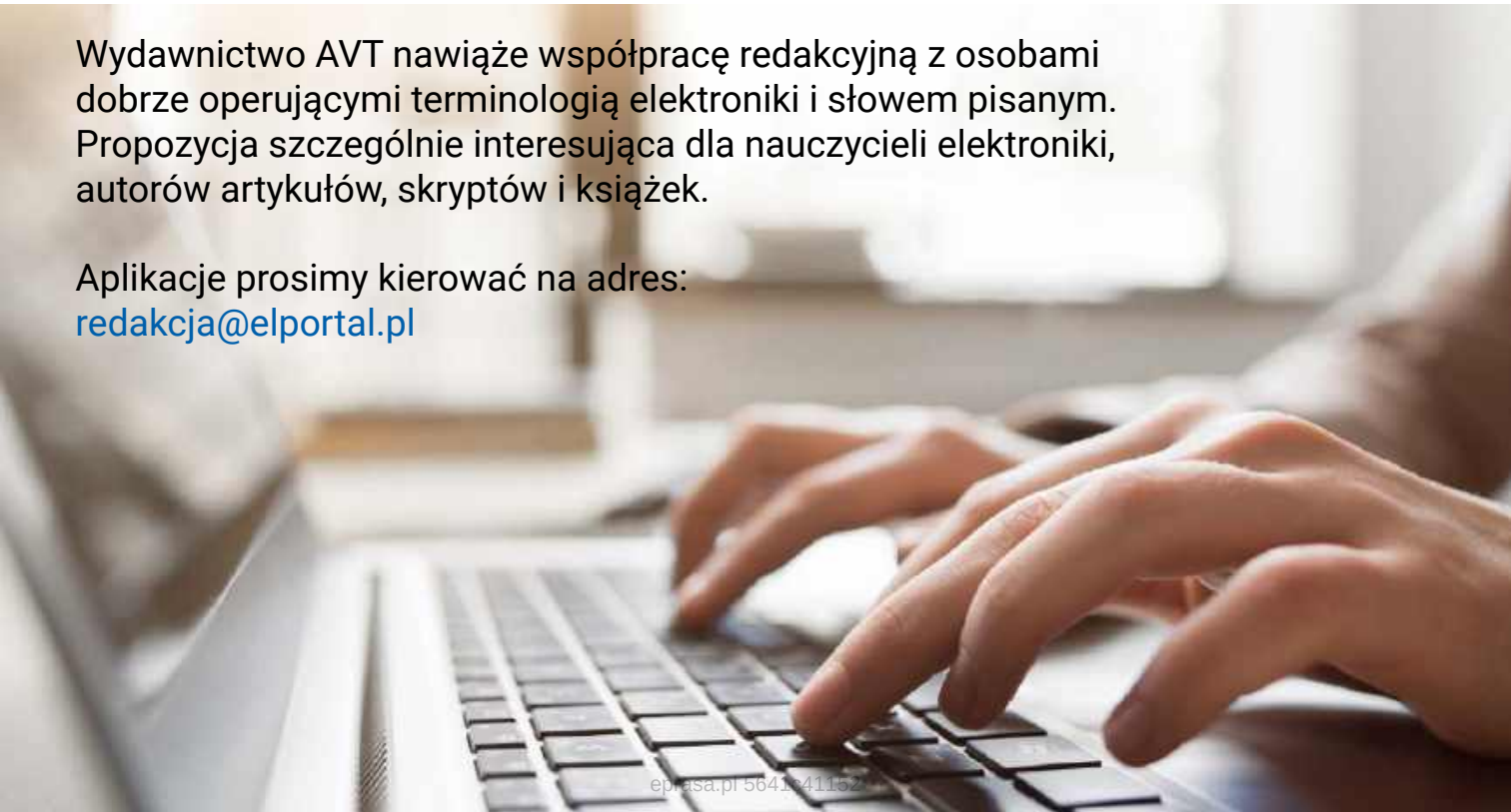


Rysunek 8. Dane po odszyfrowaniu w obecności właściwego chipa

REKLAMA

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

Aplikacje prosimy kierować na adres:
redakcja@elportal.pl



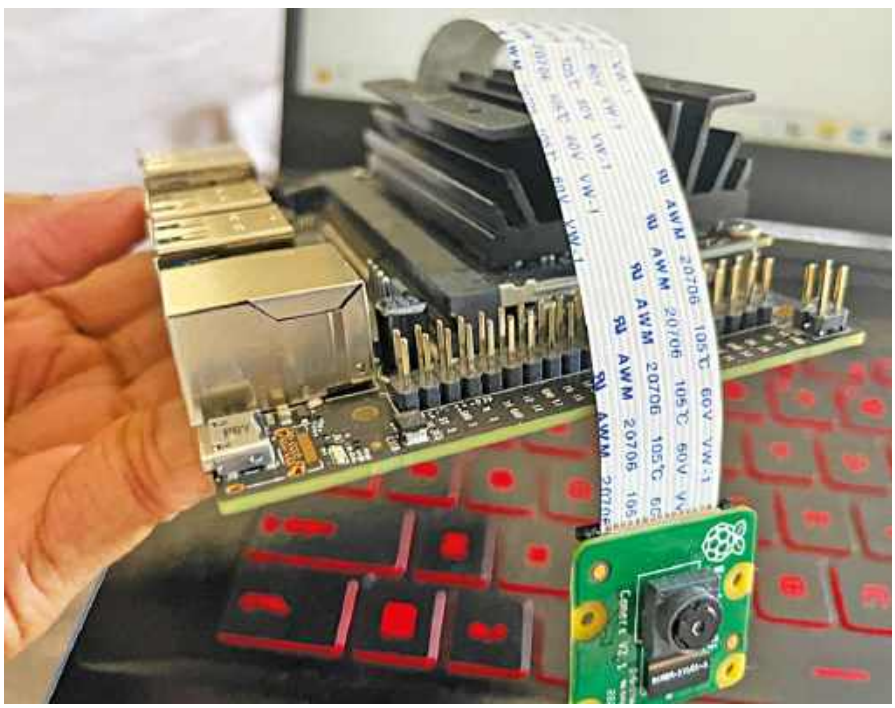
System antykolizyjny do pojazdów, część 2

Część pierwsza tego artykułu dotyczyła systemu dla pojazdów, ostrzegającego przed kolizją, opartego na lidarze i Raspberry Pi. W części drugiej kontynuujemy ten projekt. Zajmiemy się wykrywaniem samochodów i rozpoznawaniem pasów drogowych – elementami zaawansowanego systemu wspomagania kierowcy (ADAS) – przy użyciu systemu bazowego (SBC) lub Nvidia Jetson. Jeśli projekt ten ma służyć tylko celom edukacyjnym, można użyć Raspberry Pi z 2 GB lub 4 GB pamięci RAM. Oprócz elementów użytych w poprzednim projekcie potrzebne będą podzespoły wymienione w liście elementów.

Rysunek 1 pokazuje prototyp autora z kamerą podłączoną do SBC. **Rysunek 2** przedstawia testowanie prototypu systemu wykrywającego pasy ruchu.

System wymaga zasilania 5 V/4 A. Można je uzyskać z samego pojazdu. Do celów testowych można zasilić zestaw deweloperski NVIDIA Jetson z zasilacza USB 5 V/2 A. Z opcjami zasilania można się zapoznać pod linkiem https://forums.developer.nvidia.com/t/power-supply-considerations-for-jetson-nano-developer-kit/71637

Do zestawu NVIDIA Jetson można podłączyć kamerę ze specjalizowanym interfejsem szeregowym (CSI) i kablem taśmowym lub dowolną kamerę USB. Wyświetlacz podłączamy przez HDMI i zasilamy go z USB. Informacje na temat podłączenia lidaru można znaleźć w pierwszej części artykułu.



Rysunek 1. Kamera podłączona do SBC

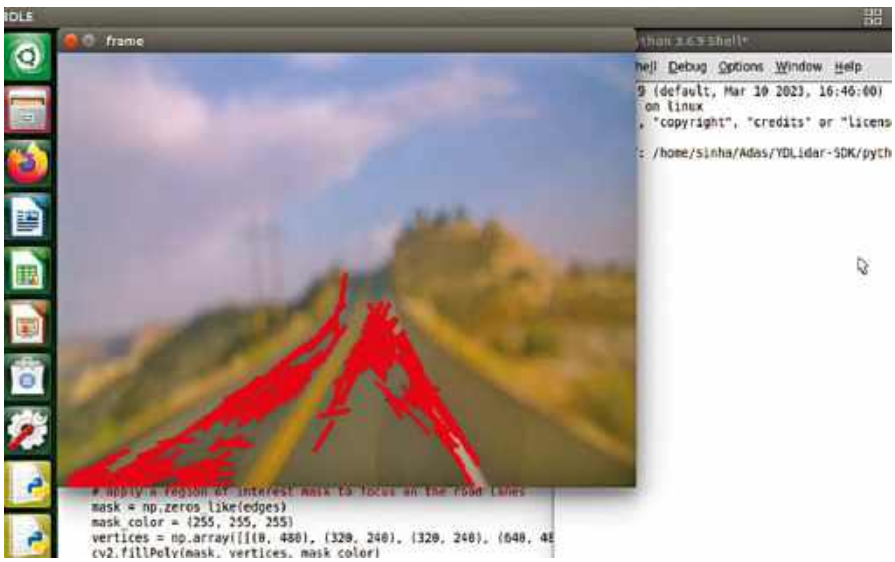
Oprogramowanie

Należy przygotować zestaw NVIDIA Jetson z systemem operacyjnym i Pythonem, korzystając z instrukcji podanych w linku https://developer.nvidia.com/embedded/learn/get-started-jetson-nano-devkit.

W terminalu Linux instalujemy bibliotekę wideo OpenCV, niezbędną w systemie ADAS do przetwarzania obrazu, a następnie bibliotekę Pythona NumPy. Użyjemy następujących poleceń:

```
sudo pip3 install opencv
sudo pip3 install numpy
```

Po tych czynnościach jesteśmy gotowi do pisania programu. Najpierw importujemy NumPy i OpenCV. Z pomocą OpenCV ustawiamy kamerę do tworzenia klatek wideo. Następnie tworzymy w programie pętlę przetwarzania klatek, w której będziemy wykrywać skraj drogi, pieszych i samochody. Przetwarzana klatka będzie pokazywana na wyświetlaczu dołączonym przez



Rysunek 2. Testowanie prototypowej wersji wykrywania pasa ruchu

eprasa.pl 5641c41152

Tabela 1. Lista elementów		
Element	**Liczba**	**Opis**
NVIDIA Jetson/Raspberry Pi	1	4 GB pamięci RAM
Kamera internetowa/kamera Raspberry Pi	1	do celów noktowizji (5...10 MP)
Karta SD	1	32/64 GB
Wyświetlacz HDMI, przekątna 17,8 cm (7 cali)	1	wyświetlacz HDMI

```
import cv2
import numpy as np

#cap = cv2.VideoCapture(0)  # initialize the camera
cap = cv2.VideoCapture("nvarguscamerasrc ! video/x-raw(memory:NVMM),format=NV12,

while True:
    _, frame = cap.read()  # read a frame from the camera
    frame = cv2.resize(frame, (640, 480))  # resize the frame

    # apply color thresholding to detect white and yellow lanes
    hsv = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2HSV)
    lower_white = np.array([0, 0, 200])
    upper_white = np.array([180, 30, 255])
    mask_white = cv2.inRange(hsv, lower_white, upper_white)
    lower_yellow = np.array([15, 50, 50])
    upper_yellow = np.array([30, 255, 255])
    mask_yellow = cv2.inRange(hsv, lower_yellow, upper_yellow)
    mask = cv2.bitwise_or(mask_white, mask_yellow)

    # apply Gaussian blur to reduce noise
    blur = cv2.GaussianBlur(mask, (5, 5), 0)
```

Rysunek 3. Fragment programu do przechwytywania i przetwarzania obrazu z kamery



Rysunek 4. Testy końcowe lidara i wykrywania pasa ruchu w systemie ADAS

HDMI. **Rysunek 3** przedstawia fragment kodu źródłowego do przechwytywania i przetwarzania obrazu z kamery.

Połączenie systemów antykolizyjnych z systemem utrzymywania pasa ruchu

W pierwszej części tego artykułu przedstawiono program do mapowania otoczenia lidarem i przeglądania mapy w czasie rzeczywistym, ostrzegający, w celu uniknięcia wypadku, gdy coś jest zbyt blisko pojazdu. Uruchomienie razem programów z części pierwszej i drugiej spowoduje wyświetlenie na wyświetlaczu HDMI zamontowanym na desce rozdzielczej pojazdu zarówno mapy lidarowej jak i wideo wykrywania pasa ruchu. Aby to zrealizować, użyjemy w Pythonie podprocesu (patrz niżej) i utworzymy dodatkowy program, który uruchomi jednocześnie oba skrypty Pythona. Wtedy, po podłączeniu lidaru z kamerą i zasileniu zestawu NVIDIA Jetson, można będzie uruchomić skrypt ADAS Python i oglądać wynik na ekranie wyświetlacza. **Rysunek 4** przedstawia końcowe testy lidaru i wykrywania pasa ruchu w systemie ADAS.

```
import podprocesu
subprocess.run("python3 script1.py &
python3 script2.py", shell=True)
```

Ashwini Kumar Sinha

Materiał filmowy do artykułu:
https://youtu.be/OmhhaI4TiQE

Strona projektu:
https://www.electronicsforu.com/electronics-projects/hardware-diy/raspberry-pi-lane-detection-system

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

Ten artykuł był wcześniej opublikowany na łamach „EFY", lipiec 2023 (efymag.com)

REKLAMA



eprasa.pl 5641c41152

ELEKTRONIKA dla wszystkich
nr 10/2025 (16)
JUNIOR


Marcel – Młodzi Entuzjaści Elektroniki, Zagroda Cudów, Trójca

Rozpoczął się nowy rok szkolny, a wraz z nim powróciła codzienność pełna zeszytów, podręczników i szkolnego gwaru. Trzeba pilnie notować to, co mówi nauczyciel, choć – jak wie każdy uczeń – nie zawsze jest to proste. Siedząc w ostatniej ławce łatwo stracić wątek, zwłaszcza gdy głos z przodu sali dociera już mocno przytłumiony. W takich chwilach marzy się o *Super Uchu*, które wychwyci nawet najcichszy szept i pozwoli zapisać każdą informację bez pomyłki.

Coś właśnie takiego zbudowali Juniorzy EdW podczas kolejnych zajęć w gościnnych murach Zagrody CUDów w Trójcy (https://tinyurl.com/ZagrodaCudow). Bohaterem spotkania był zestaw ***Super Ucho*** – **AVTEDU638** – prosty, a jednocześnie niezwykle praktyczny wzmacniacz mikrofonowy. Trzeba przyznać, że taki gadżet naprawdę przydałby się niejednemu uczniowi – szczególnie temu, który siedzi w ostatniej ławce i musi wytężać słuch, by nie zgubić żadnej ważnej informacji. Trudno przewidzieć, jak nauczyciel zareagowałby na słuchawki na uszach podczas lekcji. Na szczęście układ można pożytecznie wykorzystać też w wielu innych sytuacjach. Kreatywność na tym polu pozostawiamy najmłodszym konstruktorom.

Omówienie układu

Jak wspomniano, bohaterem dzisiejszej relacji z zajęć stacjonarnych jest zestaw do samodzielnego montażu o nazwie ***Super Ucho*** i kodzie **AVTEDU638**. Podobne urządzenia można spotkać na rynku pod nazwą Whisper – bywają one pomocą dla osób niedosłyszących. Zazwyczaj są to jednak konstrukcje monofoniczne, jednokanałowe. Ogromną zaletą prezentowanego w tym artykule zestawu jest to, że korzysta on z dwóch mikrofonów i zapewnia dźwięk w obu kanałach audio – osobno dla lewego i prawego ucha.

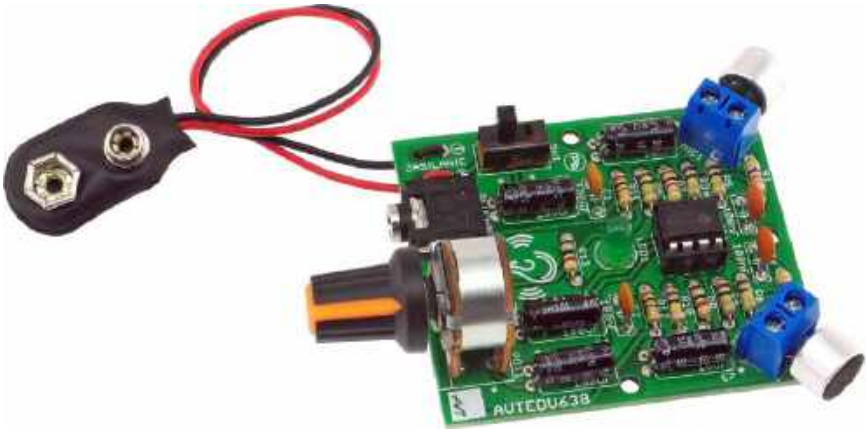
Układ *Super Ucho* został zbudowany w oparciu o popularny wzmacniacz operacyjny NE5532 oraz dwa mikrofony elektretowe, które pełnią rolę czułych „uszu" zestawu. W torze audio znalazło się kilka rezystorów i kondensatorów, które odpowiednio kształtują wzmocnienie i pasmo przenoszenia sygnału, a także kondensatory elektrolityczne separujące składową stałą. Regulację głośności umożliwia potencjometr, zaś dioda LED sygnalizuje obecność napięcia zasilania. Całość uruchamia się wygodnym włącznikiem, a źródłem energii jest bateria 9 V podłączana do płytki za pomocą standardowego przewodu ze złączem typu „kijanka". W odróżnieniu od wielu prostych konstrukcji monofonicznych zastosowano tu dwa niezależne kanały audio, co pozwala uzyskać efekt przestrzennego słyszenia i czyni urządzenie bardziej praktycznym w codziennym użyciu. Dodatkowo układ wyposażono w standardowe stereofoniczne gniazdo typu minijack, dzięki któremu można podłączyć własne, ulubione słuchawki.

Po podłączeniu baterii, założeniu słuchawek i ustawieniu potencjometru głośności w skrajnie lewym położeniu (minimum głośności) wystarczy włączyć zasilanie, aby po chwili cieszyć się wyraźnym nasłuchem otoczenia, którego głośność regulujemy pokrętłem według bieżących potrzeb.

Zmontowane urządzenie pokazano na **fotografii 2**.


Fotografia 1. Marcel podczas montażu zestawu *Super Ucho* (AVTEDU638). To już drugie zajęcia Juniorów EdW, które odbyły się w Zagrodzie CUDów w miejscowości Trójca pod Zgorzelcem

eprasa.pl 5641c41152



Fotografia 2. *Super Ucho* (kod AVTEDU638). Zmontowany układ

Omówienie schematu

Sercem *Super Ucha* jest wzmacniacz operacyjny NE5532 (IC1), ceniony w zastosowaniach audio za niski poziom szumów i dobre parametry brzmieniowe. Układ zawiera dwa wzmacniacze, dlatego każdy z nich obsługuje osobny mikrofon elektretowy (MIC1 i MIC2), tworząc w ten sposób niezależne kanały lewy i prawy.

Każdy mikrofon jest zasilany i polaryzowany poprzez rezystor (R1, R2), a sygnał audio, po przejściu przez kondensator separujący (C3, C4), trafia na wejście wzmacniacza operacyjnego. Rezystory i kondensatory (między innymi R3...R8 oraz C6 i C7) ustalają wzmocnienie i pasmo przenoszenia, zapewniając czytelny odsłuch sygnałów z otoczenia. Kondensatory elektrolityczne (C8, C9) oddzielają składową stałą od toru audio, dzięki czemu na wyjściu pojawia się czysty sygnał zmienny.

Wzmocniony dźwięk trafia następnie do standardowego stereofonicznego gniazda minijack 3,5 mm, pozwalającego podłączyć dowolne słuchawki. Regulację poziomu głośności umożliwia potencjometr (POT1), a obecność zasilania sygnalizuje dioda LED1. Zasilanie dostarczane jest z baterii 9 V, której pracę stabilizują kondensatory filtrujące (C1, C2 i C5).

Za chwilę omówię budowę tego układu w sposób bardziej szczegółowy, ale nie martw się – nie musisz od razu zostać profesorem elektroniki, żeby cieszyć się działającym *Super Uchem*. Jeśli teoria okaże się dla Ciebie zbyt zawiła, możesz ją po prostu przeskoczyć i od razu przejść do części praktycznej, gdzie krok po kroku opowiem, a nawet pokażę, jak wlutować kolejne elementy. Zrób to dokładnie tak, jak w opisie, a układ na pewno zadziała – bez czarów i bez doktoratu z elektroniki.

A jeśli jednak dasz się namówić na małą dawkę teorii, to kto wie – może odkryjesz w sobie radość z rozumienia, dlaczego coś działa, a nie tylko że działa. To trochę jak z ciastem: można je po prostu zjeść i cieszyć się smakiem, ale jeszcze fajniej jest wiedzieć, dlaczego rośnie w piekarniku i czemu nie należy pomylić cukru z solą.

Tak więc wybór należy do Ciebie – szybka ścieżka do lutownicy albo spokojna wycieczka w świat elektroniki. Obie drogi są dobre, a najważniejsze jest to, że na końcu i tak będziesz miał własne, działające *Super Ucho*.

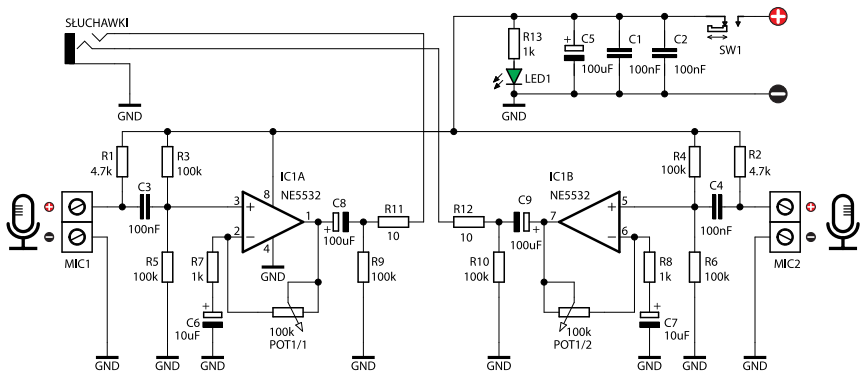
Schemat ideowy *Super Ucha* przedstawiono na **rysunku 1**, natomiast na **rysunku 2** znajduje się jego schemat montażowy. Ten drugi bywa szczególnie pomocny podczas składania zestawu, ponieważ pokazuje rozmieszczenie elementów na płytce drukowanej. Dzięki niemu łatwiej odnaleźć właściwe miejsce dla każdego rezystora czy kondensatora i upewnić się, że wszystkie połączenia wykonano prawidłowo. Trzeba jednak pamiętać, że ilustracja pokazuje tylko widok z góry. Tymczasem nasza płytka jest dwustronna – ścieżki znajdują się zarówno od strony górnej, jak i dolnej. Schemat montażowy nie pozwala zajrzeć „na wylot", dlatego przy zasłoniętych fragmentach najlepiej jest po prostu odwrócić płytkę w dłoni i sprawdzić rzeczywisty przebieg ścieżek. To szybki i niezawodny sposób, by rozwiać wszelkie wątpliwości.

Włącznik zasilania

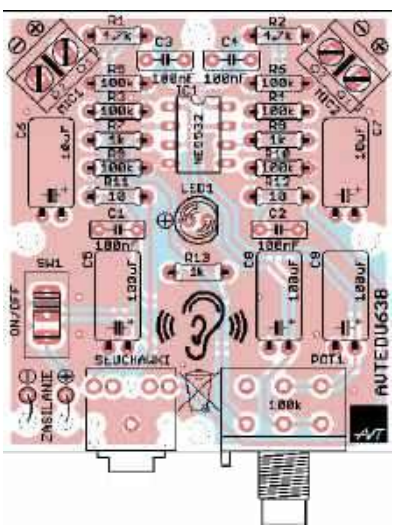
Zasilanie całego układu doprowadzane jest z baterii 9 V, podłączanej do płytki za pomocą standardowego przewodu ze złączem typu „kijanka". Dodatni biegun baterii trafia na **przełącznik** oznaczony jako **SW1**, który pełni tu rolę głównego wyłącznika. Dzięki niemu w prosty sposób decydujemy, kiedy układ pobiera energię, a kiedy pozostaje odłączony. Od razu po włączeniu zasilania zapala się zielona dioda LED1, sygnalizując gotowość zestawu do pracy.

Aby zapewnić stabilne napięcie, tuż za włącznikiem umieszczono kilka kondensatorów filtrujących (C1, C2 i C5). Wygładzają one wszelkie zakłócenia i sprawiają, że wzmacniacze operacyjne NE5532 mają idealne warunki do działania. To ważne, bo dzięki temu w słuchawkach słychać czysty dźwięk, bez przydźwięków czy nieprzyjemnych szumów.

Powtórzymy teraz zadanie z poprzedniego odcinka. Sposób obliczeń pozostaje ten sam, ale urządzenie jest inne, więc



Rysunek 1. Schemat ideowy układu



Rysunek 2. Schemat montażowy układu

eprasa.pl 5641c41152

i wyniki będą inne. Mnie (i może również Ciebie) ciekawi, jak długo nasze *Super Ucho* potrafi działać na jednej baterii – choćby tylko w teorii. Kto wie, może dzięki takim ćwiczeniom podobne zadanie na sprawdzianie z fizyki rozwiążesz bez trudu… i przypomnisz sobie ten moment z uśmiechem?

Pobór prądu przez *Super Ucho* zależy od wielu czynników, takich jak impedancja podłączonych słuchawek, wyregulowana potencjometrem POT1 głośność odsłuchu, oraz poziom dźwięku w otoczeniu. Przy ustawieniu głośności na maksimum i wywołaniu sprzężenia akustycznego układ pobierał ponad 40 mA. Podczas normalnej pracy układ pobiera około 20 mA i taką wartość przyjmiemy w zadaniu, nadto go nie komplikując.

Zadanie:

Elektroniczne *Super Ucho* po załączeniu przycisku SW1 pobiera z baterii w sposób ciągły średni prąd o natężeniu 20 mA. Zastosowano baterię typu 6F22 o napięciu nominalnym 9 V i pojemności 400 mAh. Oblicz po jakim czasie bateria się rozładuje.

Dane:

U=9 V

Q=400 mAh

I=20 mA=0,02 A

Obliczenia:

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:

$$1\ C=1\ A\cdot 1\ s$$

Iloczyn ampera z sekundą daje nam zatem kulomba.

Z kolei amperogodzinę daje nam iloczyn ampera z godziną:

$$1\ Ah=1\ A\cdot 1\ h$$

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:

$$Q=400\ mAh$$
$$Q=0{,}4\ Ah$$
$$Q=0{,}4\ A\cdot 1\ h$$
$$Q=0{,}4\ A\cdot 3600\ s$$
$$Q=1440\ C$$

Teraz już wystarczy odpowiednie dane wprowadzić do wzoru na czas, operującego na ładunku wyrażonym w kulombach:

$$t = \frac{Q}{I} = \frac{1440C}{0{,}02A} \approx 72000s$$

Wiedząc, że 1 h=3600 s, można z proporcji obliczyć wartość w godzinach:

$$1\ h=3600\ s$$
$$x\ h=72000\ s$$

$$x = \frac{72000s\cdot 1h}{3600s} = 20h$$

Odpowiedź:

Jedna bateria 6F22 powinna starczyć w typowych warunkach na około 20 godzin ciągłej pracy układu *Super Ucho*.

W zadaniu o to nie zapytano, ale na pewno pamiętasz, z poprzedniego naszego spotkania, że gdyby odłączyć baterię od układu, mimo, że **prąd w ogóle nie będzie z niej pobierany**, podobnie jak każde ogniwo chemiczne, ulegnie ona z czasem **samorozładowaniu**. Wewnątrz ogniwa 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.

Filtracja zasilania

Kondensatory C1, **C2** i **C5** pełnią ważną rolę w stabilizacji zasilania całego układu. C1 i C2 to kondensatory ceramiczne o niewielkiej pojemności (100 nF), których zadaniem jest tłumienie szybkich zakłóceń i impulsów wysokoczęstotliwościowych mogących pojawiać się na przewodach zasilających. Kondensator elektrolityczny C5 o dużej pojemności (100 µF) filtruje wolniejsze wahania napięcia i chwilowe spadki związane z poborem prądu przez wzmacniacze operacyjne. Wspólnie te elementy tworzą skuteczny układ odsprzęgający, dzięki któremu NE5532 pracuje stabilnie, bez podatności na przydźwięk sieciowy czy zakłócenia generowane przez inne urządzenia.

Sygnalizacja obecności zasilania

Za kondensatorami filtrującymi napięcie zasilania znajduje się dioda **LED1** dołączona do napięcia zasilania za pomocą rezystora **R13** o wartości 1 kΩ. Prąd w tej gałęzi płynie 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.

Zakładając, że na standardowej zielonej diodzie LED w trakcie jej świecenia powinno odłożyć się napięcie o wartości 2,2 V, oraz wiedząc, że zastosowano rezystor szeregowy o wartości 1 kΩ, doświadczony Junior, który uczestniczył w poprzednich spotkaniach szybko wyliczy, że na rezystorze odłoży się napięcie o wartości 6,8 V, bo tyle wynosi różnica pomiędzy napięciem zasilania (9 V) i spadkiem napięcia spodziewanym na świecącej, zielonej diodzie LED (2,2 V). A skoro na rezystorze o wartości 1 kΩ odłoży się napięcie o wartości 6,8 V to z wzoru na prawo Ohma w głowie można policzyć, że przez rezystor, a także przez diodę LED1 (bo innej drogi prąd tutaj nie ma) popłynie prąd o wartości równej 0,0068 A czyli 6,8 mA, bo taki jest wynik z dzielenia napięcia o wartości 6,8 V przez rezystancję 1 kΩ, czyli 1000 Ω. Dla Ciebie to już pewnie intuicja, drobnostka i oczywista oczywistość. Ale gdybyś miał o tym opowiedzieć koledze z młodszej klasy, który może i lubi fizykę, ale do działu o elektryczności jeszcze nie dotarł? Na jakie prawa i jakie wzory byś się powołał?

Zadanie mogłoby brzmieć w sposób następujący:

Zadanie:

Policz, jaki prąd popłynie przez diodę LED1 z szeregowo połączonym rezystorem R13 o wartości 1 kΩ, przyjmując, że gałąź ta zasilana jest z baterii o napięciu nominalnym 9 V. Załóż, że całkowity prąd z baterii płynie w gałęzi z diodą LED, a spadek napięcia na zastosowanej zielonej diodzie LED wynosi 2,2 V. Pozostałe gałęzie zaniedbaj.

Takie zadanie byłoby dla Ciebie zbyt oczywiste. Niemal identyczne rozwiązałeś na poprzednim spotkaniu. Obliczenia do dzisiejszego zdążyłeś przeprowadzić w głowie, stosując prawa fizyki, o których nawet nie zdążyłeś pomyśleć. Aby nie zrobiło się nazbyt nudno, dzisiaj nic więcej nie licz. Zastanów się tylko, z jakich praw skorzystałeś (i nawet o tym nie pomyślałeś).

Zadanie:

Z jakich praw fizyki i w jakiej kolejności z nich skorzystasz, aby policzyć, jaki prąd

eprasa.pl 5641c41152

popłynie przez diodę LED1 z szeregowo połączonym rezystorem R13 o wartości 1 kΩ, przyjmując, że gałąź ta zasilana jest z baterii o napięciu nominalnym 9 V. Załóż, że całkowity prąd z baterii płynie w gałęzi z diodą LED, a spadek napięcia na zastosowanej zielonej diodzie LED wynosi 2,2 V. Pozostałe gałęzie zaniedbaj. Nie wykonuj obliczeń.

Odpowiedź:

Aby policzyć, jaki prąd popłynie przez zieloną diodę LED (na której – zgodnie z treścią zadania – odłoży się napięcie 2,2 V) z rezystorem szeregowym (1 kΩ), przy znanym napięciu (9 V) trzeba odwołać się do trzech podstawowych praw opisujących obwody elektryczne:

1. Pierwsze prawo Kirchhoffa (prawo prądów)

Prawo to mówi, że „dla każdego węzła w obwodzie suma prądów wpływających jest równa sumie prądów wypływających". Innymi słowy, prąd w obwodzie nie ginie ani nie pojawia się znikąd – jeśli gdzieś wpływa, to musi też wypłynąć.

W naszym przypadku w gałęzi z diodą i rezystorem nie ma żadnych rozgałęzień, czyli wszystko, co wypływa z baterii, przepływa przez rezystor, a następnie przez diodę LED. Dzięki temu wiemy, że prąd w obu elementach jest taki sam.

2. Drugie prawo Kirchhoffa (prawo napięć)

To prawo mówi, że „suma napięć źródeł w zamkniętym oczku obwodu jest równa sumie spadków napięć na elementach znajdujących się w tym oczku".

Mówiąc prościej: całe napięcie dostarczane przez baterię musi „rozdzielić się" pomiędzy elementy, przez które płynie prąd. W naszym przypadku bateria 9 V zasila gałąź, w której są tylko dwa elementy: dioda LED i rezystor. Wiemy, że na zielonej diodzie LED odkłada się około 2,2 V, więc reszta napięcia baterii musi przypaść na rezystor. Dzięki temu umiemy ustalić, jakie napięcie panuje na rezystorze.

3. Prawo Ohma

To jedno z najprostszych i najważniejszych praw w elektronice. Mówi ono, że „prąd płynący przez rezystor jest równy napięciu przyłożonemu do jego końców podzielonemu przez wartość rezystancji". Zapisuje się to równaniem:

$$I = \frac{U}{R}$$

Znając napięcie, które odłoży się na rezystorze (wyznaczone dzięki drugiemu prawu Kirchhoffa), i jego wartość – 1 kΩ – możemy z prawa Ohma obliczyć, ile dokładnie prądu płynie w całym obwodzie, a tym samym przez diodę LED. Należy tylko pamiętać o tym, by użyć wartości towarzyszącej jednostce podstawowej (1 kΩ to 1000 Ω i taką wartość – 1000 Ω – należy podstawić do wzoru).

Podsumowując:

Najpierw korzystamy z pierwszego prawa Kirchhoffa, aby dowieść, że prąd płynący przez rezystor i przez diodę jest taki sam. Potem z drugiego prawa Kirchhoffa, by ustalić, jak dzieli się napięcie baterii między diodę i rezystor. Na końcu stosujemy prawo Ohma, aby z tego napięcia i rezystancji policzyć wartość prądu.

Wierzę, że wynik miałeś w głowie niemal od samego początku, ale czy zdawałeś sobie sprawę, że po drodze skorzystałeś aż z trzech praw fizyki? Pewnie nie, a to by znaczyło, że masz je w małym paluszku!

Gdybyś jednak miał jakiekolwiek wątpliwości dotyczące tego zadania, sięgnij po treść recenzji zajęć Juniorów z poprzedniego spotkania (EdW 9/2025). Tam niemal identyczne zadanie zostało rozwiązane w całości, z uwzględnieniem wszystkich wzorów i liczb.

Brak ochrony przed odwrotną polaryzacją

Na schemacie *Super Ucha* (rysunek 1), w szeregu z włącznikiem SW1, nie ma diody chroniącej układ przed skutkami podłączenia zasilania o odwrotnej polaryzacji. Na pierwszy rzut oka mogłoby to wyglądać na niedopatrzenie, w rzeczywistości jednak było to najpewniej świadome działanie konstruktora. Każda dioda włączona w szereg z zasilaniem powoduje spadek napięcia – około 0,7 V w przypadku diody krzemowej i 0,3 V w przypadku Schottky'ego. Przy zasilaniu z baterii 9 V i zastosowanym układzie NE5532, każdy dodatkowy ułamek wolta może okazać się istotny. Gdyby diodę dodano, wzmacniacze operacyjne szybciej osiągnęłyby próg, poniżej którego nie pracują poprawnie, a urządzenie wyłączałoby się wcześniej, mimo że bateria wciąż zawierałaby zapas energii. Rezygnacja z diody nie zmniejsza wprawdzie poboru prądu, ale eliminuje spadek napięcia i dzięki temu opóźnia moment, w którym układ przestaje działać. Konstruktor zapewne uznał więc, że ważniejsze od dodatkowego zabezpieczenia jest zapewnienie możliwie dużego napięcia roboczego, co przekłada się zarówno na lepsze parametry akustyczne, jak i na dłuższy czas użytecznej pracy urządzenia. Zerknijmy więc w notę katalogową układu NE5532 i sprawdźmy jak kwestie napięcia zasilania mają się do wymagań zastosowanego wzmacniacza.

Zasilanie wzmacniacza NE5532

Spoglądając w notę katalogową układu NE5532 od producenta Texas Instruments (https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ne5532.pdf) można mieć wątpliwości czy układ będzie działał poprawnie z pojedynczej baterii 9 V, ponieważ producent jako zalecane minimalne napięcie pracy podaje ±5 V (czyli 10 V między szynami).

Ale... producenci czasami publikują różne wersje not katalogowych dla tego samego układu. Na przykład japoński producent Nisshinbo Micro Devices Inc. – dawniej NJR, JRC – w dokumentacji NJM5532 (https://www.nisshinbo-micro-devices.co.jp/en/pdf/datasheet/NJM5532_E.pdf) podaje zakres pracy ±3 V...±22 V, czyli od 6 V przy zasilaniu pojedynczym, a w nocie od ON Semoconductor (https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/ne5532-d.pdf) znajdziemy informację o dopuszczalnym przedziale napięć ±3 V...±20 V (czyli również od 6 V przy zasilaniu pojedynczym). Jak widać większość źródeł wskazuje, że 9 V z zastosowanej baterii mieści się z zapasem w specyfikacji układu.

Sztuczna masa, czyli o zasilaniu wzmacniacza z pojedynczej baterii

Jeśli zastanawiasz się, jak to jest, że w specyfikacji wzmacniacza jest mowa o zasilaniu symetrycznym, na przykład ±3 V, a konstruktorowi udało się zasilić *Super Ucho* z pojedynczej baterii 9 V, już spieszę z wyjaśnieniem. W nocie katalogowej NE5532 producenci zwykle opisują pracę układu przy zasilaniu symetrycznym, na przykład –3 V i +3 V, czyli takim, w którym wzmacniacz dostaje napięcie zarówno dodatnie jak i ujemne względem zera (masy). W praktyce jednak nie trzeba mieć dwóch źródeł zasilania, a cały układ zasilić pojedynczym napięciem o wartości 6 V albo – tak, jak w naszym przypadku – z jednej baterii 9 V. W tym projekcie zrobiono to bardzo prosto: dwa jednakowe rezystory (R3 i R5 w jednym kanale, R4 i R6 w drugim) dzielą napięcie baterii na pół i tworzą punkt odniesienia o wartości około 4,5 V.

Ten punkt pełni rolę sztucznej, „wirtualnej" masy i na nim ustawiony jest sygnał wejściowy, tak że wzmacniacz widzi napięcie zarówno powyżej, jak i poniżej środka zasilania.

Należy zauważyć, że powyższe dzielniki napięcia nie „tworzą nowego zasilania" dla układu scalonego, tylko ustawiają punkt pracy na wejściach nieodwracających

eprasa.pl 5641c41152

wzmacniaczy operacyjnych. Dzięki temu sygnał audio, który jest przemienny, zostaje „uniesiony" do połowy napięcia zasilania (około 4,5 V). Wzmacniacz zasilany napięciem 9 V może wówczas prawidłowo przetwarzać przebiegi zmienne, bo nie próbują one „zejść" poniżej masy, czego układ nie potrafiłby obsłużyć.

Dzielnik napięcia

O dzielniku napięcia wspominałem szerzej podczas dwunastego spotkania Juniorów (EdW 6/2025), kiedy składaliśmy *Przypominacz świetlno-dźwiękowy* (AVTEDU646). Tam prosty układ dwóch rezystorów na wejściu mikrokontrolera pozwalał – za pomocą kilku przełączników zmieniających wartość drugiego rezystora – ustawiać różne poziomy napięcia na pojedynczym wejściu analogowym, a więc wybierać różne opcje bez zajmowania kolejnych pinów.

W rzeczywistości z dzielnika korzystaliśmy już wiele razy i w różnych rolach: w *Zmierzchowej lampce LED* (AVTEDU622), *Wściekłym byku LED* (AVTEDU629), *Termo-Strażaku* (AVTEDU649), *Stroboskopie dyskotekowym LED* (AVTEDU641) oraz oczywiście we wspomnianym *Przypominaczu świetlno-dźwiękowym* (AVTEDU646). Będziemy do niego wracać niemal w każdym kolejnym projekcie.

Warto więc dobrze rozumieć zasadę jego działania: dwa rezystory połączone szeregowo między plus zasilania a masę „dzielą" napięcie w punkcie połączenia w proporcji ich wartości. Taki punkt może służyć jako odniesienie (wirtualna masa), próg zadziałania czujnika albo wygodny sposób wyboru ustawień. Jeśli umiemy przewidzieć, jakie napięcie tam się ustali i co zmieni się po doborze innych rezystorów, zyskujemy bardzo potężne, a jednocześnie proste narzędzie projektowe.

Napięcie, które pojawia się w punkcie połączenia rezystorów i zależy od **stosunku** ich wartości, a nie od absolutnych liczb. Opisuje to wzór:

$$U_{dzielnika} = U_{zasilania} \cdot \frac{R_{dolny}}{R_{gorny}+R_{dolny}}$$

gdzie (we wzorze powyżej):

- $U_{zasilania}$ to napięcie zasilania wpływające za pomocą rezystora $R_{górny}$ i wypływające do masy za pośrednictwem rezystora R_{dolny}.
- $U_{dzielnika}$ to napięcie z zakresu pomiędzy masą (0 V) i napięciem wejściowym $U_{zasilania}$, które ustali się na styku rezystorów $R_{górny}$ i R_{dolny}.

Jeśli oba rezystory będą miały tę samą wartość, napięcie zawsze podzieli się na pół.

Na schemacie z rysunku 1 interesują nas dzielniki złożone z rezystorów R3 i R5 (odpowiednio R4 i R6).

Zadanie:

Oblicz jakie napięcie ustali się na dzielniku zbudowanym z dwóch rezystorów R3 i R5 o jednakowej wartości 100 kΩ każdy. Dzielnik zasilono napięciem 9 V.

Obliczenia:

Jest to klasyczny dzielnik napięcia, w którym oba rezystory mają taką samą wartość. Podstawiając liczby do wzoru na dzielnik napięcia mamy:

$$U_{dzielnika} = U_{zasilania} \cdot \frac{R_{dolny}}{R_{gorny}+R_{dolny}} =$$

$$9V \cdot \frac{100k\Omega}{100k\Omega+100k\Omega} =$$

$$9V \cdot \frac{100k\Omega}{200k\Omega} = 9V \cdot \frac{1}{2} = 4,5V$$

Odpowiedź:

Jeśli oba rezystory będą miały tę samą wartość, napięcie zawsze podzieli się na pół. Na dzielniku zbudowanym z dwóch rezystorów R3 i R5 o jednakowej wartości 100 kΩ każdy i zasilonym napięciem 9 V ustali się napięcie równe 4,5 V.

Warto dodać, że wejście NE5532 obciąża dzielnik znikomo (prądy punktu pracy są bardzo małe), więc ustali się tam napięcie rzeczywiście bardzo bliskie wartości 4,5 V.

Zasilanie mikrofonów elektretowych

Mikrofony elektretowe zastosowane w *Super Uchu* wymagają polaryzacji prądem stałym, aby wewnętrzny tranzystor mógł pracować poprawnie. Realizują to rezystory **R1** i **R2**, które podają napięcie zasilania na wyprowadzenia mikrofonów. Z tego powodu na ich wyjściu pojawia się zarówno sygnał zmienny powstający pod wpływem dźwięku, jak i składowa stała pochodząca z napięcia polaryzacji. Ta druga jest później odcinana przez kondensatory sprzęgające C3 i C4.

Kondensator w roli zapory dla prądu stałego

Jak być może pamiętasz, kondensator to dwa przewodniki oddzielone dielektrykiem. Między nimi nie ma przepływu elektronów „na stałe", więc prąd stały nie może się przez niego przedostać – kondensator się naładuje i dalszy przepływ ustanie. Jeśli jednak napięcie zaczyna się zmieniać (sygnał zmienny), ładunek na okładkach kondensatora również musi się zmieniać. To wywołuje ruch elektronów w obwodzie zewnętrznym i powoduje, że dla przebiegów zmiennych kondensator zachowuje się jak przewodnik. Dlatego mówimy, że kondensator blokuje (eliminuje) składową stałą, a przepuszcza zmienną.

Eliminacja składowej stałej na wyjściu mikrofonu

Mikrofon elektretowy, by w ogóle mógł działać, wymaga polaryzacji prądem stałym – przez rezystor. Dlatego na wyjściach mikrofonów, oprócz sygnału akustycznego, pojawia się też składowa stała. Gdyby wpuścić ją bezpośrednio do wzmacniacza, punkt pracy układu mógłby się przesunąć w niekontrolowany sposób i wzmacniacz działałby nieprawidłowo (np. sygnał zostałby obcięty). Kondensator **C3** w pierwszym kanale (oraz **C4** w drugim) sprawia, że do wzmacniacza trafia tylko to, co się zmienia – czyli czysty sygnał dźwiękowy – a nie napięcie polaryzujące mikrofon.

Eliminacja składowej stałej na wyjściu wzmacniacza

Sygnał akustyczny powstaje ze zmian napięcia poniżej i powyżej wartości 4,5 V, czyli połowy napięcia zasilania. To napięcie stałe jest obecne także na wyjściu wzmacniacza. Gdyby podać je bezpośrednio na słuchawki, przepływałby przez nie prąd stały, co powodowałoby szumy i zniekształcenia, a po pewnym czasie niemal na pewno uszkodziłoby głośniczki. Kondensatory **C8** (pierwszy kanał) i **C9** (drugi kanał) odcinają tę składową stałą, więc do słuchawek dociera już tylko sygnał audio.

Tor sprzężenia zwrotnego

Sprzężenie zwrotne to sygnał pobrany z wyjścia wzmacniacza i ponownie podany na jego wejście. Dzięki niemu układ pracuje stabilnie, a wzmocnienie ma jasno określoną wartość, zamiast rosnąć w sposób niekontrolowany. W układzie *Super Ucha* oprócz właściwego toru sprzężenia zwrotnego zastosowano dodatkową gałąź złożoną z rezystora **R7** (odpowiednio **R8** w drugim kanale) i kondensatora **C6** (odpowiednio **C7**), która łączy wejście odwracające z masą. Kształtuje ona charakterystykę częstotliwościową i zapewnia stabilną pracę układu.

Regulacja głośności

W praktyce o sile sprzężenia zwrotnego decyduje potencjometr **POT1**, który pełni rolę regulatora głośności. Im większa część sygnału z wyjścia zostaje doprowadzona na wejście odwracające, tym mniejsze jest wzmocnienie. Zmieniając nastawę potencjometru, regulujemy, jak duża

eprasa.pl 5641c41152

część sygnału wyjściowego trafia na wejście odwracające, a tym samym jak mocno wzmacniacz powiększa sygnał z mikrofonu. Ponieważ POT1 jest potencjometrem podwójnym, jednym pokrętłem sterujemy równocześnie oboma kanałami: lewym i prawym.

Ustalenie punktu odniesienia na wyjściu

Rezystory o dużej wartości **R9** i odpowiednio **R10** pełnią rolę upływową dla kondensatorów sprzęgających znajdujących się na wyjściu. Dzięki nim napięcie po stronie wyjściowej kondensatora ma odniesienie do masy, co stabilizuje punkt pracy i zapobiega niekontrolowanemu dryfowi. Brak takiej ścieżki upływu mógłby skutkować trzaskami w słuchawkach oraz innymi zakłóceniami podczas podłączania lub pracy układu.

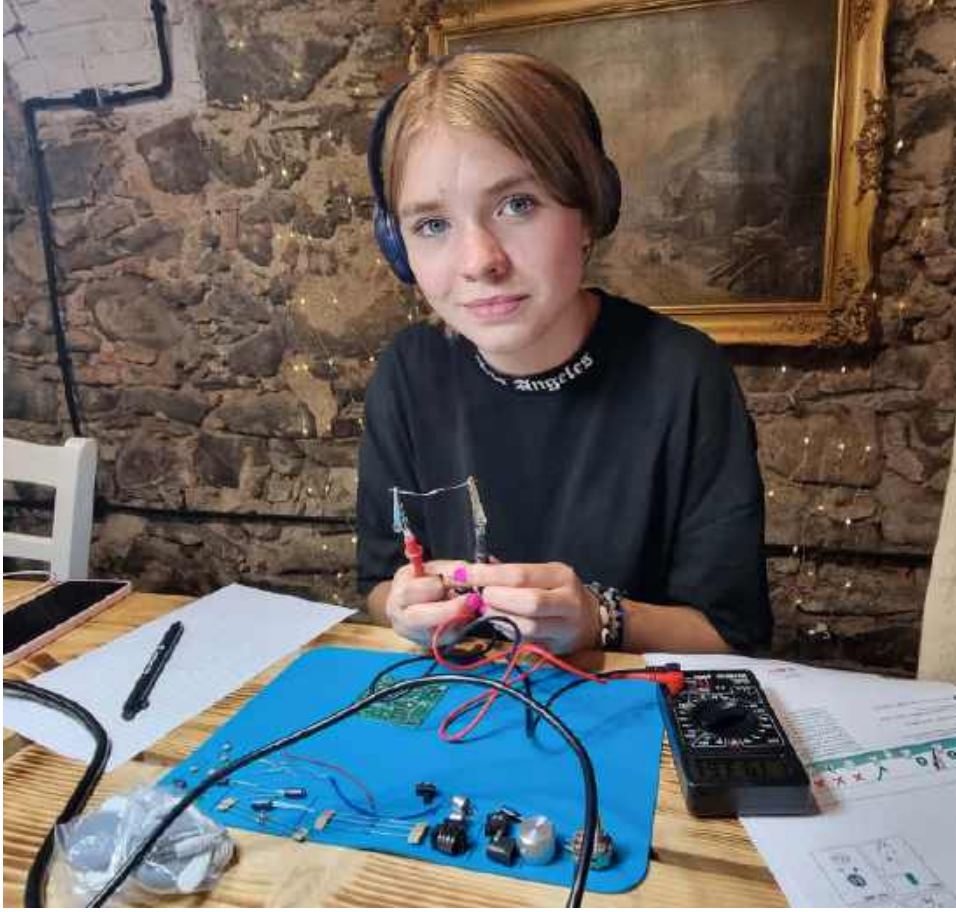
Rezystory ochronne na wyjściu

Niewielkie rezystory szeregowe **R11** i odpowiednio **R12** pełnią funkcję zabezpieczenia i stabilizacji. Chronią wzmacniacz operacyjny przed skutkami podłączenia obciążenia o dużej pojemności, jak na przykład długi przewód słuchawkowy, a także zmniejszają ryzyko wzbudzeń na wysokich częstotliwościach. Dodatkowo ograniczają prądy zwarciowe w przypadku niepożądanych sytuacji, co zwiększa bezpieczeństwo i niezawodność pracy całego toru audio.

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 elektrolity. 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.



Fotografia 3. Natalia ułatwiła sobie pracę z multimetrem, wykorzystując krokodylki. Młodzi Entuzjaści Elektroniki – Zagroda CUDów, Trójca

Montaż rezystorów

Zgodnie ze schematem i wykazem elementów w zestawie powinno znajdować się trzynaście rezystorów: dwie sztuki o wartości 4,7 kΩ (zamontuj je na pozycjach R1 i R2), sześć sztuk o wartości 100 kΩ (R3…R6, R9 i R10), trzy rezystory o wartości 1 kΩ (R7, R8 i R13) oraz dwa rezystory o wartości 10 Ω – te należy zamontować na pozycjach R11 i R12.

Na początku warto podzielić rezystory na cztery grupy (4,7 kΩ, 100 kΩ, 1 kΩ oraz 10 Ω), kierując się ich wyglądem – przede wszystkim kolorowym kodem paskowym. Następnie można odczytać wartości dla każdej grupy, posługując się kodem paskowym lub multimetrem. W pierwszej metodzie przyda się dobry wzrok oraz ściąga z zestawieniem kolorów pasków i odpowiadających im wartości. Druga metoda wydaje się nieco prostsza – pod warunkiem, że masz do dyspozycji multimetr uniwersalny i potrafisz się nim posługiwać. Dużym ułatwieniem mogą okazać się krokodylki nałożone na zakończenia sond multimetru. Posłużyła się nimi również Natalia, która podczas naszych zajęć wyprzedziła chłopaków i jako pierwsza zbudowała w pełni działający egzemplarz *Super Ucha* (**fotografia 3**).

Gdyby pomiar rezystorów stanowił dla Ciebie 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. Kierunek montażu pozostaje dowolny. Na **fotografii 4** 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.

eprasa.pl 5641c41152

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.

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 5a**, 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 5b**.



Rysunek 3. Właściwe miejsce cięcia nadmiaru wyprowadzeń po przylutowaniu komponentu. Po wykonaniu cięcia spoina powinna pozostać nienaruszona

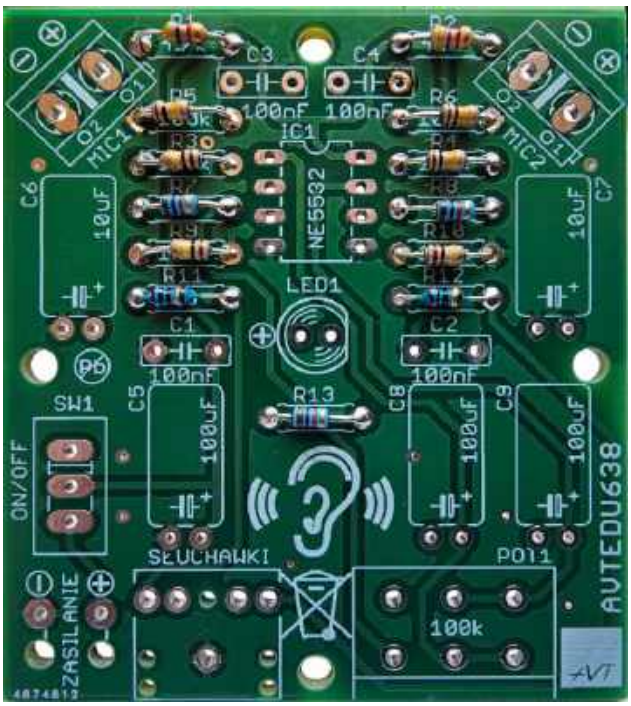
Nadmiar wyprowadzeń obetnij przy użyciu obcinaczek. Pamiętaj, aby nie ścinać lutu – cięcie wykonuj dopiero za miejscem, w którym kończy się spoina i wystaje samo wyprowadzenie (**rysunek 3**).

Alternatywny sposób montażu rezystorów

W trakcie zajęć stacjonarnych uczestnicy nierzadko proponują własne rozwiązania, które upraszczają montaż, zwiększają jego efektywność i podnoszą estetykę wykonania. Tak też stało się podczas dwunastego spotkania Juniorów EdW, opisanego w EdW 6/2025. Kolega Dawid zaproponował wtedy ciekawy sposób montażu rezystorów, który eliminuje dwie typowe niedogodności klasycznej metody: konieczność zaginania wyprowadzeń utrudniającą późniejszy ewentualny demontaż oraz „las nóżek" po stronie lutowania, utrudniający manewrowanie grotem.

Zamiast klasycznego montażu płytka została unieruchomiona poziomo w stojaku, a rezystory włożone zostały w otwory. Siła grawitacji utrzymywała je na miejscu, więc można je było od razu przylutować od góry – do pierścieni miedzi na płytce wokół otworów. Po odcięciu nadmiaru wyprowadzeń od spodu elementy trzymały się idealnie, a montaż był schludny i przejrzysty.

Metoda ta sprawdza się wyłącznie w przypadku płytek z metalizacją otworów (miedź po obu stronach lub płytki wielowarstwowe). Tak właśnie jest w przypadku płytki do *Super Ucha*, dlatego i tu bardzo polecam zastosować taką metodę.



Fotografia 4. 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

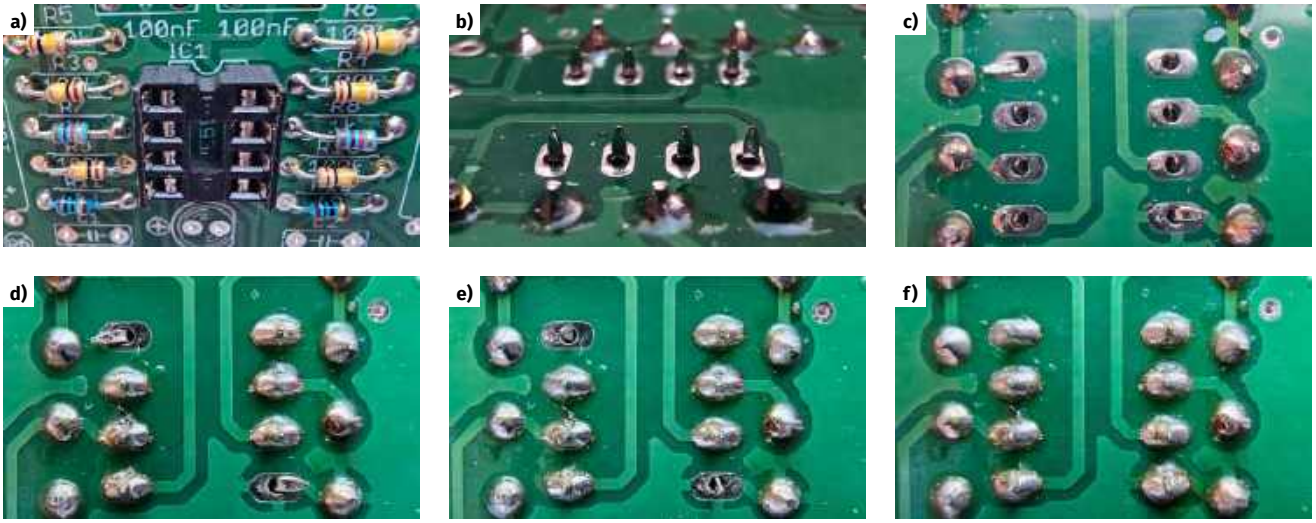
Montaż podstawki pod układ scalony IC1

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 (**fotografia 6b**), a następnie rozegnij na boki dwa skrajne wyprowadzenia po przekątnej (**fotografia 6c**), by podstawka nie wypadła z płytki po jej odwróceniu. Następnie przylutuj wszystkie prostopadłe do płytki wyprowadzenia (**fotografia 6d**), a po ich przylutowaniu wyprostuj (ustaw pionowo względem płytki)



Fotografia 5. 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; c) widok płytki po stronie lutowania, po ucięciu nadmiaru wyprowadzeń przylutowanych wcześniej komponentów

eprasa.pl 5641c41152



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; c) rozegnij na boki dwa skrajne wyprowadzenia po przekątnej, aby podstawka nie wypadła z płytki po jej odwróceniu; d) przylutuj wszystkie prostopadłe do płytki wyprowadzenia; e) po ich przylutowaniu wyprostuj (ustaw pionowo) dwa pozostałe; f) przylutuj wyprostowane wyprowadzenia do płytki

dwa pozostałe (**fotografia 6e**). Na koniec przylutuj dwa wyprostowane wyprowadzenia do płytki (**fotografia 6f**).

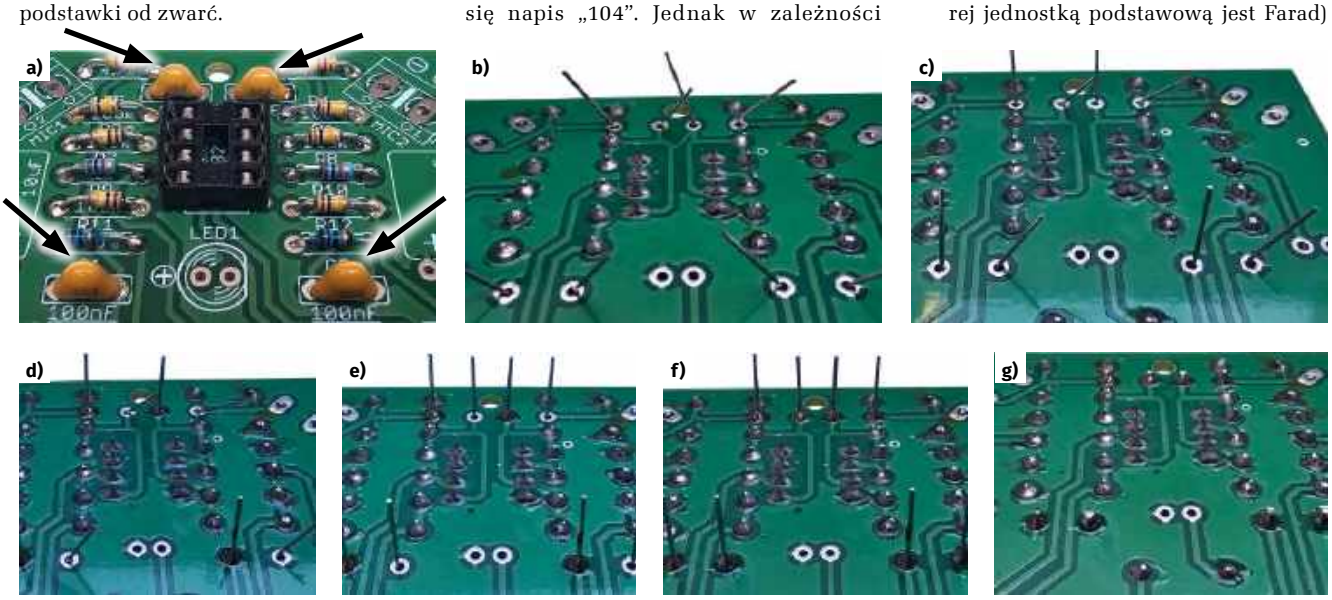
Podczas lutowania pinów do płytki staraj się, by pomiędzy lutowanymi wyprowadzeniami nie powstały niechciane połączenia, czyli zwarcia, zwane również mostkami lutowniczymi. Jeśli podczas lutowania pojawią się zwarcia, najłatwiej będzie, trzymając płytkę jedną ręką, ustawić ją pod kątem prostym względem 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 sugerowanym do zamontowania w następnej kolejności są kondensatory C1...C4, wszystkie 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 wszystkie mają taką samą wartość i sprawdzić, czy pokrywa się ona z tą zadeklarowaną na wykazie komponentów.

Na obudowie kondensatora o wartości 100 nF (**fotografia 7a**) 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” –> „0 µ1” –> „0,1 µ”). Ponieważ mówimy o kondensatorach, a więc o pojemności, których jednostką jest F (Farad), domyślamy się, że „0,1 µ” –> „0,1 µF”. Żeby z wartości podanej w mikrofaradach uzyskać wartość w nanofaradach, należy wartość w mikrofaradach pomnożyć przez tysiąc.
- W przypadku opisu pojemności (której jednostką podstawową jest Farad)



Fotografia 7. Montaż kondensatorów ceramicznych C1...C4: a) kierunek montażu jest obojętny. Na obudowie kondensatora widać napis „104”, informujący o pojemności 10 i 4 zera pikofaradów (100000 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; g) obetnij nadmiar wyprowadzeń

eprasa.pl 5641c41152

„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...C4, aby w przyszłości można je było łatwo wymienić. **Fotografia 7g** pokazuje zamontowane elementy C1...C4 po obcięciu nadmiaru wyprowadzeń.

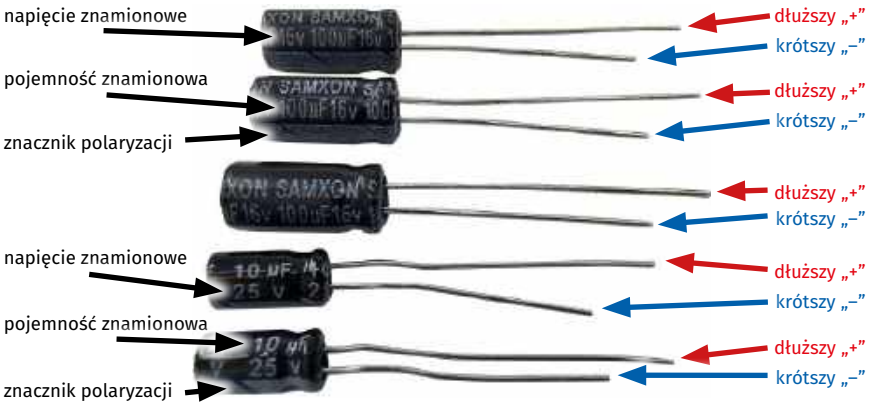
Nadmiar wyprowadzeń obetnij przy użyciu obcinaczek. Pamiętaj, aby nie ścinać lutu – cięcie wykonuj dopiero za miejscem, w którym kończy się spoina i wystaje samo wyprowadzenie (rysunek 3).

Montaż kondensatorów elektrolitycznych

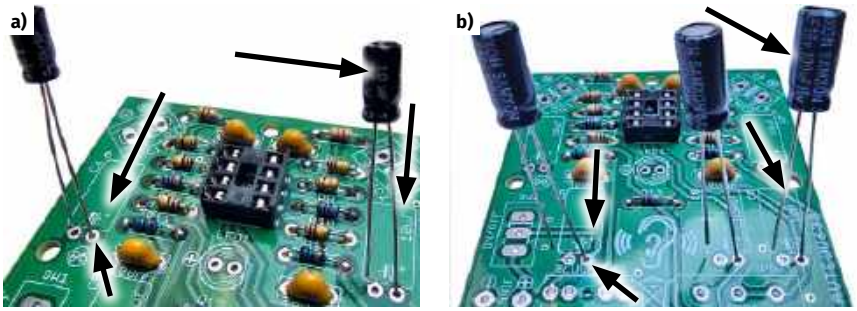
W prezentowanym zestawie znajdziemy dwa typy kondensatorów elektrolitycznych. Dwa z nich to kondensatory o pojemności 10 µF (C6 i C7) a trzy kolejne mają pojemność 100 µF (C5, C8 i C9). Pojemności danego kondensatora można odczytać bezpośrednio z jego obudowy, obok informacji o dopuszczalnym napięciu pracy. W moim egzemplarzu znalazłem kondensatory 10 µF na napięcie 25 V oraz 100 µF na napięcie 16 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: 25 V dla kondensatorów o pojemności 10 µF oraz 16 V dla kondensatorów o pojemności 100 µF) określa natomiast górną granicę napięcia, jakie można bezpiecznie (pod warunkiem zachowania właściwej polaryzacji) przyłożyć do kondensatora, bez ryzyka jego uszkodzenia. Nasz układ pracuje przy napięciu nominalnym baterii 9 V, więc zapas



Fotografia 8. Na korpusach dołączonych do zestawu kondensatorów elektrolitycznych odnajdziesz – między innymi – informacje o nominalnych pojemnościach oraz dopuszczalnych napięciach pracy, a także polaryzacji



Fotografia 9. Poprawny, zgodny z polaryzacją sposób włożenia kondensatorów elektrolitycznych do płytki PCB: a) 10 µF, b) 100 µF. Na płytce znakiem „+" oznaczono otwór, w którym należy umieścić dodatnie (dłuższe) wyprowadzenie kondensatora elektrolitycznego. Pojemność w mikrofaradach („µF") zaznaczona na korpusie kondensatora musi mieć taką samą wartość, jaką wskazuje opis dla danej lokalizacji na płytce drukowanej

bezpieczeństwa jest całkiem spory dla obu typu kondensatorów.

Możemy zastosować kondensatory o wyższym napięciu dopuszczalnym, jeśli taki akurat mamy pod ręką. **Niedopuszczalne natomiast jest stosowanie kondensatorów, których napięcie pracy jest niższe od napięcia występującego w układzie. Może to prowadzić do awarii, a nawet do ich wybuchu. Z tego powodu zawsze należy używać okulary ochronne przy pierwszym uruchamianiu układu – nawet jeśli układ ten 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 sposób (kierunek) włożenia do PCB kondensatorów elektrolitycznych o pojemności 10 µF (C6 i C7) pokazano na **fotografii 9a** a tych o pojemności 100 µF (C5, C8 i C9) na **fotografii 9b**.

Obrys komponentu na warstwie opisowej PCB (prostokąty zamiast okręgów) sugeruje, że zamysłem projektanta był montaż poziomy kondensatorów, dlatego – zgodnie z takim zamysłem – kondensatory te warto zamontować w pozycji leżącej. Poprawnie zamontowane kondensatory elektrolityczne pokazano na **fotografii 10a**.

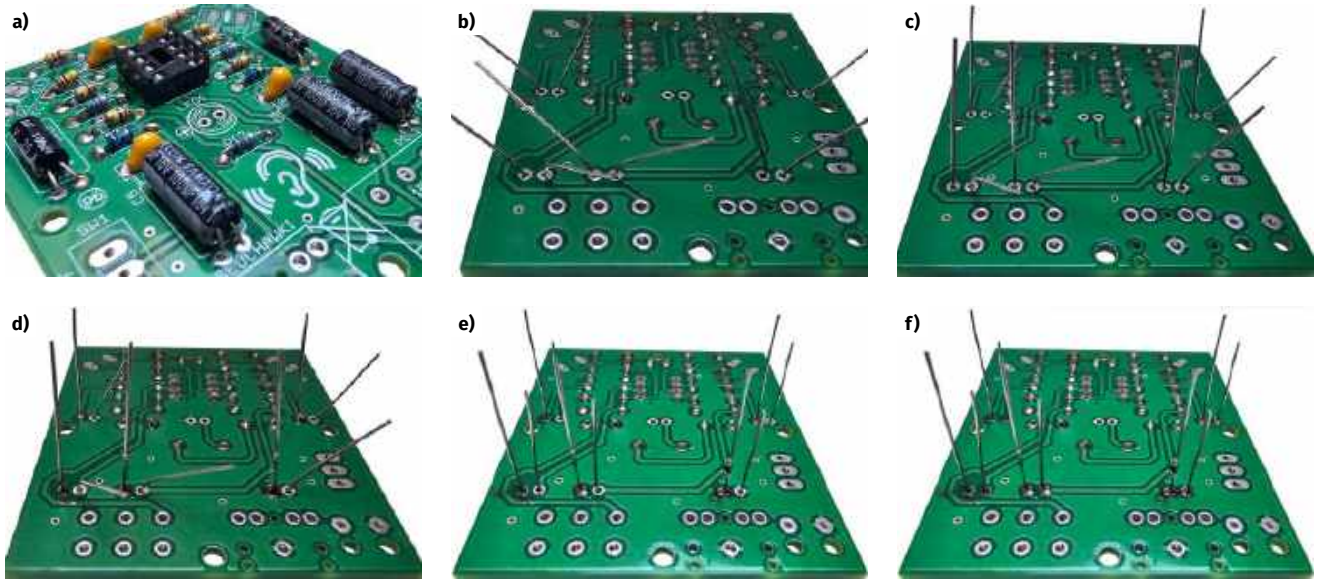
Fotografie 10b...10f pokazują, jak zamontować kondensatory elektrolityczne w sposób umożliwiający ich łatwą wymianę w przyszłości (lutowanie wyprowadzeń prostopadle do PCB).

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 3).

Montaż gniazda słuchawkowego minijack 3,5 mm

Montaż gniazda słuchawkowego warto wykonać poprzez przylutowanie jednego z wyprowadzeń, jednocześnie

eprasa.pl 5641c41152



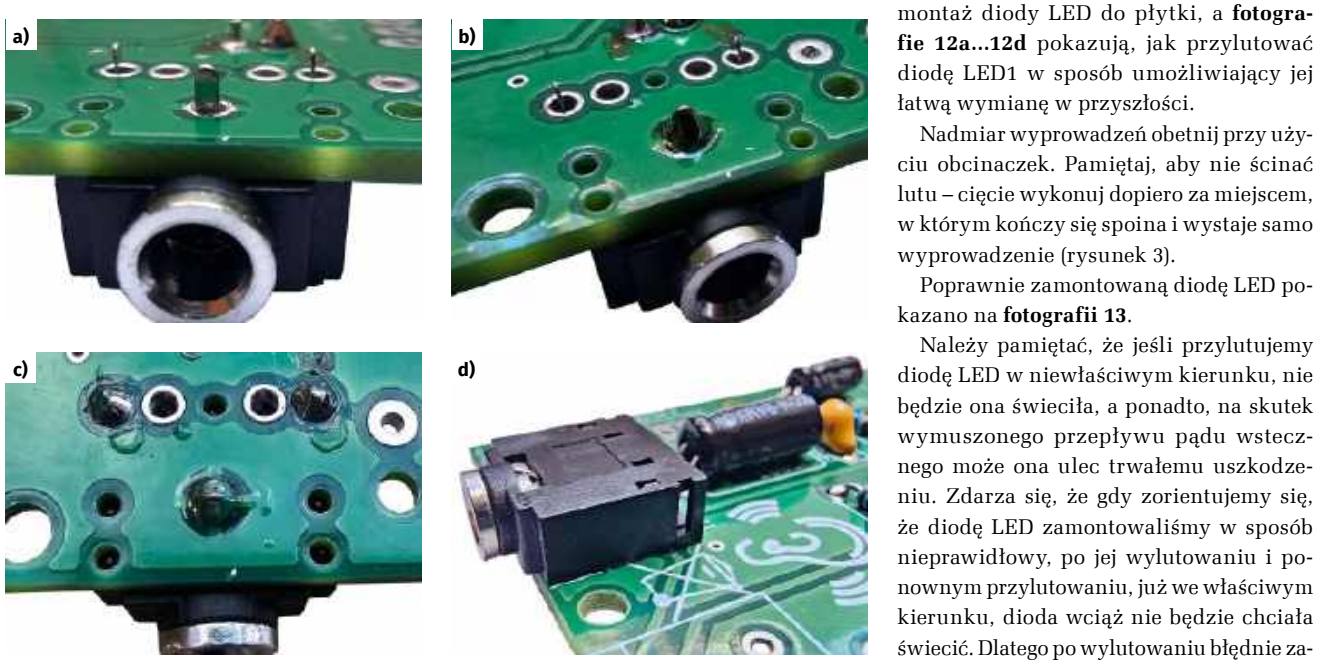
Fotografia 10. Montaż kondensatorów elektrolitycznych: pamiętając o konieczności zachowania właściwej polaryzacji i pojemności odpowiedniej dla danej lokalizacji: a) zamontuj kondensator na leżąco; b) rozegnij lekko jego wyprowadzenia, aby nie wypadł po odwróceniu płytki do góry nogami; c) odegnij do 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

dociskając palcem gniazdo od góry do płytki PCB. Jeśli złącze po tej czynności dobrze przylega do płytki, wystarczy (już bez docisku) przylutować pozostałe wyprowadzenia. W przeciwnym wypadku należy odpowiednio dociskając złącze, ponownie rozgrzać pierwszy lut i skorygować przyleganie złącza do płytki.

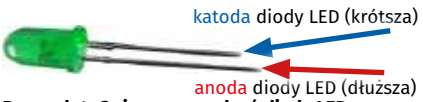
Budując zestaw, można zastosować stereofoniczne złącze słuchawkowe zarówno z pięcioma pinami, jak i z trzema. W tym układzie nie ma to większego znaczenia. Warto jedynie podkreślić, że do płytki pasują oba typy tego złącza.

Montaż diody 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



Fotografia 11. Poprawny montaż gniazda słuchawkowego: a) włóż gniazdo do płytki w taki sposób, by przez otwory przeszły wszystkie wyprowadzenia złącza; b) dociskając od góry palcem złącze do płytki przylutuj jedno z wyprowadzeń; c). jeśli gniazdo poprawnie przylega do płytki przylutuj (już bez docisku) pozostałe wyprowadzenia; d). gniazdo powinno ściśle przylegać do płytki PCB. Do płytki można zamontować zarówno trzy jak i pięciopinowe stereofoniczne złącze minijack 3,5 mm



Rysunek 4. Opis wyprowadzeń diody LED („plusowe" wyprowadzenie dłuższe, „minusowe" krótsze)

podłącza się do ujemnego bieguna zasilania. W przypadku diod LED anoda jest zawsze wyprowadzeniem dłuższym a katoda jest krótsza (**rysunek 4**).

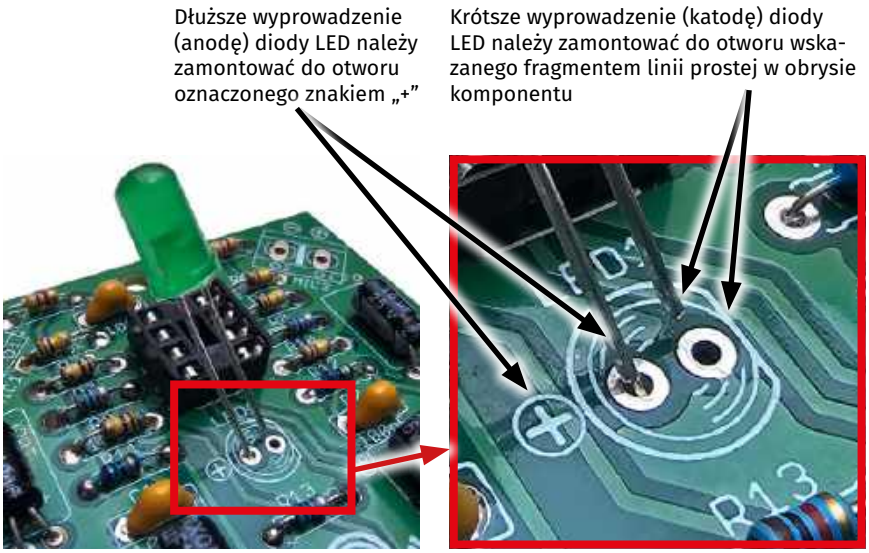
Rysunek 5 przedstawia poprawny montaż diody LED do płytki, a **fotografie 12a...12d** pokazują, jak przylutować diodę LED1 w sposób umożliwiający jej łatwą wymianę w przyszłości.

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 3).

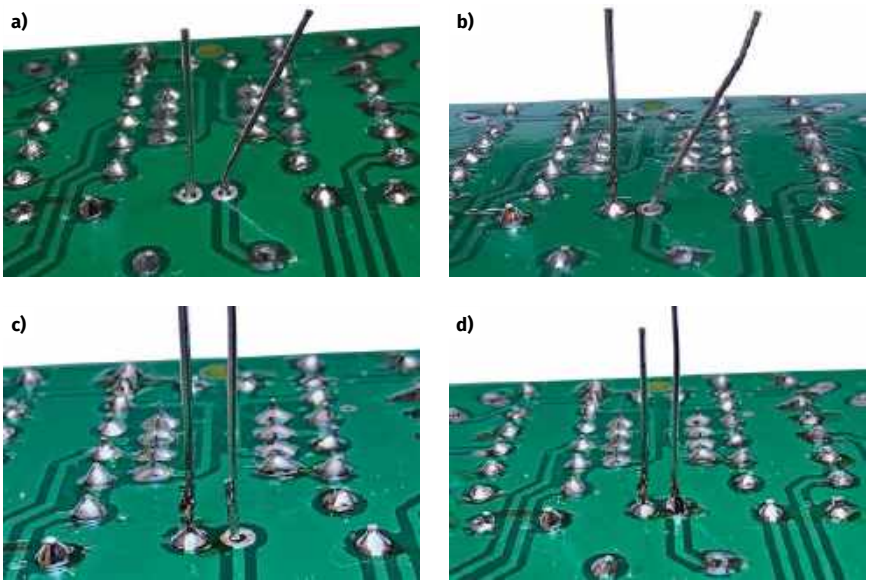
Poprawnie zamontowaną diodę LED pokazano na **fotografii 13**.

Należy pamiętać, że jeśli przylutujemy diodę LED w niewłaściwym kierunku, nie będzie ona świeciła, a ponadto, na skutek wymuszonego przepływu pądu wstecznego może ona ulec trwałemu uszkodzeniu. Zdarza się, że gdy zorientujemy się, że diodę LED zamontowaliśmy w sposób nieprawidłowy, po jej wylutowaniu i ponownym przylutowaniu, już we właściwym kierunku, dioda wciąż nie będzie chciała świecić. Dlatego po wylutowaniu błędnie zamontowanej diody LED warto sprawdzić jej kondycję przy użyciu multimetru – ustawionego w tryb pomiaru diod lub testu ciągłości obwodu – aby upewnić się, że element nadal

eprasa.pl 5641c41152



Rysunek 5. Poprawny sposób montażu diody LED w płytce PCB z uwzględnieniem jej polaryzacji. Dłuższe wyprowadzenie (anoda) musi zostać umieszczone w otworze oznaczonym znakiem „+”, natomiast krótsze wyprowadzenie (katoda) – w otworze oznaczonym linią prostą w obrysie podstawy diody LED



Fotografia 12. 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; po ustawieniu płytki na blacie odegnij jedno wyprowadzenie do pionu; b) przylutuj odgięte do pionu wyprowadzenie prostopadle do płytki; c) ustaw do pionu drugie wyprowadzenie; d) przylutuj je prostopadle do płytki



Fotografia 13. Poprawnie zamontowana dioda LED. Płaskie ścięcie na obwodzie podstawy diody LED, symbolizujące katodę, musi pokrywać się z fragmentem linii prostej w obrysie komponentu widocznym na płytce

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 14**). Jeśli w tym momencie dioda LED się zaświeci, oznacza to, że jest ona sprawna, i możemy przylutować ją ponownie, tym razem pamiętając o właściwym kierunku montażu.

Montaż 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. Z polaryzacją lub kierunkiem montażu, czy też „wymaganą” pozycją hebelka nie mają niczego wspólnego. Przełącznik należy włożyć do płytki w taki sposób, by wszystkie trzy jego wyprowadzenia przeszły na drugą stronę (**fotografia 15a**). 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 w pobliżu. Podczas montażu warto przylutować środkowy pin do płytki PCB (**fotografia 15b**), a dopiero po upewnieniu się, że komponent dobrze przylega do jej powierzchni, przylutować pozostałe.



Fotografia 14. 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

eprasa.pl 5641c41152



Fotografia 15. a) Poprawnie włożony do płytki przełącznik SW1; 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

Poprawnie zamontowany przełącznik SW1 pokazano na **fotografii 15c**.

Montaż złączy mikrofonu

Choć nic nie stoi na przeszkodzie, aby mikrofony elektretowe wlutować bezpośrednio do płytki, projektant zdecydował się użyć złączy śrubowych. Dzięki temu można w prosty sposób zamontować mikrofony równolegle do płytki PCB, tak aby zbierały sygnał akustyczny z większego obszaru przestrzeni. Rozwiązanie to umożliwia również eksperymenty bez użycia lutownicy z różnymi typami mikrofonów elektretowych – zarówno o większych, jak i mniejszych średnicach. Złącza pozwolą skorygować również polaryzację mikrofonów bez stosowania w tym celu lutownicy, na wypadek, gdyby jeden lub oba mikrofony zamontowane zostały nieprawidłowo. Otwory w złączach śrubowych muszą być skierowane na zewnątrz płytki, tak aby można było przykręcić do nich mikrofony skierowane na zewnątrz.

Złącza śrubowe mają sztywne wyprowadzenia, które nie są przeznaczone do zginania (**fotografia 16a**). Dlatego – podobnie jak w przypadku gniazda słuchawkowego lub przełącznika SW1 – trzymając złącze lub dociskając je palcem do płytki, najpierw lutujemy jedno wyprowadzenie (**fotografia 16b**). Gdy upewnimy się, że element dobrze przylega do płytki drukowanej, możemy przylutować drugie (**fotografia 16c**). W taki sam sposób postępujemy przy montażu każdego z obu złącz śrubowych.

Poprawny montaż mikrofonów w złączach

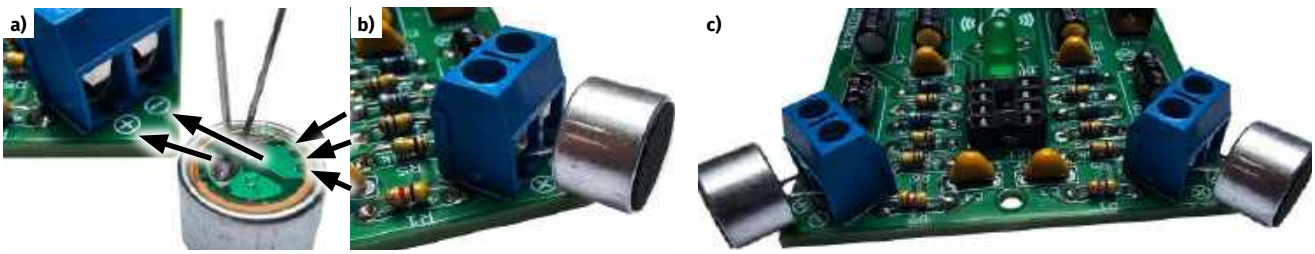
Wyprowadzenia złącz śrubowych są na płytce drukowanej podpisane znakami „+” oraz „–”. Ale skąd wiadomo, które wyprowadzenie mikrofonu jest „plusem”, a które „minusem”? Przypatrz się uważnie polom miedzi na mikrofonie, do których przylutowane są jego wyprowadzenia. Jedno z tych pól dołączone jest ścieżkami do metalowej obudowy mikrofonu, czyli do jego uziemienia. Wyprowadzenie przylutowane do tego pola miedzi jest właśnie wyprowadzeniem „minusowym”, czyli masą. Należy umieścić je w polu złącza śrubowego oznaczonym znakiem „–”. Drugie (dodatnie) wyprowadzenie mikrofonu należy podłączyć do pola złącza śrubowego oznaczonego znakiem „+” (**fotografia 17a**). **Fotografia 17b** pokazuje mikrofon elektretowy zamontowany w złączu śrubowym. **Fotografia 17c** pokazuje oba mikrofony elektretowe zamontowane w złączach śrubowych *Super Ucha*.

Montaż potencjometru

W układzie zastosowano tylko jeden potencjometr, więc nie ma ryzyka pomylenia wartości. Niemniej warto upewnić się, że do zestawu dołączono potencjometr podwójny o właściwej wartości. Podwójny oznacza, że w jednej obudowie znajdują się tak naprawdę dwa potencjometry sterowane wspólną osią. Zamiast trzech wyprowadzeń (tak jak w potencjometrze pojedynczym),

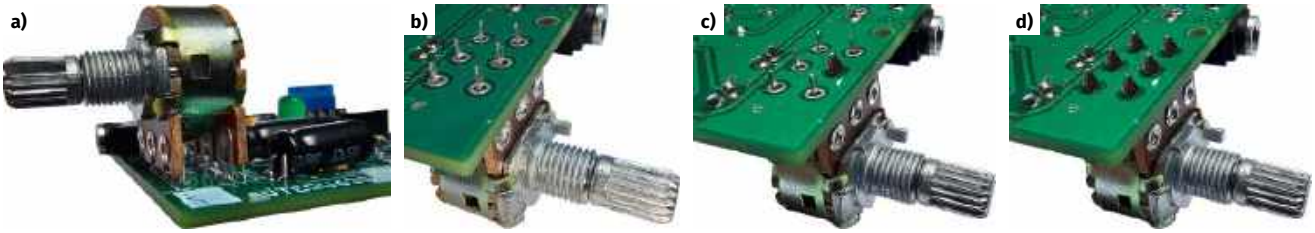


Fotografia 16. Poprawny montaż złączy śrubowych dla mikrofonów: a) włóż złącze do płytki tak, aby otwory do montażu mikrofonu skierowane były na zewnątrz urządzenia; b) przylutuj jedno z wyprowadzeń i upewnij się, czy złącze dobrze przylega do płytki; c) gdy wszystko jest w porządku, przylutuj drugie wyprowadzenie

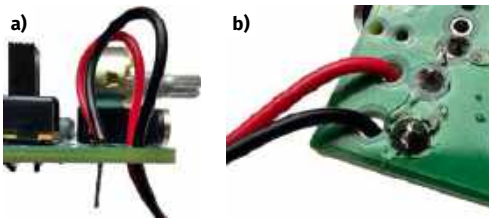


Fotografia 17. Poprawny montaż mikrofonów elektretowych w złączach śrubowych: a) polaryzacja mikrofonu elektretowego; b) mikrofon zamontowany w złączu śrubowym; c) oba mikrofony poprawnie zamontowane w *Super Uchu*

eprasa.pl 5641c41152



Fotografia 18. Aby poprawnie zamontować potencjometr POT1 na płytce, należy: a) włożyć go do sześciu przeznaczonych otworów; b) docisnąć do płytki tak, aby wszystkie trzy wyprowadzenia wystawały po stronie lutowania na tę samą długość; c) przylutować jedno wyprowadzenie i sprawdzić, czy potencjometr dobrze przylega do płytki; d) przylutować pozostałe wyprowadzenia



Fotografia 19. Kabelki złącza baterii należy: a) przeprowadzić przez otwory pomocnicze od strony lutowania, a odizolowane, splecione i pocynowane końce każdego z kabelków należy następnie umieścić we właściwych polach lutowniczych, pamiętając o zachowaniu właściwej polaryzacji (czerwony kabelek do plusa a czarny do minusa); b) przylutować kabelki do odpowiednich pól lutowniczych; c) pozbyć się pętli przewodów po stronie komponentów, wyciągając kabelki maksymalnie ku dołowi



Fotografia 20. Poprawne podłączenie kabli na przykładzie multimetru DT-830B, ustawionego na funkcję woltomierza napięć stałych

ma on ich sześć – po trzy dla każdego „wewnętrznego" potencjometru. Dzięki temu jednym pokrętłem można jednocześnie regulować dwa kanały, na przykład lewy i prawy w układzie stereofonicznym.

Na obudowie potencjometru powinieneś odnaleźć oznaczenie „B100K". Zapis ten oznacza, że potencjometr ma wartość 100000 Ω, czyli 100 kΩ. Litera B informuje o charakterystyce regulacji – w tym przypadku liniowej. Oznacza to, że opór zmienia się równomiernie w całym zakresie obrotu gałki potencjometru.

Potencjometr ten należy osadzić w sześciu otworach na pozycji opisanej jako POT1, a następnie z wyczuciem docisnąć do płytki PCB (**fotografia 18a**), tak aby wszystkie wyprowadzenia potencjometru przeszły przez płytkę PCB i wystawały po stronie lutowania na taką samą wysokość (**fotografia 18b**). Na koniec pozostaje przylutować do płytki PCB wszystkie wyprowadzenia. W pierwszej kolejności warto przylutować jedno z nich (**fotografia 18c**) i sprawdzić czy potencjometr dobrze dolega do PCB, a następnie przylutować pozostałe wyprowadzenia (**fotografia 18d**).

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. Pamiętając o właściwej polaryzacji (czerwony kabelek to „plus" a czarny to „minus") przewody należy wprowadzić w odpowiednie otwory, tym razem od strony lutowania. Odizolowane, splecione i pocynowane końce każdego z kabelków należy następnie umieścić we właściwych polach lutowniczych (**fotografia 19a**). Następnie, należy przylutować osadzone w otworach kabelki i obciąć ich nadmiar po przylutowaniu (**fotografia 19b**). Na koniec należy skrócić pętle przewodów – wyciągając je w kierunku strony lutowania komponentów (**fotografia 19c**).

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 NE5532 wymaga podania „plusa" zasilania na pin 8, oraz „minusa" na pin 4. 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 20**).

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 4 podstawki. Na wyświetlaczu miernika powinna pojawić się wartość napięcia bliska napięciu nominalnemu baterii 9 V (**fotografia 21**).

Jeśli na wyświetlaczu pojawi się znak „–", oznacza to, że podczas montażu popełniliśmy błąd, na przykład zamieniając miejscami przewody od baterii. Wyświetlenie cyfry „1" informuje nas, że przekroczyliśmy zakres pomiarowy, na przykład próbując mierzyć napięcie 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 21, możesz odłączyć baterię i zamontować układ scalony w podstawce.

Włożenie układu scalonego do podstawki wydaje się łatwe, ale trzeba przy tym zachować uwagę i ostrożność. Ważne jest, aby układ był skierowany we właściwą stronę (za chwilę pokażę, jak to rozpoznać) oraz by wszystkie jego osiem nóżek trafiło dokładnie w otwory podstawki. Nóżki nie mogą się wygiąć ani tym bardziej złamać. A gdyby jednak któraś się urwała, nic straconego – można ją zastąpić kawałkiem odciętego pinu z innego elementu już przylutowanego do płytki.

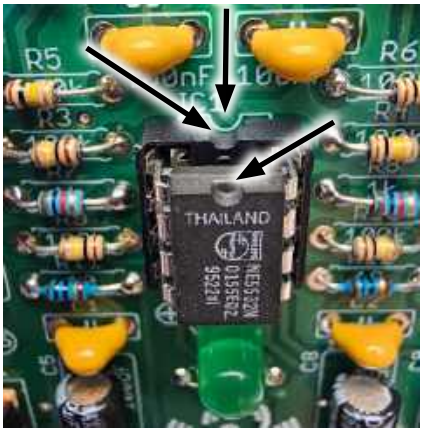
Drugą, obok ostrożności podczas montażu sprawą, o jaką należy zadbać, to właściwy

eprasa.pl 5641c41152

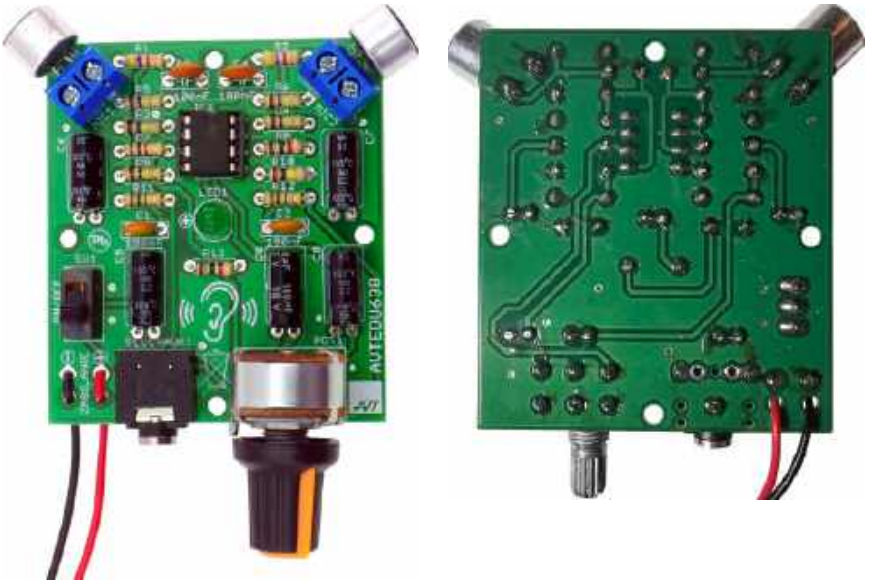




Fotografia 21. Pomiar na zaciskach 8 („plus”) i 4 („minus”) podstawki pod układ NE5532 wskazał poprawne napięcie baterii (bez znaku „–”, który sugerowałby błędną polaryzację). Można teraz odłączyć zasilanie i zamontować układ NE5532 w podstawce



Fotografia 22. 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 23. Poprawnie zmontowany układ *Super Ucha*. Widok płytki a) od strony komponentów; b) od strony lutowania

kierunek montażu układu scalonego w podstawce. W tym celu należy przypilnować, by kropka lub wycięcie na układzie scalonym, wskazujące kierunek montażu, pokrywały się z pozostałymi znacznikami w podstawce oraz na warstwie opisowej PCB (**fotografia 22**). 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 **fotografii 23a** oraz **23b**.

Przed podłączeniem baterii do *Super Ucha*, a tym bardziej przed założeniem słuchawek na uszy, warto ustawić głośność urządzenia na minimum, obracając potencjometr w skrajnie lewą pozycję. Po podłączeniu baterii i ustawieniu włącznika zasilania w pozycji „ON” dioda LED1 zaświeci się, a *Super Ucho* zacznie przekazywać wzmocnione sygnały z mikrofonów elektretowych do słuchawek – oddzielnie dla lewego i prawego kanału. Teraz wystarczy skierować mikrofony w stronę nasłuchiwanego obszaru i stopniowo obracać potencjometr w prawo, aż do uzyskania odpowiedniej głośności.

Podsumowanie

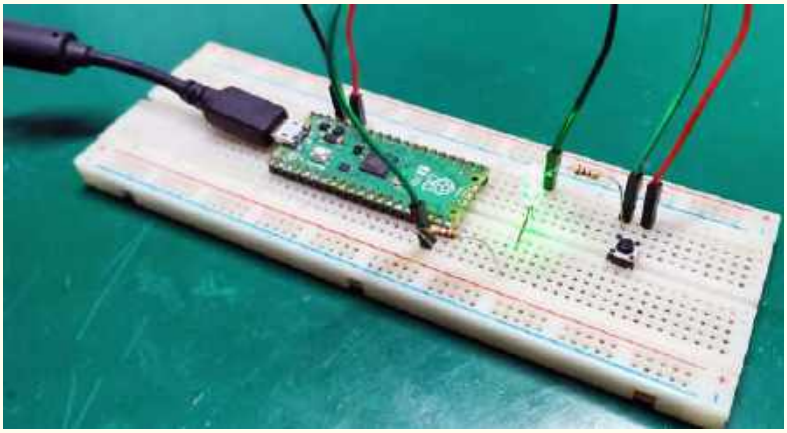
No i pięknie – kolejny układ ożył w Twoich rękach! To trochę jak magia: z kupki części powstaje coś, co świeci, gra albo reaguje na otoczenie. Każdy taki projekt to nie tylko zabawa, ale też krok do tego, by coraz lepiej rozumieć świat elektroniki. Tymczasem życzę Ci dużo radości z zabawy *Super Uchem*. Dobrego odsłuchu – i do zobaczenia już za miesiąc! ■

Mariusz Ciszewski

REKLAMA

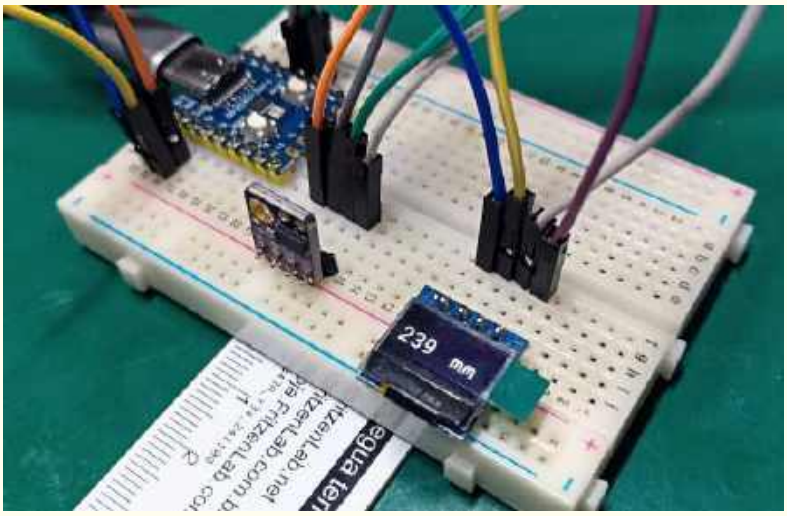
Znajdziesz nas również na Facebooku:
facebook.com/ElportalPL

eprasa.pl 5641c41152



Przerwania zewnętrzne (sprzętowe) i przerwania zegara w microPython

Czy wiesz, jak korzystać z zewnętrznych przerwań w microPython? Istnieje sposób, aby zagwarantować, że kod zostanie wykonany po wystąpieniu zdarzenia zewnętrznego (np. po naciśnięciu przycisku itp.) lub upływie czasu. W dzisiejszym poście omówimy, jak działają przerwania zewnętrzne i timerowe. Zrobimy to, migając diodą LED po naciśnięciu przycisku.
https://www.youtube.com/shorts/_H2zO9JliGg?feature=share



Laserowy czujnik odległości z wyświetlaczem OLED i RP2040

Projekt ten to realizacja czujnika laserowego odległości z wyświetlaczem OLED i RP2040, wykorzystującego sensor VL53L0x. Użyjemy naprawdę małego wyświetlacza OLED o przekątnej 0,49 cala, który komunikuje się z RP2040 poprzez I²C.
https://www.youtube.com/shorts/fP9VAtzU_1M?feature=share

Niektóre projekty aktualnie dostępne tylko dla prenumeratorów EdW w rubryce DIY PLUS na www.elportal.pl:

1. Inklinometr z 17-segmentowym wyświetlaczem słupkowym
2. Izolowany repeater USB – USB 2.0
3. Knight Rider Light – 16 diod LED dużej mocy (kompatybilny z Arduino)
4. Dźwięk do kolorowych efektów świetlnych (kompatybilny z Arduino)
5. Nowy i ulepszony licznik Geigera – teraz z Wi-Fi!
6. Detektor zalania
7. Lampa nastrojowa LED o dużej mocy
8. Kontroler dzwonów kościelnych
9. Arduino Nano – włączanie/wyłączanie urządzeń za pomocą pilota na podczerwień (dwa kanały)
10. Lampa sufitowa LED z czujnikiem ruchu PIR – kompatybilna z Arduino
11. Inteligentny ściemniacz LED z Bluetooth – 4-kanałowy włącznik/wyłącznik Bluetooth
12. Czterokanałowy izolator cyfrowy, wzmocniony, szybki, o niskim poborze mocy
13. Sterowanie prędkością, kierunkiem i zatrzymaniem silnika DC z modułem RF NRF24L01
14. Nadajnik zdalnego sterowania z pojedynczym joystickiem wykorzystujący NRF24L01
15. 8-kanałowy zdalny nadajnik RF z protokołami: Holtek i szeregowym
16. 8-kanałowy zdalny odbiornik RF z protokołami: Holtek i szeregowym
17. Pojemnościowy czujnik wilgotności do konwertera wyjścia analogowego
18. Mostek H dla wysokiej mocy szczotkowego silnika prądu stałego z czujnikiem prądu
19. Przetwornica DC-DC buck 12...75 V na 10 V na wyjściu
20. Czujnik prądu low-side 10 µA...10 mA
21. Kontroler ramienia robota z bezprzewodowym pilotem PS3
22. Termiczny czujnik masowego przepływu powietrza – anemometr stałotemperaturowy
23. Precyzyjny wzmacniacz transimpedancyjny z przełączanym integratorem
24. Wysokowydajny monofoniczny wzmacniacz audio klasy D o mocy 20 W
25. Kontroler pełnego mostka z przesunięciem fazowym i prostowaniem synchronicznym wykorzystujący UCC28950
26. Monitorowanie poziomu cieczy za pomocą czujnika ciśnienia – wyświetlacz słupkowy
27. Sterowanie silnikiem DC za pomocą joysticka
28. 16-kanałowy sterownik serwomechanizmów RC z interfejsem I²C
29. Programowalny kondycjoner sygnału z czujnika rezystancyjnego mostkowego
30. Choinka z Arduino i pikselowymi diodami
31. 20-segmentowy wyświetlacz słupkowy w rozmiarze jumbo
32. Stacja pogodowa lilygo ttgo t5-4.7 z wyświetlaczem typu e-papier
33. Półprzewodnikowy przekaźnik mocy DC z prądowym sprzężeniem zwrotnym
34. Wyłącznik nadprądowy – przekaźnik wyłączający nadprądowy
35. TinyML – Rozpoznawanie ruchu przy pomocy RPi Pico
36. Uniwersalny konwerter napięcia AC – wyjście 18 V DC z wejścia 85...265 V AC

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 5641c41152



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



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



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

BESTSELLERY sklepu AVT – sklep.avt.pl

Trzecia ręka

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

-3%

Rabat dla Prenumeratorów EdW
przy zakupie podaj numer prenumeraty

-6%



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



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



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



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



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



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

eprasa.pl 5641c41152

Subscribe to Elektor's newsletter and get the chance to

WIN

a Raspberry Pi Pico W board



www.elektor.com/eda



Subscribe to Elektor's newsletter, get a €5 coupon code and get the chance to WIN a Raspberry Pi Pico W board

Be one of the 10 fortunate winners!



elektor
design > share > earn

eprasa.pl 5641c41152