Edukacja w EdW dla szkół i uczelni:
Wykład 37: szeregi Fouriera

JUNIOR
strona 76

ELEKTRONIKA dla wszystkich

nr 01/2026 (360) • styczeń • www.elportal.pl

DIY PLUS tylko dla prenumeratorów

PROJEKTY dla elektroników

- Łatwe do zbudowania kolumny głośnikowe Salad Bowl
- Zagraj we własną grę kółko i krzyżyk, część 2
- Przystawka do pomiaru zespołów głośnikowych

DIY dla wszystkich

- Prosty timer długich czasów
- Sterowanie domowych urządzeń joystickiem dla osób niepełnosprawnych
- Elektroniczne pianino cyfrowe
- Przetwarzanie mowy z użyciem modułu ESP32: zamiana tekstu na mowę

TUTORIALE

- Ekscytacje Maxa: Migające diody LED i śliniący się inżynierowie, część 28
- Room EQ Wizard – program do pomiarów elektroakustycznych
- Chirurgia obwodowa: Zniekształcenia i obwody zniekształcające, część 2

Kolumny głośnikowe Salad Bowl

Przystawka do pomiaru zespołów głośnikowych

ISSN 1425-1698 Indeks 33362X
9 771425 169269 01
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 6fff7859d

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

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

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

BESTSELLERY sklepu AVT – sklep.avt.pl

Mierniki Testery FNIRSI

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

Kod ważny do 30.09.2025

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

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

FN-LCR-P1
Tester elementów FNIRSI LCR-P1

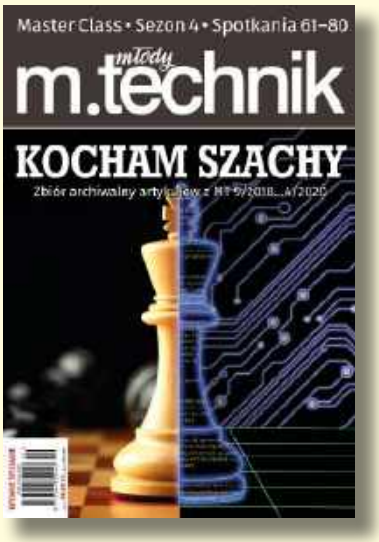
FN-HRM10
Tester rezystancji wewnętrznej akumulatorów FNIRSI HRM-10

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

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

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

www.UlubionyKiosk.pl



pakiet promocyjny

KOCHAM SZACHY

7 e-booków z rabatem

50%

Dla prenumeratorów – 30% rabatu!

Promocja internetowa – w formularzu zamówienia online zaznacz pole „Jestem prenumeratorem wydawnictwa AVT, kupuję ze zniżką” i podaj swój numer prenumeraty.

eprasa.pl 6iff7859d1

ELEKTRONIKA dla wszystkich

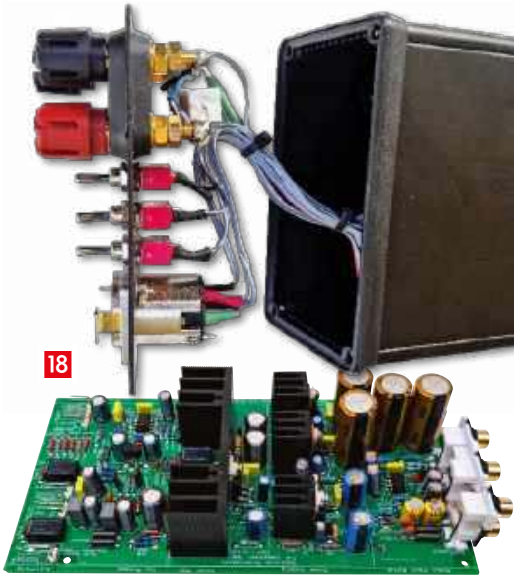
Styczeń 2026 • 01 (360)

Projekty dla elektroników:

Łatwe do zbudowania kolumny głośnikowe Salad Bowl 8
Przystawka do pomiaru zespołów głośnikowych 18
Zagraj we własną grę kółko i krzyżyk, część 2 30

Tutoriale:

Room EQ Wizard – program do pomiarów elektroakustycznych 40
Chirurgia obwodowa:
Zniekształcenia i obwody zniekształcające, część 2 44
Ekscytacje Maxa:
Migające diody LED i śliniący się inżynierowie, część 28 50
Edukacja w EdW dla szkół i uczelni:
Wykład 37 – Szeregi Fouriera 58



DIY dla wszystkich:

Sterowanie domowych urządzeń joystickiem
dla osób niepełnosprawnych 66
Elektroniczne pianino cyfrowe 69
Prosty timer długich czasów 71
Przetwarzanie mowy z użyciem modułu ESP32:
zamiana tekstu na mowę 74

Elektronika dla Wszystkich – Junior:

Dziewiętnaste spotkanie z najmłodszymi pasjonatami elektroniki 76

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

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

OLEDUINO – wyświetlacz OLED kompatybilny z Arduino 90
Inteligentny regulator lutownicy – precyzyjny regulator grzałki 90

Rubryki stałe:

Od redakcji 5
Poczta 6
Prenumerata 7

eprasa.pl 6fff7859d1

A za miesiąc w lutowym EdW

PICO – miniaturowy analizator audio
Kieszonkowy analizator audio oparty na module Raspberry Pi Pico, który potrafi zarówno generować, jak i analizować sygnały niskiej częstotliwości. Oferuje podgląd przebiegów, analizę widma i zniekształceń oraz funkcję przemiatania częstotliwości, a dzięki wbudowanemu wyświetlaczowi OLED, złączom RCA i zasilaniu bateryjnemu może pracować jako samodzielne narzędzie do testowania prostych układów i torów audio – także w terenie.

Generator testowy CW/FM VHF na pasmo 2 m

Niewielki generator testowy do pasma amatorskiego 2 m (144...148 MHz), oparty na syntezie DDS z układem AD9834 taktowanym zegarem 80 MHz. Sygnał VHF powstaje jako produkt aliasowania i jest wybierany przez wąskopasmowy filtr pasmowy LC. Generator oferuje pracę z nośną lub z modulacją FM o odchyleniu ±3 kHz (1 kHz), obsługę CTCSS i modulację zewnętrzną, a trzy poziomy wyjściowe (–45 dBm, –75 dBm i –105 dBm) oraz zasilanie bateryjne lub zewnętrzne czynią go praktycznym narzędziem do testów odbiorników FM.

262 144 sposoby na zabawę z grą w życie

Czy można tchnąć nowe życie w klasyczną grę Conwaya? Brian White nie tylko to zrobił – stworzył urządzenie, które pozwala zasymulować każdą z 262 144 możliwych wersji zasad, używając przełączników BCD i barwnej matrycy LED. Efekt to niepowtarzalne, hipnotyzujące wzory, których rozwój można śledzić w czasie rzeczywistym. Dzięki specjalnemu algorytmowi oraz przemyślanej kolorystyce, każdy eksperyment nabiera charakteru cyfrowego dzieła sztuki. Idealna zabawa dla programistów, hobbystów i miłośników matematyki wizualnej.

Dla studentów i uczniów:
garść technicznych tutoriali

Dla szukających inspiracji:
ciekawe projekty DIY

Dla najmłodszych:
kolejny zestaw z serii AVTEDU

W kioskach od 22 stycznia

Noworoczny recykling, czyli głośniki z misek po świątecznych sałatkach

Gdy świąteczne stoły pustoszeją, choinki wracają do kartonów, a miski po sałatkach lądują w szafkach, wielu z nas zaczyna nowy rok z tym samym postanowieniem: zrobić coś sensownego, najlepiej własnymi rękoma. Elektronika – jak zwykle – przychodzi z pomocą. Bo jeśli miski są już puste, to aż proszą się o drugie życie. Najlepiej takie, które nie tylko cieszy oko, ale i… ucho.

Styczniowy numer „Elektroniki dla Wszystkich" otwieramy projektem, który z pozoru brzmi jak żart, a w praktyce okazuje się zaskakująco sensowną lekcją akustyki. Głośniki z bambusowych misek sałatkowych pokazują, że dobra obudowa nie musi powstawać w warsztacie stolarskim. Sferyczny kształt skutecznie ogranicza dyfrakcję i rezonanse, a odpowiednio dobrany bas-refleks pozwala uzyskać czysty dźwięk już od 70 Hz. To projekt tani, efektowny i dostępny praktycznie dla każdego – idealny przykład, że noworoczny recykling może mieć bardzo pozytywny wydźwięk – także ten akustyczny.

Audio pozostaje motywem przewodnim całego numeru, ale nie brakuje też logicznych wyzwań. W drugiej części projektu gry w kółko i krzyżyk zaglądamy pod maskę niepokonanego przeciwnika. Autor odsłania kulisy algorytmu zapisanego w pamięci EPROM, pokazując, jak setki możliwych rozgrywek zostały ręcznie przeanalizowane i zoptymalizowane. Dowiadujemy się także, jak zbudować całość od strony mechanicznej – od montażu płytek, przez estetyczną obudowę z czarnego akrylu, aż po detale, takie jak magnesy w żetonach. Efektem jest urządzenie, które nie tylko wygrywa każdą partię, ale też świetnie wygląda na biurku.

Skoro mowa o dźwięku, nie mogło zabraknąć solidnej porcji pomiarów. W numerze prezentujemy praktyczne stanowisko do testowania głośników i zwrotnic – proste w budowie, a jednocześnie niezwykle funkcjonalne. Wbudowany wzmacniacz, przełączane tłumiki i zasilanie fantomowe umożliwiają szybkie sprawdzenie impedancji, charakterystyk częstotliwościowych i fazowych, a także kalibrację zwrotnic. To narzędzie, które w połączeniu z komputerem zamienia domowy warsztat w pełnoprawne laboratorium audio.

Naturalnym uzupełnieniem sprzętu jest oprogramowanie. Phil Prosser prowadzi Czytelnika krok po kroku przez konfigurację i praktyczne wykorzystanie darmowego programu Room EQ Wizard. Od kalibracji karty dźwiękowej i przystawki pomiarowej, przez procedury pomiaru impedancji i charakterystyk częstotliwościowych, aż po interpretację wyników i pułapki wynikające z warunków pomiarowych – to tekst, który pozwala przejść od pierwszego kliknięcia do świadomej analizy danych.

Teoria idzie tu w parze z praktyką. W drugiej części cyklu Ian Bell pokazuje, jak w LTspice poprawnie analizować widmo sygnałów i obliczać całkowite zniekształcenia harmoniczne. Analiza FFT, dobór czasu symulacji, liczby punktów i okna – wszystko to ma realny wpływ na wynik, a autor jasno tłumaczy, skąd biorą się artefakty i jak ich unikać. Dla wielu Czytelników będzie to brakujące ogniwo między symulacją a rzeczywistym pomiarem.

Z kolei Jos Verstraten proponuje zupełnie inne podejście do zagadnień, które potrafią odstraszyć już na etapie pierwszego wzoru. Szeregi Fouriera przedstawia intuicyjnie, obrazami i świadomymi uproszczeniami, pokazując, że zrozumienie istoty zjawiska nie zawsze wymaga żonglowania symbolami matematycznymi. To tekst, który świetnie porządkuje wiedzę i przygotowuje grunt pod dalsze, bardziej zaawansowane analizy.

Jak zawsze, w numerze nie zabrakło też refleksji i dygresji. Max Maxfield zabiera nas w swoją charakterystyczną podróż przez świat elektroniki analogowej i cyfrowej, wracając do historii pierwszych komputerów i jednocześnie spoglądając w przyszłość, gdzie analog znów zyskuje na znaczeniu – choćby w postaci energooszczędnych układów sztucznej inteligencji.

Dla miłośników prostych, użytecznych rozwiązań przygotowaliśmy opis analogowego timera włącz/wyłącz do sterowania urządzeniami sieciowymi, a tradycyjnie także coś dla najmłodszych konstruktorów. W cyklu EdW Junior prezentujemy zestaw AVTEDU621 – stroboskop policyjny LED, który krok po kroku wprowadza w świat lutowania, logiki CMOS i bezpiecznej pracy z elektroniką.

Styczeń to dobry moment na nowe początki i świeże pomysły. Ten numer EdW prowadzi od kuchennej miski po analizę FFT, od zabawy po rzetelny pomiar. Bo w elektronice – podobnie jak na początku roku – największą satysfakcję daje to, co zbudujemy sami. Zanim jednak coś zbudujemy, trzeba się zazwyczaj czegoś nauczyć, a żeby się czegoś nauczyć, czasem warto coś świadomie uprościć. A jeśli przy okazji dobrze to brzmi, tym lepiej.

Mariusz Ciszewski

eprasa.pl 6fff7859d1

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.

Łączność w różnych mediach – woda

Właśnie przeczytałem listopadowy numer Elektroniki dla Wszystkich. Jestem pod wrażeniem artykułu „Łączność w różnych mediach – woda". Tekst nasunął mi pewną myśl: a może w redakcji mógłby powstać projekt dotyczący łączności na falach długich (LF)? Mam na myśli projekt nadajnika i odbiornika do realizacji przez radioamatora.

Z tabeli nr 1 zamieszczonej w artykule wynika, że istnieje pewien obszar częstotliwości przeznaczony dla aktywności amatorskiej. O ile się nie mylę, stacje komercyjne w Europie działają w zakresie 144…288 kHz (Polskie Radio Program I nadaje obecnie na częstotliwości 225 kHz). Nie wiem natomiast, co funkcjonuje w obszarze 30…144 kHz i czy znajduje się tam zakres dostępny dla amatorstwa. Byłbym zainteresowany taką wiedzą, a także ewentualnym projektem urządzeń nadawczo-odbiorczych.

Chciałbym również, niejako przy okazji, dodać kilka informacji na temat wspomnianej w artykule polskiej radiostacji z okolic warszawskiego Bemowa. Przed II wojną światową funkcjonowała ona jako radiostacja Babice. Rozpoczęła działalność w 1923 r. i była największą w Europie oraz drugą na świecie. Pracowała na częstotliwościach 16,4 kHz i 14,29 kHz (a więc w paśmie VLF) i zapewniała Polsce telegraficzną łączność transatlantycką. Stacja odbiorcza znajdowała się w Grodzisku Mazowieckim.

Dnia 27 września 1939 r. radiostacja została zajęta przez Niemców i była przez nich wykorzystywana do łączności z okrętami podwodnymi. 16 stycznia 1945 r. Niemcy wysadzili maszty wież antenowych, co zakończyło jej działalność. Od 2017 r. pozostałości radiostacji zostały wpisane do rejestru zabytków.

Pozdrowienia dla całej Redakcji
stały czytelnik
Bogusław Kuleba

Red. Szanowny Panie,
czytając Pański list, mieliśmy wrażenie, że porusza się Pan dokładnie w tym samym nurcie rozważań, który przyświecał autorowi artykułu „Łączność w różnych mediach – woda". Tabela pasm częstotliwości oraz opisy ekstremalnie długich fal rzeczywiście prowokują pytanie: a co z praktyką i radioamatorstwem – zwłaszcza w zakresie LF, leżącym gdzieś pomiędzy „klasycznym radiem" a wojskową, monumentalną infrastrukturą VLF.

W tym kontekście chcielibyśmy wspomnieć o projekcie, który nie jest bezpośrednią odpowiedzią na Pana pytanie o łączność, ale może być interesującym i bardzo pouczającym punktem wyjścia. W numerze EdW 10/2011 opublikowaliśmy artykuł „Odbiór fal radiowych ELF-VLF", któremu towarzyszył zestaw AVT3054 – „Multiodbiornik ELF-VLF". Był to projekt pozwalający na odbiór sygnałów w zakresie od kilku herców do około 30 kHz, a więc dokładnie w tym obszarze widma, który w artykule listopadowym pojawia się jako kluczowy dla komunikacji w trudnych mediach, takich jak woda czy grunt.

Mamy oczywiście świadomość, że AVT3054 nie realizuje łączności radiowej w sensie radioamatorskim – nie jest to ani nadajnik, ani klasyczny odbiornik LF zestrojony na konkretne kanały czy emisje. Traktujemy go raczej jako zestaw badawczo-edukacyjny, który pozwala w praktyce „dotknąć" problemów, o których mowa w artykule: ogromnych długości fal, bardzo niskiej przepustowości, dominacji szumów środowiskowych oraz kluczowej roli anten i filtracji sygnału. To właśnie te ograniczenia sprawiają, że realizacja łączności LF/VLF – zarówno wojskowej, jak i amatorskiej – jest tak dużym wyzwaniem technicznym.

Warto przy tym podkreślić istotną różnicę: wojskowe systemy VLF opierają się na gigantycznych antenach i mocach liczonych w setkach kilowatów lub megawatach, podczas gdy radioamatorskie eksperymenty LF muszą zmieścić się w zupełnie innej skali – i właśnie dlatego wymagają zupełnie odmiennego podejścia konstrukcyjnego.

Z tego punktu widzenia AVT3054 bywa dla wielu konstruktorów pierwszym krokiem: pozwala zobaczyć, co faktycznie „żyje" w najniższych pasmach widma, zrozumieć różnicę między odbiorem składowej pola elektrycznego i magnetycznego oraz uświadomić sobie, dlaczego w LF i VLF sama elektronika jest często łatwiejsza niż antena i otoczenie elektromagnetyczne.

Jeśli chodzi natomiast o stricte amatorską łączność LF i projekty nadajników-odbiorników, to na dziś redakcja „Elektroniki dla Wszystkich" nie ma gotowej konstrukcji tego typu. Zbieramy jednak systematycznie materiały i inspiracje – a Pański list idealnie wpisuje się w tę tematykę. Gdy tylko nadarzy się okazja, by sięgnąć po projekt pokazujący praktyczną stronę łączności LF z perspektywy radioamatora, z przyjemnością do niego wrócimy.

Odnosząc się bezpośrednio do Pana pytania o dostępność pasma 30…144 kHz, warto to doprecyzować. Pasmo LF (Low Frequency) jest formalnie zdefiniowane w zakresie 30…300 kHz, jednak amatorski dostęp w Europie ogranicza się do bardzo wąskiego fragmentu. Krótkofalowcy mają do dyspozycji pasmo 135,7…137,8 kHz, znane jako pasmo 2200 metrów, mieszczące się w interesującym Pana zakresie poniżej 144 kHz. Pozostała część pasma LF oraz całe pasmo VLF (3…30 kHz) są wykorzystywane przez służby profesjonalne – morskie, lotnicze i wojskowe. Szczególnie VLF, ze względu na najmniejsze tłumienie sygnału w wodzie morskiej i ogromny zasięg, jest silnie chronione i wykorzystywane głównie do łączności z okrętami podwodnymi.

Bardzo ciekawy jest również przywołany przez Pana wątek radiostacji Babice. Rzeczywiście, była to jedna z największych i najnowocześniejszych inwestycji radiokomunikacyjnych II Rzeczypospolitej. Praca na częstotliwościach rzędu kilkunastu kiloherców, z wykorzystaniem alternatorów Alexandersona, lokuje ją jednoznacznie w obszarze VLF – daleko poniżej tego, co dziś kojarzymy z falami długimi w sensie radiofonicznym. Podane przez Pana częstotliwości 16,4 kHz i 14,29 kHz doskonale ilustrują, dlaczego właśnie VLF umożliwiało wówczas transatlantycką łączność telegraficzną. Skala tej instalacji – zarówno pod względem mocy, jak i rozmiarów systemu antenowego – do dziś robi ogromne wrażenie, nawet jeśli porównania w rodzaju „drugiej co do wielkości na świecie" zależą od przyjętych kryteriów.

W tym sensie historia Babic naturalnie wpisuje się w ten sam nurt, co działająca do dziś szwedzka stacja Grimeton (SAQ) – obie pokazują, do jakiego poziomu inżynierskiej determinacji dochodzono, aby opanować komunikację na ekstremalnie niskich częstotliwościach.

Wiele z tych historii znamy dziś bardziej z archiwów, publikacji i relacji pasjonatów niż z osobistych doświadczeń. Tym bardziej cenimy listy takie jak Pana, które przypominają, jak bogata i wielowątkowa jest historia radiotechniki – także tej „najcięższej", niskoczęstotliwościowej.

Dziękujemy za merytoryczny, przemyślany list i za podzielenie się swoją wiedzą oraz pasją. To właśnie taki dialog – oparty na faktach, doświadczeniu i ciekawości – sprawia, że Elektronika dla Wszystkich pozostaje pismem żywym i autentycznym.

Serdecznie pozdrawiamy
Redakcja „Elektroniki dla Wszystkich"

eprasa.pl 6fff7859d1

prenumerata

–15%
NA START
192,80 zł

–30%
po pierwszym roku prenumeraty
158,80 zł

–40%
po drugim roku prenumeraty
136,10 zł

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

Odkryj korzyści z prenumeraty drukowanej – większe oszczędności z każdym rokiem!

Rozpocznij swoją przygodę z *Elektroniką dla Wszystkich*. Decydując się teraz na roczną prenumeratę drukowaną, otrzymasz nie tylko dostęp do najnowszych wydań, ale i **znakomity start dzięki zniżce 15%** na pierwsze zamówienie!

Prenumerata to nie tylko wygoda dostępu do treści, ale także sposób na znaczące oszczędności. Dołącz do grona naszych stałych czytelników i ciesz się coraz lepszymi warunkami.

Im dłużej jesteś z nami, tym więcej oszczędzasz:
- po roku nieprzerwanej prenumeraty zapewnimy Ci **30% rabatu** na kolejny rok,
- po dwóch latach wierności zaoferujemy **40% rabatu**,
- po trzech latach lojalności osiągniesz **najwyższy poziom rabatu – 50%!**

Jak otrzymać rabat za lojalność?

Zaloguj się na swoje konto prenumeratora na **www.UlubionyKiosk.pl** i zamów prenumeratę, korzystając z przycisku PRZEDŁUŻ w zakładce „Prenumeraty".

Przeglądaj wcześniej, płać mniej – postaw na e-prenumeratę!

Wybierz prenumeratę cyfrową PDF i ciesz się dostępem do czasopisma nawet 7 dni przed oficjalną premierą w kioskach. Oszczędzaj czas i pieniądze – skorzystaj z **rabatu 30%** na roczną e-prenumeratę w cenie 126,80 zł.

Dodatkowa oferta dla prenumeratorów wersji drukowanej: jeśli już subskrybujesz wersję papierową, możesz dokupić równoległe e-wydania w cenie 36,20 zł/rok – z niesamowitym **rabatem 80%**.

Zyskaj nieograniczony dostęp do zasobów dla pasjonatów elektroniki!

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

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

ARCHIWUM

DIY PLUS
tylko dla prenumeratorów

Zacznij korzystać z pełnych zasobów już dziś!

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

Łatwe do zbudowania kolumny głośnikowe Salad Bowl

Kolumny, których opis zamieszczamy w artykule są utrzymane w stylu retro, ale odznaczają się zaskakująco dobrymi parametrami. Są również dość łatwe do wykonania i nie kosztują majątku. Mojej żonie spodobały się tak bardzo, że chciała, abym umieścił je w salonie!

Oto nasza wizja kolumn przypominających wyglądem miski na sałatkę z oferty IKEA. Koncepcja została szeroko opisana w Internecie, i naszym zdaniem jest naprawdę dobra. Przedstawiamy w pełni funkcjonalną parę głośników, które można postawić zarówno na biurku, jak i na półce. W artykule zawarto kilka sugestii dotyczących dostosowania projektu do własnych potrzeb.

To, co początkowo przyciągnęło nas do tego pomysłu, to połączenie oldschoolowego głośnika sferycznego z niezwykłą prostotą konstrukcji. Chociaż początkowym motywem ich budowy był styl i wygląd, szybko okazało się, że te małe cudeńka mają więcej do zaoferowania.

Producenci głośników szybko stwierdzą, że kula powinna charakteryzować się wysokim rezonansem, jednak nasze testy pokazały, że tak nie jest. Fakt, że głośnik stanowi znaczną część powierzchni kuli powoduje, że parametr Q (dobroć) wewnętrznego rezonansu jest stosunkowo niski. W rezultacie nasze pomiary nie wykazują pików rezonansowych widocznych w charakterystyce częstotliwościowej.

Kolejną zaletą głośnika sferycznego jest brak krawędzi. A może to tylko jedna krawędź? Tak czy inaczej, unika się takich problemów jak dyfrakcja krawędziowa i efekt przegrody. Fakt, że głośniki te są sferyczne sprawia, że są one niezwykle sztywne.

Dyfrakcja krawędziowa powstaje, gdy fale dźwiękowe emitowane przez głośnik rozchodzą się po przedniej ściance obudowy i napotykają jej krawędź, w której następuje nagła zmiana warunków propagacji – z promieniowania w półprzestrzeni do promieniowania w wolnej przestrzeni. Ta zmiana powoduje dyfrakcję na krawędziach głośnika, wpływając na charakterystykę częstotliwościową i zachowanie poza osią ustalającą kierunek rozchodzenia się fal dźwiękowych.

Głośnik sferyczny można zamontować na wiele sposobów. Bez rozwiązania tego problemu, głośniki będą miały tendencję do przewracania się! Wymyśliliśmy kilka opcji, w tym nóżki do wersji biurkowej i stojaki podłogowe typu „rocket", oba pokazane na fotografiach. W wersji biurkowej trzy małe gałki do drzwi zostały użyte jako nóżki.

W opisywanym rozwiązaniu został zastosowany tzw. głośnik koaksjalny SB Acoustics SB12PFCR25-4-COAX składający się z głośnika nisko-średniotonowego i zamontowanego współosiowo głośnika wysokotonowego. Pozwala to osiągnąć naprawdę dobrą wydajność od około 70 Hz w górę. Doskonale sprawdzają się one jako głośniki biurkowe, a także dobrze pasują do każdego z naszych subwooferów z częstotliwością odcięcia 80...100 Hz.

Jeśli jesteś zainteresowany dopasowaniem tych głośników do subwoofera, sprawdź mój projekt Tapped Horn Sub (wydanie z września 2021 r., siliconchip.au/Article/15028), który jest niedrogi i łatwy w budowie. Możesz również rozważyć bardzo wydajny subwoofer aktywny (styczeń i luty 2023, siliconchip.au/Series/390).

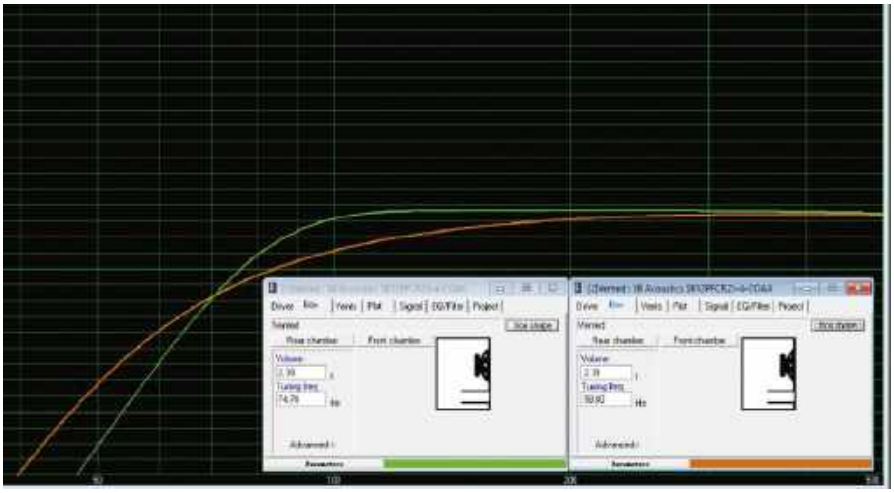
Wybraliśmy ten konkretny głośnik SB Acoustics, ponieważ zawiera głośnik wysokotonowy i zgrabnie rozwiązuje wyzwanie znalezienia miejsca do zamontowania głośnika wysokotonowego. Jedynym innym rozwiązaniem, jakie przyszło nam do głowy, było zamontowanie głośnika wysokotonowego na zewnątrz, co zrobiliśmy w przypadku wersji podłogowej, ale było to naprawdę trudne zadanie.

Dodaliśmy otwór rezonansowy (tunel bass-reflex) do naszej obudowy. Pozwala on rozszerzyć dolne pasmo przenoszenia do około 70 Hz, z użytecznym poziomem wyjściowym poniżej tej częstotliwości. Jest to dobry wynik dla tak małego głośnika i jest rozsądny w zamierzonych zastosowaniach

Cechy i specyfikacja

- **Kompaktowe głośniki pełnozakresowe zapewniające dużą wygodę użytkowania**
- **Prosta konstrukcja**
- **Sferyczna obudowa minimalizująca dyfrakcję**
- **Współosiowy głośnik wysokotonowy zapewniający dobry odsłuch poza osią**
- **Możliwość montażu na biurku lub na podłodze (w tym drugim przypadku za pomocą prostego stojaka)**
- **Pasmo przenoszenia: od 70 Hz do 20 kHz (±3 dB typowo)**
- **Moc: 50 W RMS na kanał**
- **Impedancja: nominalnie 4 Ω**
- **Stosunkowo niski koszt całkowity**

eprasa.pl 6fff7859d1



Rysunek 1. Modelowana charakterystyka częstotliwościowa głośników z tunelem bass-reflex 90 mm (zielona krzywa) lub dostrojonych do 58 Hz z portem 160 mm (pomarańczowa krzywa). Dłuższy port zapewnia większą moc wyjściową poniżej 70 Hz, ale równoważy to zmniejszoną mocą między około 70 Hz a 200 Hz

do użytku biurkowego lub umieszczenia w małym pomieszczeniu. Nie są to jednak głośniki przeznaczone do nagłaśniania imprez tanecznych.

W charakterystyce częstotliwościowej występuje niewielkie podbicie w zakresie 100...200 Hz, wynikające z zastosowania tunelu bass-reflex. Podbicie to pomaga subiektywnie wzmocnić dolne pasmo, kompensując spadek charakterystyki poniżej około 80 Hz. Czarna linia na **rysunku 2** przedstawia charakterystykę niskich częstotliwości uzyskiwaną przy obudowie bez otworu rezonansowego. Pomiń go, jeśli używasz głośników na biurku opartym o ścianę.

Użyliśmy tunelu bass-reflex 25 mm od Wagner Electronics, przyciętego do długości 90 mm. W ten sposób system został dostrojony do rezonansu przy 74 Hz. W praktyce tunel kończy się blisko magnesu głośnika, więc jego efektywna długość wynosi ponad 90 mm. Dzięki takiemu strojeniu uzyskujemy kilka decybeli dodatkowego wzmocnienia basu w dolnej części pasma przenoszenia.

W idealnym przypadku tunel ten miałby długość 160 mm, dostrajając obudowę do 58 Hz, ale w obudowie nie ma na to wystarczająco dużo miejsca (**rysunek 1**).

Koszt

Chociaż kolumny zostały zaprojektowane jako stosunkowo niedrogie, korzystamy z wysokiej jakości głośników firmy SB Acoustics, które kosztują około 90 USD za sztukę. Nie możemy również uniknąć stosunkowo drogich cewek z rdzeniem powietrznym w zwrotnicy, co oznacza, że całkowity koszt budowy tych głośników wyniesie około 350 USD. Mimo to, trudno jest kupić przyzwoitą parę głośników za mniejszą kwotę.

Jeśli pójdziesz na skróty, np. wymyślisz alternatywne nóżki i nawiniesz własne cewki z rdzeniem powietrznym, być może będziesz w stanie zbudować parę za około 300 USD, a nawet mniej.

Zwrotnica

Używana przez nas zwrotnica bazuje na zalecanej przez SB Acoustics z kilkoma drobnymi modyfikacjami. Jest to zwrotnica elektryczna trzeciego rzędu o częstotliwości podziału 2,2 kHz. Trzeci rząd jest wyższy niż ten, który zazwyczaj chcielibyśmy stosować. Mimo to, biorąc pod uwagę, że rezonans głośnika wysokotonowego wynosi 1300 Hz, konieczne jest, aby punkt podziału występował przy rozsądnej częstotliwości.

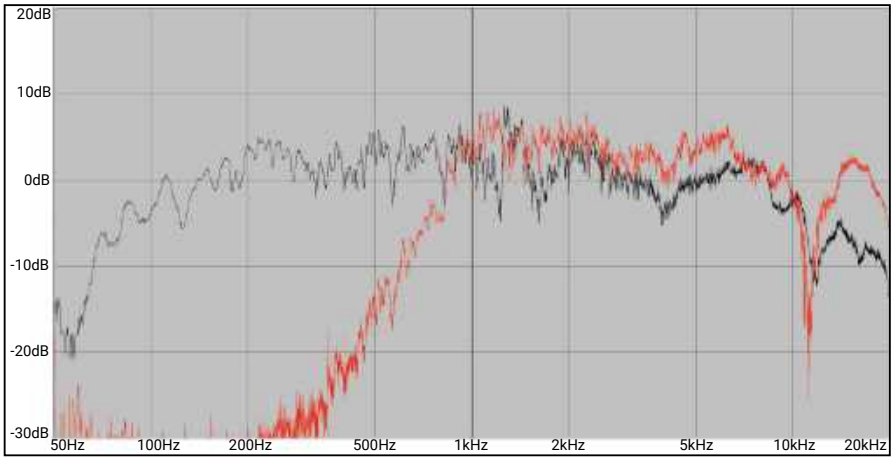
Zmierzona przez nas charakterystyka częstotliwościowa głośnika w obudowie sferycznej (rysunek 2) jest bardzo zbliżona do podanej przez SB Acoustics. Jedyną zauważalną różnicą jest to, że nasz głośnik wysokotonowy był o 1...2 dB mniej czuły niż ich.

Na rysunku 2 przedstawiono surowy pomiar głośnika, wykonany bez jakiejkolwiek obróbki sygnału. Analizujemy go w poszukiwaniu pików i zapadnięć, które – jeśli występują – mogą powodować zabarwienia dźwięku. Na szczęście odpowiedź jest bardzo gładka. Wyraźny dołek w okolicach 12 kHz omówimy później – w skrócie można powiedzieć, że znika on przy odsłuchu poza osią. Nierówności w dolnej części pasma są natomiast wynikiem oddziaływania podłogi oraz akustyki pomieszczenia.

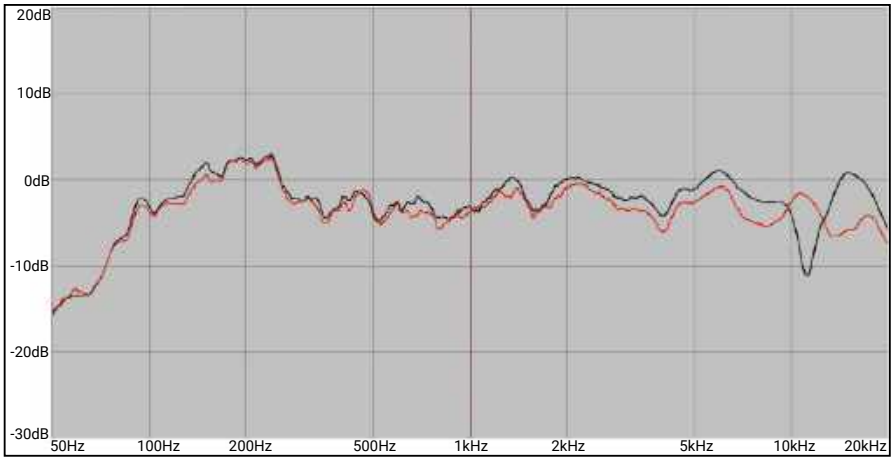
Mieliśmy właśnie rozpocząć nowy projekt zwrotnicy, gdy zauważyliśmy, że SB Acoustics opublikował zalecany jej schemat. Kiedy producent publikuje projekt

Jako podstawki pod głośniki można zastosować wieszaki na ubrania, ponieważ głośniki są małe i lekkie. Można też zbudować podobne podstawki z płyty MDF lub innego drewna. Użyliśmy głośnika bez koncentrycznego głośnika wysokotonowego i zamontowaliśmy głośnik wysokotonowy pod obudową, ale nie wygląda to dobrze i jest trudne w montażu. Dlatego zalecamy pozostanie przy głośnikach współosiowych

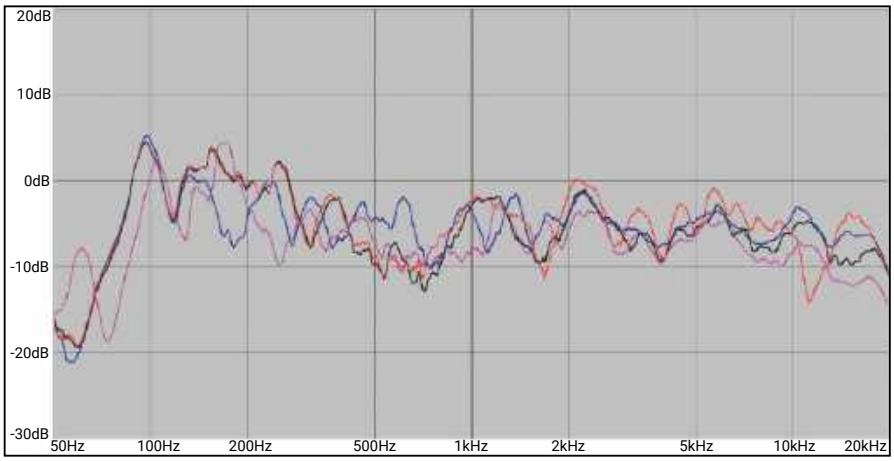
eprasa.pl 6fff7859d1



Rysunek 2. Zmierzona charakterystyka częstotliwościowa głośnika SB Acoustic SB12PFCR25-4 bez żadnych ingerencji w sygnał lub jego wygładzanie. Charakterystyka głośnika niskotonowego jest zaznaczona na czarno, a głośnika wysokotonowego na czerwono. Spadek powyżej 10 kHz został omówiony w tekście



Rysunek 3. Ogólna charakterystyka częstotliwościowa głośnika z wygładzaniem 1/6 oktawy, z odpowiedzią na osi w kolorze czarnym i 15° poza osią w kolorze czerwonym. Jest to bardzo dobry wynik jak na tak prostą konstrukcję. Spadek przy około 12 kHz jest konsekwencją lokalizacji głośnika wysokotonowego. Ponieważ zwrotnica została zoptymalizowana pod kątem odpowiedzi 15° poza osią, spadek ten zniknął z czerwonej krzywej



Rysunek 4. Pasmo przenoszenia kolumny Salad Bowl z wygładzaniem 1/6 oktawy i portem bass-reflex zainstalowanym w różnych lokalizacjach. Czarna krzywa odnosi się do kąta około 15° poza osią, czerwona jest na wprost, niebieska jest podniesiona o około 40 cm i ponownie około 15° poza osią. Krzywa fioletowa odnosi się do lokalizacji po drugiej stronie biurka z podobnym podwyższeniem. Tętnienia niskich częstotliwości z pomieszczenia są bardzo widoczne

referencyjny, zwykle jest to świetny punkt wyjścia. Przetestowaliśmy go.

Ze względu na niewielką średnicę głośnika wysokotonowego zastosowanie zwrotnicy trzeciego rzędu było uzasadnione. Istotne jest bowiem, aby do głośnika wysokotonowego docierało jak najmniej energii w okolicach 1,2 kHz. Głośnik niskotonowy również ma zwrotnicę trzeciego rzędu, co biorąc pod uwagę symetrię ma sens. Sam przetwornik niskotonowy zachowuje się bardzo poprawnie, co pokazano na rysunku 2. Gdyby nie ograniczenia wynikające z zastosowania małego głośnika wysokotonowego, zwrotnica drugiego rzędu mogłaby okazać się lepszym rozwiązaniem.

Wynikowa charakterystyka częstotliwościowa jest pokazana na **rysunku 3**. Uzyskana charakterystyka częstotliwościowa jest bardzo płaska w głównym zakresie pasma audio, aż do około 10...15 kHz. Spadek widoczny pomiędzy 10 kHz a 20 kHz ujawnia się stopniowo wraz z oddalaniem się od osi odsłuchu. Jest to najprawdopodobniej konsekwencja zastosowania współosiowego głośnika wysokotonowego oraz różnic w długościach dróg akustycznych pomiędzy wyjściem głośnika wysokotonowego a cewką drgającą głośnika niskotonowego.

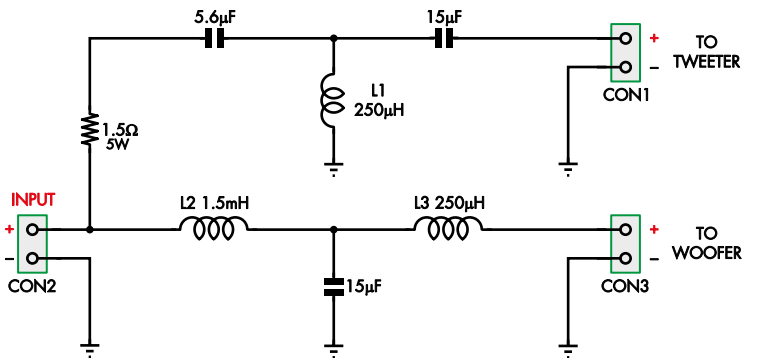
Warto również zauważyć, że na wykresie charakterystyki częstotliwościowej nie widać żadnego śladu działania zwrotnicy przy częstotliwości podziału 2,2 kHz. Krótko mówiąc, zwrotnica ta bardzo dobrze współpracuje z zastosowanym głośnikiem.

Poniższa hipoteza nie została wprawdzie potwierdzona eksperymentalnie, jednak długość fali dla częstotliwości 12 kHz wynosi około 27 mm, a niepożądana interferencja może wystąpić już przy różnicy dróg akustycznych rzędu 10...15 mm. Biorąc pod uwagę położenie stożka głośnika wysokotonowego względem krawędzi cewki, spadek częstotliwości ma sens. Wyjaśnia to również, dlaczego spadek zmienia się wraz z częstotliwością i zanika w miarę oddalania się od osi.

To wahanie widoczne w charakterystyce ma częstotliwość bliską granicy tego, co większość ludzi słyszy, więc nie jest to istotna kwestia.

Nasza charakterystyka częstotliwościowa została sporządzona dla punktu leżącego 1,2 m nad podłogą w odległości 30 cm, w tej samej odległości, w której producent wyznaczył swoje charakterystyki. Podczas użytkowania głośników na biurku – zgodnie z ich docelowym przeznaczeniem – spadek ten nie jest zauważalny. Pojawia się on wyłącznie w warunkach pomiaru głośnika w wolnej przestrzeni.

eprasa.pl 6fff7859d1



Rysunek 5. Układ zwrotnicy zapewnia filtr górnoprzepustowy trzeciego rzędu (HPF) dla głośnika wysokotonowego i filtr dolnoprzepustowy trzeciego rzędu (LPF) dla głośnika niskotonowego, z częstotliwością podziału około 2,2 kHz. Nie występuje odwrócenie fazy. Zastosowaliśmy rezystor 1,5 Ω, ponieważ zapewnił lepszą równowagę w naszych głośnikach niż sugerowane 2,2 Ω. Jeśli jednak głośniki wysokotonowe są mniej lub bardziej czułe niż nasze, jego wartość można zmienić

Na wykresach widoczne są również inne artefakty, które w naszej lokalizacji testowej wynikały z obecności elementów otoczenia, takich jak monitor, klawiatura, a prawdopodobnie nawet filiżanka z kawą. Widoczne piki i zapadnięcia zmieniają swoje położenie wraz z przemieszczaniem się wokół głośnika. Na **rysunku 4** przedstawiono kilka pomiarów głośnika w różnych lokalizacjach.

Ocena subiektywna

Nasze głośniki brzmią bardzo dobrze przy zastosowaniu standardowej zwrotnicy. Zdecydowaliśmy się jednak na dwie drobne modyfikacje. Po pierwsze, zmniejszyliśmy wartość rezystora tłumiącego głośnik wysokotonowy, uzyskując około 1 dB wzmocnienia w zakresie wysokich częstotliwości.

Po drugie, w oryginalnym projekcie OEM zastosowano cewkę szeregową 0,4 mH w torze głośnika niskotonowego. Dysponowaliśmy jednak kilkoma cewkami o indukcyjności 250 µH, a obliczenia wykazały, że różnica w działaniu będzie pomijalna, dlatego zdecydowaliśmy się na ich użycie.

Biorąc pod uwagę, jak dobrze te pomiary wypadły, odłożyliśmy na półkę wszelkie pomysły przeprojektowania zwrotnicy. Po co psuć coś, co działa? Ostateczna zwrotnica została przedstawiona na **rysunku 5**.

Zmiana rezystora szeregowego głośnika wysokotonowego z 2,2 Ω na 1,5 Ω zwiększy skuteczność tego głośnika o około 1 dB i nieznacznie poprawi tłumienie. Biorąc pod uwagę występujące częstotliwości, nie jest prawdopodobne, aby zmniejszona czułość była konsekwencją kulistej obudowy.

Budując ten głośnik, warto sprawdzić, jakie rezystancje zapewnią najbardziej naturalny dźwięk w danym zastosowaniu. Warto rozważyć eksperymentowanie z wartościami, powiedzmy, 1 Ω, 1,5 Ω i 2,2 Ω.

Uwagi praktyczne

Miejsce montażu zwrotnicy było nieco kłopotliwe. Zazwyczaj wykonujemy płytkę drukowaną i przykręcamy ją do obudowy. W tym przypadku nie ma takiej możliwości, ponieważ obudowa jest kulista i nie ma płaskich powierzchni do wykorzystania. Jest też bardzo mało miejsca do zagospodarowania.

Stworzyliśmy więc płytkę drukowaną z zaokrąglonymi krawędziami, którą można przykleić do podstawy głośnika. Płytka jest dopasowana do otworu w głośniku, a cewkę 1,5 mH umieściliśmy tak, aby można ją było docisnąć do tunelu bass-reflex i skleić ze sobą (**fotografia 1**). Do przyklejenia płytki drukowanej zwrotnicy do obudowy użyliśmy silikonu o neutralnym utwardzaniu. Taki uszczelniacz przyklei się do prawie wszystkiego, a po związaniu jest bardzo sprężysty.

Budowa głośników

Jedyną „trudną" częścią budowy tych głośników jest odcięcie dna jednej miski w celu umieszczenia głośnika. Jeśli masz frezarkę lub możesz ją pożyczyć, będzie to znacznie łatwiejsze niż mogłoby się wydawać. Uważamy, że przy solidnym unieruchomieniu miski możliwe jest wykonanie tego wycięcia ręcznie, ponieważ jej ścianka ma zaledwie około 8 mm grubości. Wystarczy do tego niewielka piła ręczna do drewna z drobnym uzębieniem.

Gdy odetniemy dno miski, co jak już wiemy jest potrzebne do tego, by zamontować głośnik, potrzebujemy odpowiedniej ilości materiału do wkręcenia w niego śrub. Aby to osiągnąć, wzięliśmy ścinek płyty MDF i za pomocą wyrzynarki wycięliśmy w niej dwa okręgi o średnicy 120 mm. Następnie użyliśmy tarczy szlifierskiej o ziarnistości 80 zamocowanej w wiertarce. Pozwoliło to uzyskać zgrubne dopasowanie do misek (**fotografia 2**). Dopasowanie nie musi być idealne, uszczelnimy je wypełniaczem akrylowym.

Fotografia 1. Widać, jak tunel bass-reflex, głośnik i zwrotnica są dopasowane do kulistej obudowy, która została wykonana poprzez sklejenie dwóch misek sałatkowych. Widać również pierścień wzmacniający z płyty MDF za okrągłym wycięciem na głośnik

Fotografia 2. Ze ścinków (po lewej) wycięliśmy prowizorycznie dwa 120-milimetrowe dyski MDF, a następnie dopasowaliśmy je do dna miski używając tarczy szlifierskiej o ziarnistości 80 zamocowanej w akumulatorowym uchwycie wiertarskim (po prawej)

Fotografia 3. Do dna miski jest przytwierdzony krążek wzmacniający za pomocą akrylowego wypełniacza szczelin. Zanim to zrobisz, upewnij się, że jest dobrze dopasowany, pozostawiając szczeliny o szerokości mniejszej niż 5 mm dookoła

eprasa.pl 6fff7859d1

Podczas cięcia i szlifowania płyt MDF należy używać maski N95 i pracować na zewnątrz (jeśli to możliwe). Dobrym pomysłem jest także korzystanie z odkurzacza, który zbiera trociny podczas pracy. Pył MDF stanowi zagrożenie dla zdrowia.

Po zgrubnym dopasowaniu drewna, pozostawiając szczelinę o szerokości około 5 mm, nałóż obficie wypełniacz akrylowy wokół pochyłej części i wciśnij go w dno miski, jak pokazano na **fotografii 3**. Dla ułatwienia montażu warto wywiercić otwór w środku płyty MDF, aby umożliwić ujście powietrza. Całość należy pozostawić na kilka dni, aż masa całkowicie zwiąże.

Dopasowanie

Do wycięcia płaskiej części podstawy miski do zewnętrznej średnicy 122 mm, dopasowanej do głośnika SB12PFCR25-4-COAX, użyliśmy prowadnicy do frezowania okręgów oraz frezarki. Prowadnica ta została opisana na stronie 61 numeru Silicon Chip ze stycznia 2023 roku. Umieściliśmy miskę górą do dołu na stole warsztatowym i wywierciliśmy otwór w środku podstawy, aby wyśrodkować frezarkę. Wykonaj ten krok w dwóch lub trzech cięciach i nie tnij zbyt głęboko.

Krótko mówiąc, przyrząd do wycinania okręgów to aluminiowy pręt z wywierconymi otworami umożliwiającymi przykręcenie go do frezarki. W różnych odległościach od frezarki znajdują się również inne otwory. Po luźnym przykręceniu jednego z nich do środkowego otworu wywierconego w misce, frezarka obróci się wokół tego punktu i utworzy idealny okrąg.

Jesteśmy prawie pewni, że pewna ręka, kilka zacisków i piła do drewna z drobnym uzębieniem wystarczą do wykonania tego zadania, a nawet mogą być łatwiejsze i mniej brudzić.

Wycinanie otworu na głośnik

Głośnik pasuje do 102-milimetrowego otworu w podstawie, widocznego na **fotografii 4**. Zaznacz go cyrklem i wytnij piłą ręczną lub wyrzynarką. Otwór jest dość mały, więc można go bez większego wysiłku zrobić ręcznie. Sprawdź, czy głośnik pasuje do otworu, a w razie potrzeby wyfrezuj wycięcie tak, aby zaciski nie kolidowały z otworem.

Dopasowanie tunelu bass-reflex

Jeśli głośniki mają być używane na biurku i ustawione blisko ściany, warto zrezygnować z tunelu bass-reflex. W takim ustawieniu wzmocnienie niskich częstotliwości wynikające z bliskości ściany i narożnika jest wystarczające, a obudowa bez otworu rezonansowego sprawdzi się lepiej.

Jeżeli tunel został już zamontowany, w takich warunkach można go po prostu zatkać, na przykład kawałkiem miękkiego materiału.

Przy użytkowaniu głośników w wolnej przestrzeni, bez subwoofera, zastosowanie tunelu bass-reflex jest korzystne, gdyż poprawia reprodukcję niskich częstotliwości.

Jeśli dodajesz tunel bass-reflex, wykonaj odpowiedni otwór na tym etapie. Użyliśmy otwornicy o średnicy 32 mm, a następnie rozwierciliśmy otwór do wymaganej średnicy 33 mm. Otwór został umieszczony 50 mm poniżej osi symetrii miski (**fotografia 5**), dzięki czemu tunel bass-reflex jest skierowany ku górze wewnątrz obudowy.

Aby uzyskać długość 90 mm, należy skrócić tunel bass-reflex firmy Wagner o średnicy 25 mm o 10 mm. W przeciwnym razie będzie on później kolidował z magnesem głośnika.

Otwór wykonaliśmy na tyle ciasny, że tunel trzeba było wcisnąć z wyraźnym oporem. Jeśli otwór okaże się zbyt duży, tunel bass-reflex należy ustabilizować i uszczelnić wypełniaczem akrylowym.

Złącza głośnikowe

Użyliśmy bardzo prostych wtyków bananowych/zaciskowych. Moc głośników jest na tyle niewielka, że nie będą płynąć duże prądy, ale uważamy, że takie gniazda są lepsze niż tanie zaciski sprężynowe. Umiejscowienie złączy jest w dużej mierze kwestią wygody, nasze rozwiązanie pokazano na fotografii 5.

Gniazda wymagają otworu o średnicy 8 mm, chociaż wolimy zacząć od mniejszego i użyć pilnika, aby uzyskać dobre dopasowanie do fazowanego wpustu w części gwintowanej. Zapobiega to ich poluzowaniu i obracaniu się.

Nasze doświadczenie w budowaniu prototypu pokazało, że możliwe jest przylutowanie przewodów do tych zacisków, gdy znajdują się one w zmontowanym głośniku, ale jest to trudne. Zalecamy wstępną instalację okablowania do zacisków. Przylutuj 30 cm czarnego i czerwonego przewodu do każdej pary i na połączeniach lutowanych dodaj rurkę termokurczliwą o średnicy 6 mm. Przewody można przyciąć na odpowiednią długość po podłączeniu ich do zwrotnicy.

Montaż nóżek

Jak wspomniano wcześniej, kolumny ustawione na biurku muszą mieć zamontowane nóżki. My użyliśmy mosiężnych

Fotografia 4. Otwór o średnicy 102 mm wycięty zarówno w podstawie miski (już dostosowanej tak, aby miała większą płaską powierzchnię), jak i w dysku wzmacniającym MDF, pozostawiając jedynie pierścień

Fotografia 5. Płaska część podstawy naprzeciwko wycięcia na głośnik jest dobrym miejscem do zamontowania dwóch zacisków głośnikowych, natomiast tunel bass-reflex jest przesunięty tak, że jest skierowany w dół i nie koliduje z wewnętrzną zwrotnicą

Fotografia 6. Gotowe kolumny wyglądają elegancko, choć trochę nietypowo. Fani sztuki postmodernistycznej mogliby pomalować je na biało i dodać czerwone, falujące promieniste linie wokół głośników, aby wyglądały jak gałki oczne!

eprasa.pl 6fff7859d1

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

gałek do drzwi, ponieważ uznaliśmy, że wyglądają ładnie i są łatwe w montażu. Nie są drogie, ale jest ich sześć, więc całkowita cena odpowiednio rośnie. Możesz też wymyślić własne rozwiązanie.

Nóżki są widoczne na fotografiach 5 i 6. Pasują one do otworów o średnicy 4 mm wywierconych w sposób pokazany na **rysunku 6**. Niezależnie od tego, jakie nóżki wybierzesz, upewnij się, że umieścisz je tak, aby kolumna była stabilna. Umieszczenie nóżek musi uwzględniać środek ciężkości ciągnięty do przodu przez ciężar magnesu głośnika.

Gałki Bunnings są dostarczane z długimi śrubami, które można przyciąć, a następnie spiłować końce, aby zapewnić, że wkręcą się w gałki bez przyklejania. Można do tego użyć pilnika do metalu.

Sklejanie elementów

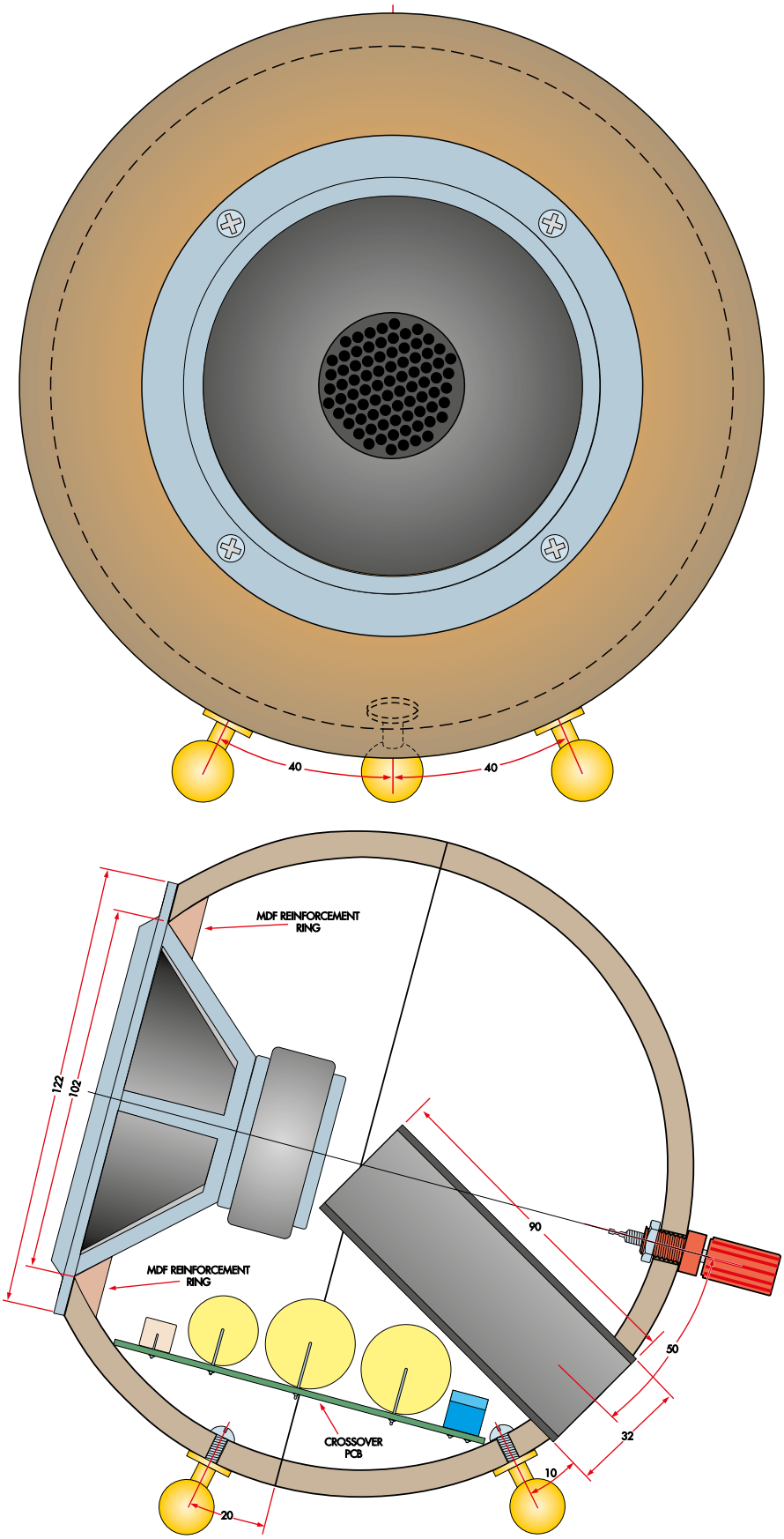
Sklejenie dwóch misek jest tak proste, jak można sądzić. Do usunięcia połysku z krawędzi misek i wokół ich wnętrza użyliśmy papieru ściernego o ziarnistości 120. Zapewniamy tym samym dobrą powierzchnię do przylegania kleju.

Następnie zmieszaliśmy pięciominutową żywicę epoksydową (Araldite), łyżeczkę lub mniej na miskę. Do nałożenia niewielkiego koralika wokół górnej krawędzi podstawy miski użyj kawałka cienkiego drutu o średnicy około 1 mm. Nasze wskazówki są następujące:

- Nie używaj zbyt dużej ilości kleju, ponieważ wycieknie on wokół złącza.
- Przygotuj wszystko przed rozpoczęciem nakładania kleju. Klej zastygnie w mniej niż pięć minut, więc nie ma czasu na bałagan.
- Przygotuj się do usuwania rozlanych płynów, miej przygotowane ściereczki i alkohol izopropylowy/biały spirytus.
- Musisz wiedzieć, jak chcesz ustawić miski. Nasze były tak przypadkowe, że w pewnym sensie się poddaliśmy, ale musisz być bardziej wymagający niż my.

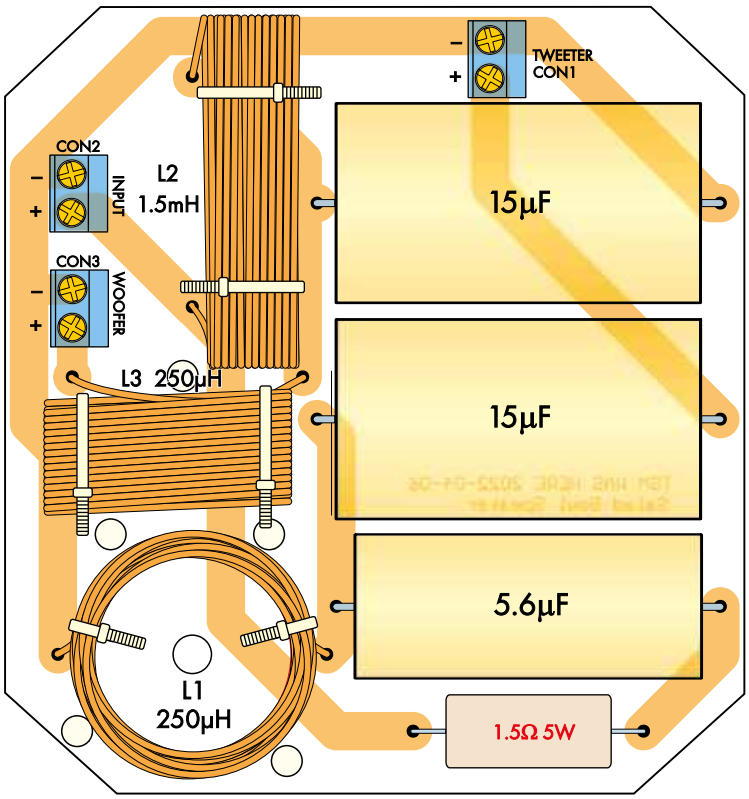
Gdy na dolnej misce utworzy się cienka warstwa kleju, delikatnie umieść na niej górną miskę. Bardzo delikatnie pokręć nią, aby zadbać o to, by obie strony były zwilżone i sprawdź, czy wszystko jest wyrównane. Odstaw całość na chwilę.

Po związaniu głównego połączenia, wymieszaj kolejną porcję kleju i używając patyczka do lodów lub podobnego narzędzia, rozprowadź warstwę kleju wokół złącza wewnątrz sklejonych misek. Upewnij się, że połączenie jest szczelne. Dzięki chropowatej powierzchni połączenie epoksydowe będzie niezwykle mocne.

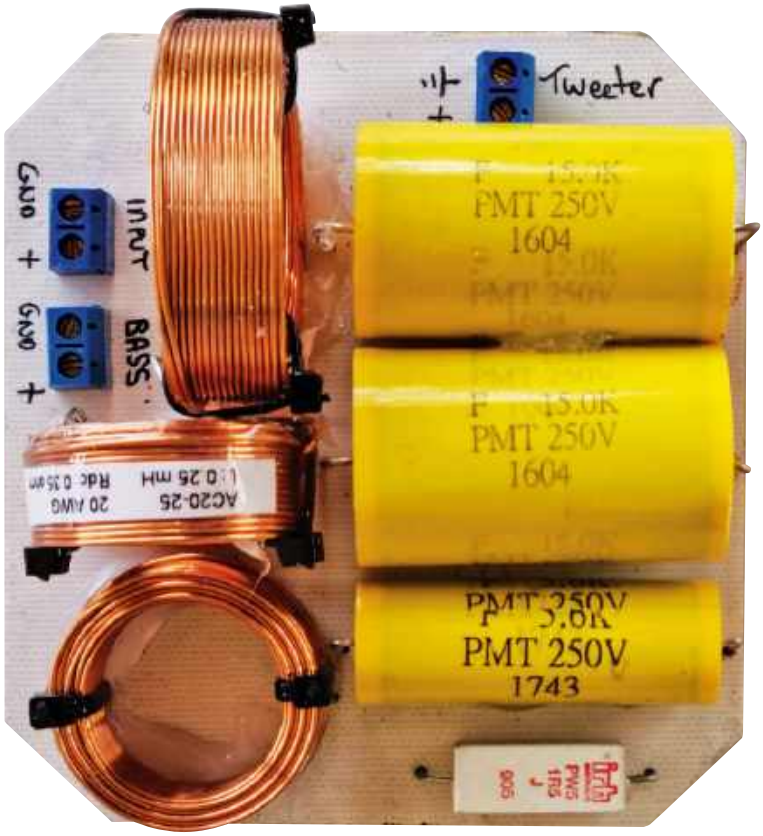


Rysunek 6. Widoki zmontowanego głośnika dające dobre wyobrażenie o względnych lokalizacjach głośnika, nóżek, tunelu bass-reflex, zwrotnicy i końcówek. Niektóre z nich można nieznacznie zmienić, ale uważamy, że nasz projekt jest zbliżony do optymalnego

eprasa.pl 6fff7859d1



Rysunek 7. Płytka drukowana zwrotnicy jest prosta w montażu. Na rysunku pokazano kondensatory jako elementy osiowe poliestrowe. Osiowe bipolarne kondensatory elektrolityczne są znacznie tańsze, zwłaszcza w przypadku kondensatora 15 µF, i będą działać właściwie. Upewnij się, że cewki są zamontowane zgodnie z rysunkiem, ich pola magnetyczne nie oddziaływają na siebie (zbytnio) w takim ułożeniu



Prototyp zwrotnicy był na tyle prosty, że sami wykonaliśmy płytkę drukowaną. Zalecamy użycie elektrolitycznych kondensatorów zwrotnicy zamiast dwóch dużych kondensatorów polipropylenowych 15 µF pokazanych tutaj

Montaż zwrotnicy

Płytka drukowana zwrotnicy ze ściętymi narożnikami jest oznaczona kodem 01109231 i ma wymiary 98 mm × 104 mm (**rysunek 8**).

Płytkę PCB pokazaną na fotografiach wytrawiliśmy sami, ponieważ projekt jest prosty. Sprzedawane PCB będą z nią identyczne.

Nasze fotografie pokazują żółte kondensatory polipropylenowe 15 µF, których pojemność jest nieco przesadzona, użyliśmy ich, ponieważ były pod ręką. Zastosowaliśmy bipolarne kondensatory elektrolityczne 15 µF/100 V, ponieważ będą one działać doskonale i zostały przez nas zakupione podczas budowy kolejnej pary głośników.

Zostawiliśmy miejsce na cewkę 400 µH, która może być użyta zamiast zalecanej cewki 250 µH. Wszystkie testy zostały przeprowadzone z cewką 250 µH, ale można eksperymentować. Nie spodziewamy się dużej różnicy w wydajności w przedziale od 250 µH do 400 µH.

Jeśli chcesz poeksperymentować, poprowadź przewody od głośników przez tunel bass-reflex do zwrotnicy. Przed umocowaniem zwrotnicy do głośnika należy ją odpowiednio ustawić.

Montaż jest prosty. W pierwszej kolejności należy zamontować zaciski śrubowe. Można też po prostu przylutować przewody i zaoszczędzić na kosztach. Jeśli zdecydujesz się to zrobić, przylutuj 30-centymetrowe przewody do złączy głośnika basowego i wysokotonowego i oznacz je, aby móc je rozróżniać. Przewody wejściowe powinny być już przylutowane do złączy wejściowych.

Następnie zamontuj rezystor. Nie musi on wystawać poza płytkę drukowaną, ponieważ jego ewentualne nagrzewanie może być groźne dla głośnika wysokotonowego. Dlatego dobrze jest docisnąć go płasko przed lutowaniem i przycięciem wyprowadzeń.

Następnie zamontuj kondensatory, z których żaden nie jest spolaryzowany. Umieść pod każdym z nich odrobinę neutralnie utwardzanego uszczelniacza silikonowego, co zapobiegnie ich wibracjom.

Na koniec przylutuj cewki. Należy pamiętać, że wszystkie są ustawione pod kątem prostym do pozostałych, aby zapewnić, że pola magnetyczne nie będą na siebie oddziaływać. Upewnij się, że trzymasz się tego układu. Ponownie przyklej każdą z nich na miejscu za pomocą silikonu o neutralnym utwardzeniu.

Po zamontowaniu wszystkich komponentów, sprawdź lutowanie i zanim przejdziesz do dalszych prac upewnij się, że wszystkie elementy są na właściwym miejscu. Przed przejściem do końcowego montażu odczekaj, aż silikon w pełni się utwardzi.

eprasa.pl 6fff7859d1

Wykaz elementów:
2 głośniki współosiowe SB Acoustics 120 mm [Wagner SB12PFCR25-4-COAX]
2 tunele bass-reflex PortBASS o średnicy 25 mm i długości 100 mm [Wagner PORT1X4L]
4 miski sałatkowe IKEA [miska bambusowa BLANDA MATT 20 cm, 002.143.41]
2 płyty MDF 16 mm lub ścinki, co najmniej 120 mm × 120 mm każda
2 czerwone gniazda do podłączenia końcówek głośnikowych [Altronics P9252]
2 czarne gniazda do podłączenia końcówek głośnikowych [Altronics P9254]
6 kulkowych klamek do drzwi [Bunnings Prestige 15 mm Brass Ball Knob, 4021268]
3 2-metrowe odcinki przewodu połączeniowego o podwyższonej obciążalności (biały/niebieski, czarny i czerwony) [Altronics W2270, W2272 i W2274, Jaycar WH3050, WH3052 & WH3040]
1 rurka termokurczliwa o długości 100 mm i średnicy 6 mm
8 wkrętów do drewna z łbem stożkowym 6G × 20 mm (najlepiej czarnych)
2 kawałki waty akrylowej o grubości 50 mm lub podobnej 400 mm × 150 mm (w przybliżeniu)
1 mała tubka 5-minutowej żywicy epoksydowej [np. Araldite]
1 tubka 310 ml białego wypełniacza szczelin SikaSeal Acrylic 100 [Bunnings 1670226]
2 zwrotnice (patrz niżej)

Płyta Crossover (zwrotnica głośnikowa) – elementy do montażu jednej płytki
1 jednostronna płytka drukowana z kodem 01109231, 98 mm × 104 mm
2 cewki zwrotnicy z rdzeniem powietrznym 250 μH (L1, L3) [Wagner AC20-25]
1 cewka zwrotnicy z rdzeniem powietrznym 1,5 mH (L2) [Wagner AC201-5]
2 niespolaryzowane kondensatory elektrolityczne zwrotnicy 15 μF 100 V [Wagner 15RY100, Jaycar RY6910]
1 metalizowany polipropylenowy kondensator zwrotnicy 5,6 μF 100 V [Wagner PMT5.6, Jaycar RY6955]
3 podwójne listwy zaciskowe mini, raster 5,08 mm (opcjonalnie; CON1...CON3)
1 rezystor 1,5 Ω 5 W 5% (może być zmieniany w celu dostosowania balansu tonów wysokich, patrz tekst)

Końcowy montaż głośnika

Przed zamontowaniem wszystkiego na miejsce sprawdźmy, czy całość działa, ponieważ później trudno będzie wymontować zwrotnicę. Kolejne czynności wykonaj na stole. Odetnij krótki odcinek wszystkich luźnych przewodów i podłącz przewody od złącza wejściowego do zacisków wejściowych.

Następnie podłącz głośnik niskotonowy i wysokotonowy do odpowiednich wejść zwrotnicy, ale na tym etapie podłącz tylko przewody uziemiające po stronie głośnika. Do testu chcemy tylko dotknąć dodatniego przewodu. Można go rozpoznać, ponieważ połączenia głośnika niskotonowego są zakończone solidną blaszką, która wchodzi do głośnika, a połączenia głośnika wysokotonowego są prowadzone cienkimi przewodami biegnącymi do tylnej części magnesu.

Podłącz sygnał do wejść i dotknij dodatniego przewodu basowego do zacisku na głośniku. Powinieneś słyszeć tylko niższe częstotliwości sygnału testowego. Przetwornik umieszczony na stole nie będzie wytwarzał żadnych prawdziwych basów. Jeśli zamiast tego słyszysz wysokie tony lub nie słyszysz nic, sprawdź połączenia.

Następnie podłącz przewód dodatni głośnika wysokotonowego do zacisku w głośnikach. Powinieneś usłyszeć „syczące" wysokie tony. Nie będą one głośne. Jeśli nic nie słyszysz lub słyszysz tylko przytłumiony dźwięk, sprawdź okablowanie i wartości elementów.

Uznając, że wszystko jest w porządku, zamontuj zwrotnicę w obudowie. To, jak powinna być zamontowana dobrze pokazano na **fotografii 7**. Należy wyrównać cienką oś z otworem i najpierw włożyć cewkę 1,5 mH, ponieważ musi być zainstalowana z tyłu, aby zrobić miejsce. Obciążenie umiejscowione z tyłu poprawi ponadto równowagę głośnika.

Zaplanuj jak będziesz wkładać i wyjmować poszczególne elementy, i upewnij się, że jest wystarczająco dużo wolnego miejsca – w razie potrzeby wyfrezuj otwór.

Teraz możemy sfinalizować okablowanie. Przytnij przewody wejściowe i wyjściowe tak, aby po umieszczeniu głośnika przed obudową uzyskać wystarczającą długość do umocowania zwrotnicy. Przylutuj połączenia dla głośnika niskotonowego, wysokotonowego i wejścia sygnału. Ważne jest, aby podczas podłączania przewodów na zaciski głośnikowe nałożyć koszulki termokurczliwe o średnicy 6 mm. Zaciski te znajdują się blisko zwrotnicy i nie chcemy, aby doszło do ich zwarcia.

Teraz nałóż na spód płytki drukowanej w każdym z zaokrąglonych rogów spore krople neutralnie utwardzanego silikonu. Następnie zamontuj płytkę, mając pod ręką chusteczki/szmatki do czyszczenia palców. Na koniec włóż zwrotnicę do obudowy głośnika. Jak się przekonasz, czynność ta przypomina nieco łamigłówkę, ale zwrotnica wchodzi i może przylegać do tunelu bass-reflex.

Upewnij się, że pod płytką drukowaną nadal znajduje się silikon, a miejsca na obudowie, które nieopatrznie otarłeś, natychmiast wyczyść.

Płytka drukowana nie może w przyszłości przesuwać się w obudowie. Do odpowiedniego zabezpieczenia użyliśmy długiego śrubokręta, którym dodaliśmy trochę nadmiarowego silikonu między ścianą obudowy a górną częścią każdego rogu płytki drukowanej.

Pozostaw teraz głośniki do utwardzenia silikonu. Nie należy się spieszyć, ponieważ silikon nie zapewnia odpowiedniej

Fotografia 7. Zbliżenie pokazujące umiejscowienie płytki zwrotnicy zapewniające, że najbliższa cewka omija rurkę tunelu bass-reflex

Fotografia 8. Kolumna tuż przed ostatecznym zamocowaniem głośnika, z luźno upchaną w środku watą akustyczną

eprasa.pl 6fff7859d1

wytrzymałości, dopóki się nie utwardzi. Do tłumienia drgań głośnika użyliśmy małego kawałka waty akrylowej (**fotografia 8**).

Do wytłumienia wystarczy pianka otwartokomórkowa, wata akrylowa lub zawartość nieużywanej poduszki. Lekko wypełnij obudowę i upewnij się, że port nie jest całkowicie zablokowany.

Na koniec zamocuj głośnik. Zamontowaliśmy go używając poziomych zacisków. Gwarantuje to, że nie będą one ocierać się o elementy zwrotnicy.

Upewnij się, że każdy głośnik jest obrócony o taki sam kąt. Śruby będą wtedy ustawione w jednej linii zapewniając dobry efekt. Wywierciliśmy otwór pilotażowy o średnicy 1,5 mm dla każdego wkrętu i użyliśmy wkrętów do drewna 6GA. Należy je delikatnie dokręcić ręką. Muszą one zabezpieczyć głośnik na tyle dobrze, aby uzyskać uszczelnienie powietrzne.

Testowanie i konfiguracja

Nadszedł wreszcie czas na zabawę! Zauważysz, że efektywność akustyczna pomiędzy głośnikiem umiejscowionym na stole, a głośnikiem w obudowie jest tak różna jak noc i dzień. Byliśmy zaskoczeni mocą basu, jaką zapewniają nasze małe kolumienki.

Zacznij delikatnie i odtwórz jakiś program, sprawdzając, czy z głośników wysokotonowych i niskotonowych wydobywa się jakiś dźwięk. Jeśli dzieje się coś dziwnego, to jest czas na sprawdzenie. Gdy wszystko działa poprawnie, możesz znaleźć miejsce, w którym chcesz umieścić głośniki.

Często masz w tym zakresie zaledwie niewielką swobodę. Spróbuj znaleźć miejsce z wolną przestrzenią wokół i za głośnikami. Zauważyliśmy, że po umieszczeniu głośników bezpośrednio przy ścianie/biurku, basy były wzmacniane, z wyraźnym szczytem w tym zakresie częstotliwości. Jak wspomniano wcześniej, zablokowanie tuneli bass-reflex powinno to ograniczyć.

Nie należy ustawiać głośników na wprost pozycji odsłuchowej, choć na biurku jest to mniej istotne. Zwrotnica jest optymalna dla lekko przesuniętej pozycji odsłuchowej.

Obserwacje

Naszemu najbardziej zagorzałemu krytykowi w domu bardzo spodobał się styl kolumn. Uważamy, że jest interesujący, zarówno pod względem wizualnym, jak i pod względem parametrów akustycznych. Nie występują zauważalne dyfrakcje, co zresztą widać na wykresach.

Współosiowy głośnik naprawdę spełnił nasze oczekiwania, zapewniając spójne wrażenia dźwiękowe w szerokim zakresie kątów.

Głośnik Salad Bowl (nie pokazano w rzeczywistym rozmiarze)

Niskie tony zaskoczyły nas najbardziej. Nie jest to głośnik dyskotekowy, ale dobrze nadaje się do umiarkowanego słuchania. Jak sugerują pomiary, dźwięk jest czysty i wolny od irytujących cech.

Gdy ustawiliśmy kolumnę w rogu słychać było uwypuklone basy, więc w takiej lokalizacji nie używalibyśmy tunelu bass-reflex.

Chociaż moc znamionowa głośników wynosi 50 W, należy zachować pewną dyskrecję podczas odtwarzania przez nie głębokich basów. Są one przeznaczone do małych pomieszczeń, na biurka komputerowe itp.

Chociaż impedancja głośników wynosi nominalnie 4 Ω, w większości zakresu audio stanowią one dość łagodne obciążenie o impedancji wyższej niż znamionowa. Każdy nowoczesny wzmacniacz wysteruje je bez problemu. Nasz niedrogi, kompaktowy moduł wzmacniacza Hummingbird jest idealny (wydanie z grudnia 2021 r., siliconchip.au/Article/15126; EdW 8/2024).

Głośniki zapewniają użyteczną moc wyjściową w paśmie od 70 Hz do 20 kHz i pewną moc wyjściową poniżej 70 Hz. W większości tego zakresu charakterystyka częstotliwościowa jest dość płaska przy spadkach ±3 dB. ■

Phil Prosser

Materiały dodatkowe dostępne są na stronie Silicon Chip:
https://www.siliconchip.com.au/Shop/8/6802

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 6fff7859d1

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 6fff7859d1

Przystawka do pomiaru zespołów głośnikowych

Opisywany układ stanowi uzupełnienie komputerowej karty dźwiękowej, umożliwiając pomiar głośników, zespołów głośnikowych oraz elementów zwrotnic – cewek, kondensatorów i innych dwójników. Dzięki opisywanej przystawce i odpowiedniemu oprogramowaniu pomiar i dostrajanie zwrotnic, głośników i zespołów głośnikowych stają się całkiem łatwe.

Do projektowania i budowy zespołów głośnikowych konieczne jest użycie zestawu pomiarowego wyposażonego w dobry mikrofon. Zestaw powinien zapewniać możliwość pomiaru impedancji głośników i elementów zwrotnic głośnikowych. Dzięki naszej przystawce testowej wszystkie pomiary głośników można przeprowadzać w warunkach domowych, nie wydając fortuny na sprzęt pomiarowy. Przystawka jest interfejsem do komputera osobistego. Umożliwia pomiar impedancji zespolonej, co bardzo pomaga przy konstruowaniu zwrotnic. Przy tym zadaniu nie pomoże nawet najlepszy multimetr, jako że impedancja jest zależna od częstotliwości i zawiera składniki rzeczywiste i urojone. Do przystawki można dołączyć mikrofon, co umożliwi analizę działania głośników.

Rysunek 1 przedstawia przykładowy wykres impedancji i fazy 12-calowego głośnika niskośredniotonowego większej mocy, o częstotliwości rezonansowej 60 Hz. Przy tej częstotliwości, na wykresie fazy (kropkowanym) występuje raptowny skok od około +55° do –55°. Tego rodzaju wykres można oczywiście sporządzić ręcznie na papierze w oparciu o wyniki pomiarów z użyciem oscyloskopu. Komputer i karta dźwiękowa, uzupełnione naszą przystawką testową, mogą jednak wykonać tego rodzaju pomiar w ciągu kilku sekund.

Na rysunku 2 pokazano schemat toru pomiarowego opartego na koncepcji „Wallin Jig", za której twórcę uchodzi Eric Wallin. Koncepcja ta stanowi de facto standard testowania systemów głośnikowych z pomocą komputera. Tor pomiarowy wykorzystuje lewy kanał wyjściowy karty dźwiękowej komputera jako źródło sygnału sterującego, doprowadzanego poprzez dodatkowy stopień mocy i szeregowy rezystor odniesienia do testowanego elementu (DUT) – „Device Under Test"; przypis redaktora. Lewy kanał wejściowy karty mierzy sumę napięć na rezystorze odniesienia i na testowanym elemencie, prawy kanał wejściowy – napięcie bezpośrednio na testowanym elemencie.

Pełny tor pomiarowy wymaga następujących elementów:

- Komputer PC lub Mac z kartą dźwiękową.
- Oprogramowanie testowe. Polecamy *Room EQ Wizard* (REW, Windows/Mac) lub stary dobry *Speaker Workshop* (tylko Windows). Oba są bezpłatne.
- Mikrofon pomiarowy.
- Przystawka do pomiaru zespołów głośnikowych, opisana w tym artykule, w skład której wchodzą:
  - Wzmacniacz audio o mocy kilku watów
  - Przedwzmacniacz mikrofonowy
  - „Skalibrowany" rezystor odniesienia o mocy kilku watów
  - Układ przełączający

Bardzo przydatne będą również:

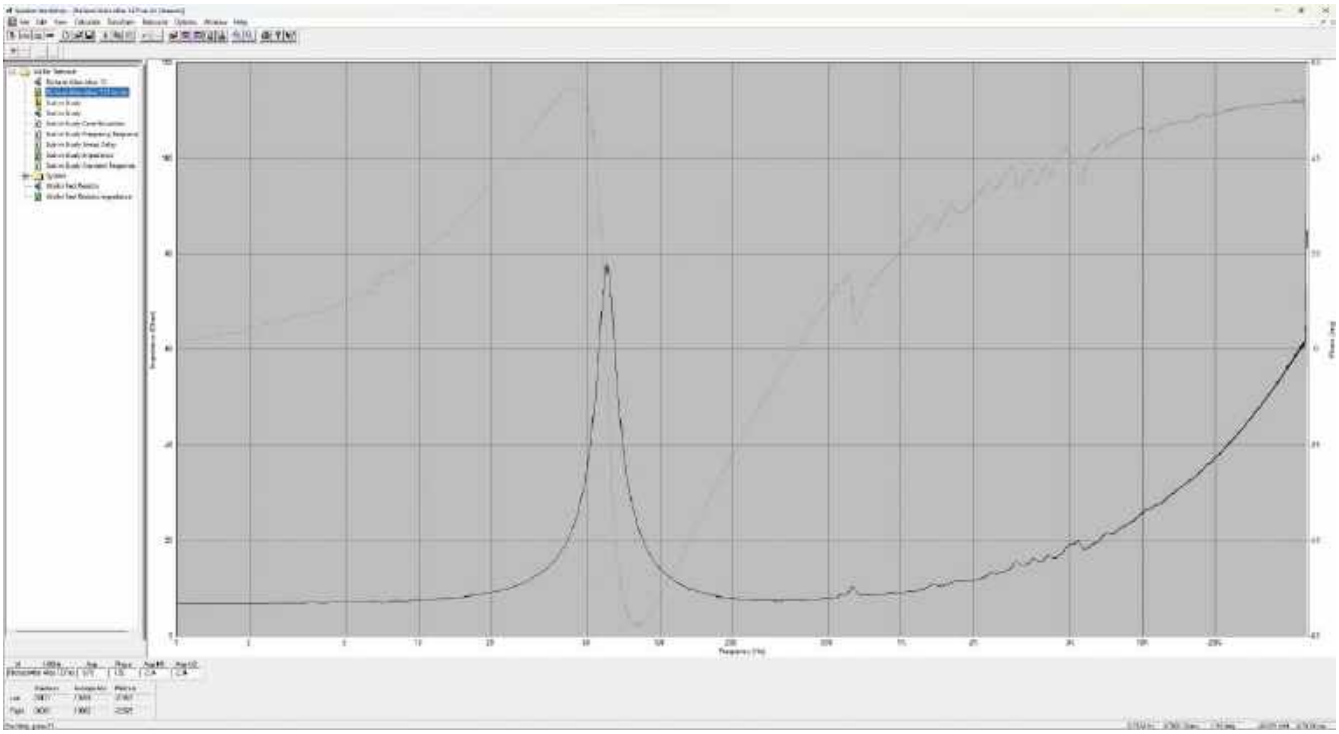
- Kontrolne zespoły głośnikowe dołączone do wyjść karty dźwiękowej (stanowiących wejście przystawki pomiarowej), umożliwiające zarówno monitorowanie sygnałów testowych, jak i zwykłe korzystanie z karty dźwiękowej poza pomiarami.
- Oscyloskop do kontrolowania sygnału mikrofonu dołączonego do przystawki.

Konstrukcja przystawki wykazuje dwie istotne cechy. Po pierwsze, ma niezależne, „pływające" zasilanie, co pozwala uniknąć pętli masy i związanych z tym zakłóceń indukowanych. Po drugie, wzmocnienia wejść sygnałowego i mikrofonowego są nastawne, co umożliwia testy „bliskiego pola" i „dalekiego pola".

Specyfikacja

- **pomiar charakterystyki częstotliwościowej i fazowej głośników;**
- **pomiar względnego poziomu ciśnienia akustycznego głośnika (SPL); pomiar poziomu bezwzględnego jest możliwy przy użyciu zewnętrznego źródła kalibracyjnego;**
- **wyrównywanie opóźnień czasowych głośników (z pomocą oscyloskopu);**
- **pomiar impedancji głośników, elementów zwrotnic głośnikowych itp.**
- **pomiar kondensatorów, cewek (zakres od μH do mH) i rezystorów;**
- **zawiera przedwzmacniacz mikrofonowy i stopień wyjściowy niewielkiej mocy;**
- **zakres częstotliwości: 10 Hz...20 kHz (zależy od karty dźwiękowej);**
- **szczytowa moc wyjściowa (nie ciągła ze względu na ograniczenia zasilacza): około 5 W przy obciążeniu 8 Ω;**
- **wzmocnienie wzmacniacza: przełączane pomiędzy +14 dB i +34 dB;**
- **współczynnik tłumienia zakłóceń wspólnych (CMRR): > 60 dB w prototypie (w pasmie 20 Hz...20 kHz);**
- **THD+N: < 0,01 % w całym zakresie akustycznym;**
- **zakłócenia 50/100 Hz: mniejsze niż –100 dB w odniesieniu do pełnego zakresu;**
- **zasilanie „phantom" mikrofonu: 48 V, wybierane zworą na płytce drukowanej;**
- **zasilanie: 15 V~1,2 A z transformatora wtyczkowego.**

eprasa.pl 6fff7859d1



Rysunek 1. Wartość bezwzględna i faza impedancji głośnika niskotonowego, zmierzone bez obudowy. Widoczny jest wysokie maksimum impedancji – około 80 Ω przy 60 Hz i raptowna zmiana fazy w jego pobliżu

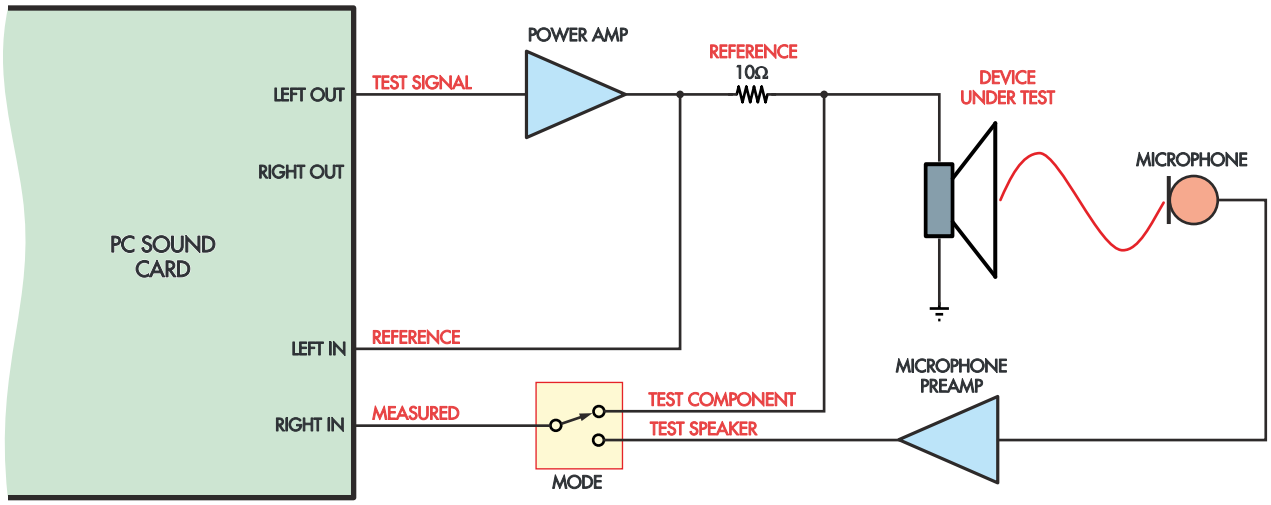
Oprogramowanie

W tym projekcie lwią część pracy wykonuje oprogramowanie. Najbardziej aktualnym programem, jaki można wykorzystać, jest Room EQ Wizard (REW), dostępny pod adresem www.roomeqwizard.com. Przetestowaliśmy jego wersję V5.20.13. Jest to dobra opcja dla użytkowników komputerów Mac. Będziemy się skupiać na tym właśnie programie, ponieważ jest on najlepiej rozwijany.

Co zaskakujące, doskonałą opcję dla użytkowników systemu Windows stanowi istniejący od ponad 20 lat program Speaker Workshop. Jest on przeznaczony do projektowania i konstruowania zespołów głośnikowych. Przy jego użyciu można między innymi łatwo i dokładnie mierzyć parametry Thiele-Small'a. Program ten nie był niestety aktualizowany gdzieś od 2001 roku. Podczas uruchamiania wyświetla komunikat ostrzegawczy. Pomimo to stanowi genialne narzędzie i warto go sprawdzić. Ostatnia wersja – V1.06 – jest dostępna do pobrania na stronie www.claudionegro.com.

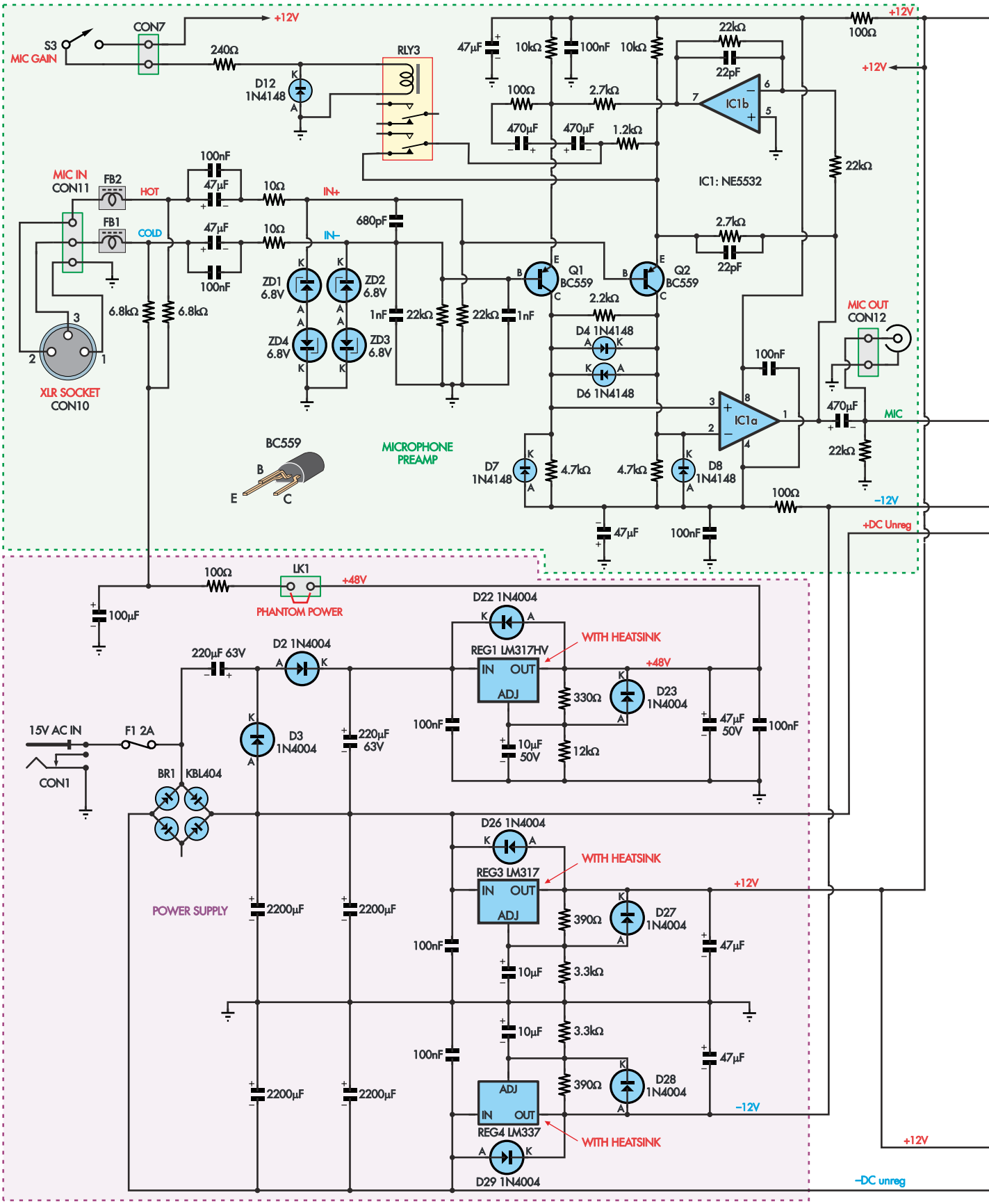
Choć oba programy wykonują pomiary na nieco inne sposoby, dają ostatecznie podobne wyniki. REW używa do pomiarów przebiegu sinusoidalnego o „przemiatanej" częstotliwości, a Speaker Workshop wykorzystuje krótkie paczki szumu. Oba programy przeprowadzają transformatę Fouriera i, porównując sygnały odniesienia z mierzonymi, obliczają charakterystykę częstotliwościową głośnika czy jego impedancję.

Nasza przystawka testowa umożliwia prawidłowe działanie tych programów, udostępniając wzmacnianie i przełączanie sygnałów. Konstrukcję przystawki utrzymaliśmy na możliwie prostym



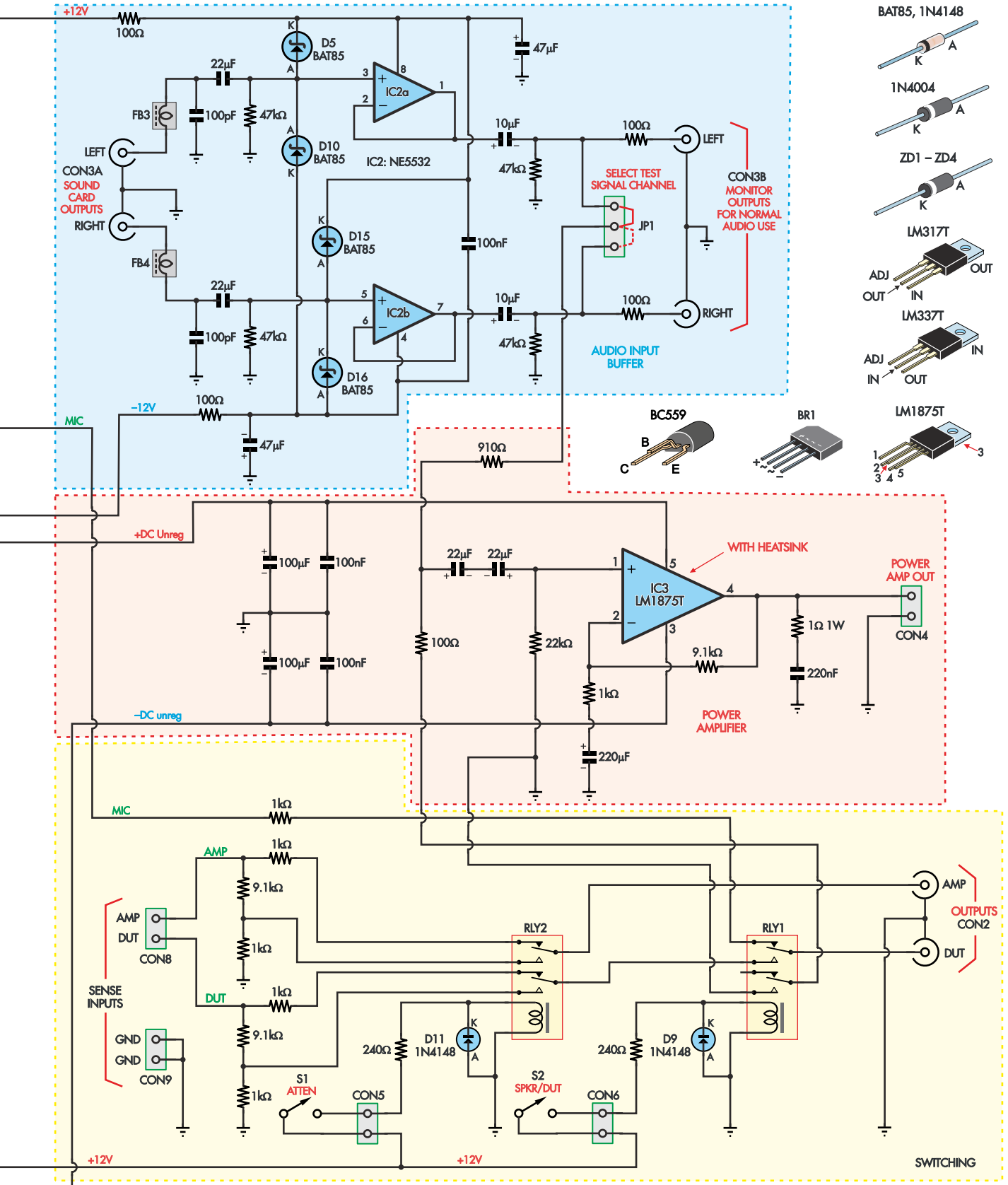
Rysunek 2. Podstawowy układ „Wallin Jig" do pomiaru impedancji. Wzmacniacz mocy (POWER AMP) i przedwzmacniacz mikrofonowy (MICROPHONE PREAMP) standardowo stanowią układy dodatkowe. Prezentowana przystawka zawiera te układy, tworząc poręczny i zwarty system pomiarowy

eprasa.pl 6fff7859d1



Rysunek 3. Pełny schemat układu przystawki testowej. Różne kolory tła oznaczają poszczególne bloki urządzenia. Wzmacniacz mocy steruje głośnik. Przedwzmacniacz mikrofonowy odbiera wytwarzany dźwięk, wzmacnia go i przekazuje do karty dźwiękowej. Blok pomiarowy głośnika jest zasadniczo układem buforującym. Blok przełączający umożliwia wykonywanie różnych rodzajów testów bez rozłączania i przełączania przewodów

eprasa.pl 6fff7859d1



poziomie. Do tłumików i rezystorów odniesienia można byłoby dodać więcej przełączników. Byłoby to jednak „strzelanie z armaty do wróbli" i zamiast ułatwiać – utrudniłoby korzystanie z całej konstrukcji, co wykażemy w rozdziale „Jak korzystać". Przełączniki można w razie potrzeby łatwo dodać na zewnątrz urządzenia.

Mikrofon

Niezbędny będzie mikrofon pomiarowy. Do tego projektu nie nada się Shure SM58 (popularny mikrofon estradowy i studyjny;

eprasa.pl 6fff7859d1

przypis redaktora), ponieważ ma nierównomierną charakterystykę częstotliwościową. Spośród mikrofonów „z niższej półki" w grę wchodzi Behringer ECM8000 za około 100 zł lub Dayton Audio EMM6 z podaną charakterystyką kalibracyjną, za około 350 zł. Doskonały mikrofon pomiarowy można też zrobić samemu (EdW 11/2025, „Budowa niedrogiego, skalibrowanego mikrofonu pomiarowego").

Opis układu

Schemat przystawki pokazano na **rysunku 3**. Jest pięć głównych bloków, każdy wyodrębniony tłem o innym kolorze: wzmacniacz mocy, przedwzmacniacz mikrofonowy, wejściowy bufor sygnałowy, blok przełączający oraz zasilacz.

Bloki te pracują w dużym stopniu niezależnie od siebie. Wzmacniacz mocy służy do wysterowania testowanego głośnika. Przedwzmacniacz mikrofonowy wzmacnia dźwięk wypromieniowany przez głośnik i przekazuje sygnał dalej do analizy. Bufor wejściowy pobiera przebiegi z wyjść karty dźwiękowej. Sygnał jednego z kanałów jest podawany do wzmacniacza mocy. Blok przełączający określa, czy do wejścia karty dźwiękowej komputera jest podawany sygnał z wyjścia przedwzmacniacza mikrofonowego czy z zacisku pomiarowego „DUT" do którego podłączony jest badany głośnik. Zapewnia również przełączanie tłumienia sygnałów idących do karty dźwiękowej oraz wzmocnienia wzmacniacza mikrofonowego.

Wzmacniacz mocy

Nie jest potrzebny wzmacniacz o dużej mocy. Powszechnie dostępny jest układ scalony LM1875. Wymaga on minimalnej ilości elementów zewnętrznych. Wzmacniacz musi być w stanie wysterować głośnik z umiarkowaną głośnością i być odporny na przeciążenia, które mogą wystąpić w trakcie eksploatacji. Zwarcie wyjścia wzmacniacza może się przecież przydarzyć każdemu, prawda?

Wzmacniacz jest zasilany napięciem symetrycznym, pochodzącym z podwójnego prostownika półokresowego prostującego napięcie przemienne 15 V. W ten sposób z transformatora wtyczkowego 15 V AC uzyskujemy dodatnie i ujemne napięcie stałe około ±20 V. Rozwiązanie z prostownikami półokresowymi jest trochę „na bezczelnego", ale w tym projekcie potrzebujemy najwyżej kilku watów mocy. Zauważmy, że w mostku prostowniczym BR1 używana jest tylko połowa diod, ponieważ nie stosujemy transformatora z odczepem środkowym, lecz transformator wtyczkowy. Tylko nieliczne takie transformatory mają wyprowadzenie odczepu ze środka uzwojenia.

Wzmacniacz zapewni wystarczającą moc wyjściową do zasilenia głośnika na potrzeby testów odsłuchowych. Ustawiliśmy wzmocnienie na około 10 (określa je stosunek rezystorów 9,1 kΩ i 1 kΩ). To niedużo, ale dla naszych celów wystarczy.

Sygnał wejściowy dochodzi do wzmacniacza IC3 poprzez parę kondensatorów elektrolitycznych 22 μF, odcinających składową stałą. Wyjście wzmacniacza trafia bezpośrednio do zacisków złącza CON4. Stabilność wzmacniacza zapewnia dołączony do wyjścia obwód Zobla 1 Ω/220 nF.

LM1875 montujemy na radiatorze, co zapewni odpowiednie chłodzenie układu scalonego w przypadku dłuższych testów. Użyty radiator pochodzi od australijskiego dystrybutora Altronics. Jako radiator sprawdzi się również inny typ czy nawet kawałek aluminium. Co ciekawe, radiator zakupiony w Altronics miał tylko jeden otwór pośrodku, choć według specyfikacji powinien mieć dwa, a w naszym projekcie potrzebujemy ich obu. Jeśli Wasz radiator ma tylko jeden otwór, wywierćcie drugi o średnicy 3 mm, 10 mm na lewo od środka.

Przedwzmacniacz mikrofonowy

Jest to konstrukcja dość standardowa, często stosowana w elektroakustyce. Przedwzmacniacz zbudowany jest według pomysłu Douglasa Selfa opisywanego w książkach jego autorstwa. Na wejściu pracują tranzystory, włączone w pętlę sprzężenia zwrotnego wzmacniacza operacyjnego. Znacząco zmniejsza to zniekształcenia. Przedwzmacniacz ma wejście symetryczne i przełączane wzmocnienie. Opcjonalnie można do mikrofonu podać zasilanie „phantom".

Zakłócenia mogące pojawić się na wejściach są filtrowane przez koraliki ferrytowe włączone w szereg oraz filtr dolnoprzepustowy RC, składający się z rezystorów 10 Ω oraz kondensatorów 680 pF i 1 nF. Jeśli włączono zasilanie „phantom", to dochodzi ono do wejść poprzez rezystory 6,8 kΩ. Tętnienia i zakłócenia zasilania „phantom" są wcześniej filtrowane dolnoprzepustowo w filtrze 1 kΩ/100 μF. Przed przepięciami układ chronią diody Zenera, połączone antyszeregowo w pary.

Symetryczny sygnał wejściowy jest doprowadzany do baz tranzystorów PNP Q1 i Q2, objętych pętlą sprzężenia zwrotnego niskoszumnych wzmacniaczy operacyjnych IC1a i IC1b.

Wzmocnienie układu jest realizowane w następujący sposób: na pinach 2 i 3 wzmacniacza operacyjnego IC1a muszą występować takie same napięcia. Jest to zapewniane przez ujemne sprzężenie zwrotne idące z wyjścia tego układu. Prądy płynące przez tranzystory Q1 i Q2 są zasadniczo takie same. Ponieważ oba tranzystory są tego samego typu, to ich napięcia baza-emiter również będą takie same. Składowa stała wyjścia IC1a będzie bliska 0 V, ponieważ napięcie wyjściowe IC1a jest odwracane w fazie przez IC1b, tworząc różnicowe sprzężenie zwrotne idące do tranzystorów.

Bazy tranzystorów są sprzężone zmiennoprądowo z wejściami i polaryzowane stałym potencjałem masy (0 V), więc na ich emiterach powstaną napięcia około +0,6 V dzięki podciągającym rezystorom emiterowym 10 kΩ oraz rezystorom sprzężenia zwrotnego wzmacniacza operacyjnego 2,7 kΩ.

Płynące przez Q1 i Q2 prądy emiterowe – po około 1 mA – w większości płyną przez rezystory 4,7 kΩ w obwodach kolektorów, co spowoduje, że piny 2 i 3 układu IC1a znajdą się oba na potencjale około 4 V powyżej napięcia linii ujemnego zasilania.

Sygnał wejściowy pojawia się jako napięcie różnicowe między bazami Q1 i Q2. Emitery Q1 i Q2 stanowią punkt sprzężenia zwrotnego za pośrednictwem rezystorów 2,7 kΩ. Ponieważ wejście wzmacniacza jest różnicowe, rezystor 100 Ω (oraz ew. 1,2 kΩ w szereg, o ile styki przekaźnika RLY3 go nie zwierają) „widzi" całkowite napięcie różnicowe. Gdyby rezystor ten składał się z dwóch rezystorów 50 Ω, ich punkt wspólny mógłby być traktowany jako „wirtualna masa".

Wzmocnienie całego układu jest określone przez rezystory sprzężenia zwrotnego 2,7 kΩ (połączone szeregowo z wyjściami NE5532), tworzące z równoległym połączeniem połowy rezystancji (100 Ω + 1,2 kΩ) i połowy (10 kΩ + 10 kΩ) dzielnik napięcia dla sygnału sprzężenia zwrotnego. Zwiększenie wzmocnienia o 20 dB jest realizowane poprzez zwarcie rezystora 1,2 kΩ stykami przekaźnika RLY3.

Wzmocnienie przy ustawieniu „niskim" wynosi:

$$1 + 2{,}7\ \text{k}\Omega/\{\ 10\ \text{k}\Omega\ ||\ [(1{,}2\ \text{k}\Omega + 100\ \Omega)/2]\ \} = 1 + 2700\ \Omega/610\ \Omega = 5{,}42\ (+14{,}7\ \text{dB})$$

Na ustawieniu „wysokim" mamy:

$$1 + 2{,}7\ \text{k}\Omega/[\ 10\ \text{k}\Omega\ ||\ (100\ \Omega/2)\ ] = 1 + 2700\ \Omega/49{,}8\ \Omega = 55{,}2\ (+34{,}8\ \text{dB})$$

Sygnałowy bufor wejściowy

Przystawka testowa zawiera prosty bufor oparty na wzmacniaczu operacyjnym. Bufor sprawia, że wyjście karty dźwiękowej jest obciążone dużą impedancją, i jednocześnie zapewnia wyjście monitorujące do wzmacniacza lub innego sprzętu. Można tego wyjścia

eprasa.pl 6fff7859d1

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

użyć również do sterowania zwrotnicy aktywnej w przypadku testowania aktywnych zespołów głośnikowych.

Wejścia bufora są chronione przed zakłóceniami radiowymi przez koraliki ferrytowe i kondensatory 100 pF do masy. Diody Schottky'ego chronią wzmacniacz operacyjny przed przepięciami.

Wejścia bufora są dla składowej zmiennej sprzężone z wejściami wzmacniaczy operacyjnych poprzez niepolaryzowane kondensatory 22 μF, które z rezystorami polaryzującymi 47 kΩ tworzą filtr górnoprzepustowy o częstotliwości granicznej (–3 dB) równej 0,15 Hz. Przy 20 Hz tłumienie tego filtra jest niezauważalne. Wyjścia wzmacniaczy są połączone zmiennoprądowo z wyjściami bufora i zawierają rezystory szeregowe 100 Ω zapewniające stabilność i odporność na błędne połączenie.

Zworka w JP1 doprowadza lewy lub prawy kanał bufora do wejścia wzmacniacza mocy.

Blok przełączający

Blok ten realizuje w przystawce testowej dwie podstawowe funkcje. Przełącza jeden z kanałów wejściowych karty dźwiękowej pomiędzy wyjściem przedwzmacniacza mikrofonowego a sygnałem pomiarowym pobieranym z badanego elementu (DUT Sense). Umożliwia również wybór wzmocnienia 1× lub 0,1× zarówno dla sygnału DUT Sense, jak i sygnału pomiarowego z wyjścia wzmacniacza (Amp Out Sense).

Po wybraniu „DUT Sense" jako źródła sygnału wzmocnienie wzmacniacza mocy jest automatycznie zmniejszane z 10× do 1× poprzez włączenie w tor sygnału wejściowego tłumika rezystancyjnego o wartościach 910 Ω i 100 Ω. Dzięki temu podczas pomiaru impedancji głośnika lub innego elementu przykładany jest do niego sygnał o wartości zaledwie kilkuset miliwoltów. Pozwala to na pomiar impedancji głośników wysokotonowych bez ich przeciążania. Oprócz tego zaleca się włączenie w szereg z głośnikiem wysokotonowym kondensatora o pojemności 20...100 μF, co ogranicza wysterowanie głośnika w przypadku pojawienia się sygnału testującego o niskiej częstotliwości.

Podczas pomiaru charakterystyki częstotliwościowej głośników potrzebna jest większa głośność. Wzmacniacz ma wzmocnienie 10-krotne i dostarcza sygnał o wartości skutecznej kilku woltów (dokładna wartość zależy od ustawienia głośności karty dźwiękowej). Zapewnia to głośność wystarczającą do uzyskania prawidłowych charakterystyk częstotliwościowych.

Zasilacz

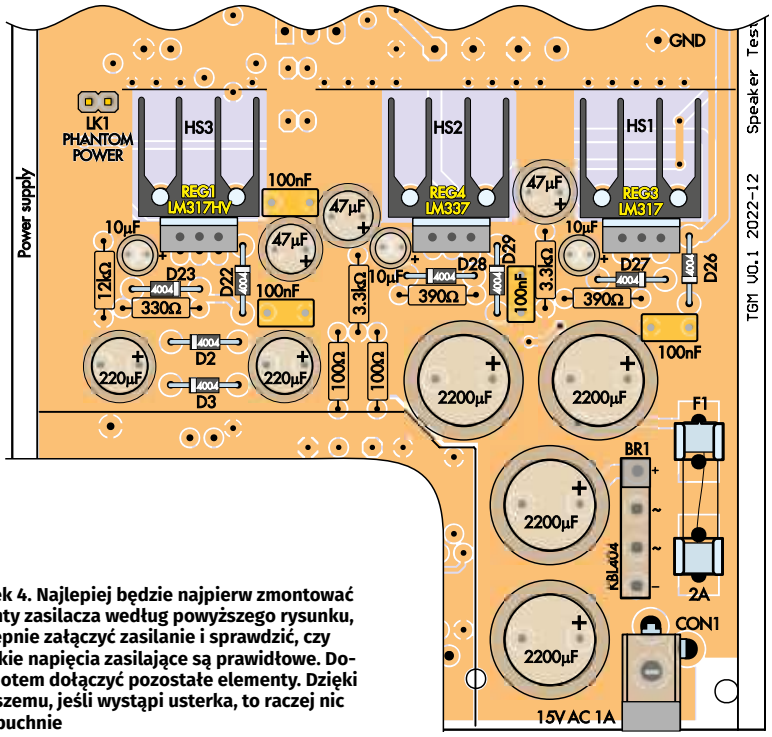
Zasilacz przystawki testującej to konstrukcja minimalistyczna, o niewielkim koszcie, złożoności i rozmiarze. Do zasilania całego urządzenia używamy transformatora wtyczkowego 15 V AC. Przypis redaktora: w przeciwieństwie do wtyczkowych zasilaczy prądu stałego, transformatory wtyczkowe są w Europie mało rozpowszechnione. Może być konieczne użycie standardowego transformatora i samodzielne wmontowanie go do jakiejś obudowy. Jak już wspominaliśmy, symetryczne zasilanie dla wzmacniacza mocy zapewniają dwa prostowniki jednopołówkowe stanowiące połówkę mostka Graetza BR1. Pozwoliło to uniknąć konieczności stosowania wymyślnych układów scalonych odwracających napięcie lub stosowania w całej przystawce pojedynczego zasilania. Prostowanie każdego napięcia odbywa się podczas połowy okresu napięcia sieci, co przekłada się na zwiększoną amplitudę tętnień tych napięć. Daliśmy więc duże pojemności filtrujące: po dwa kondensatory 2200 μF na każdą linię zasilania, co w przypadku prostowania dwupołówkowego byłoby przesadą. Te duże kondensatory kosztują dosłownie po parę złotych, a pozwalają zaoszczędzić użycia transformatora z podwójnym uzwojeniem. Przy pojemności 4400 μF na każdej linii zasilającej, tętnienia na tych liniach wyniosą tylko kilka woltów, nawet podczas testów z wyższą mocą.

Obwody małosygnałowe wymagają czystego zasilania, daliśmy więc tam stabilizatory LM317/337 o nominalnym napięciu wyjściowym ±12 V, w „podręcznikowych" konfiguracjach układowych.

Nieco bardziej interesujące jest wytwarzanie zasilania „phantom" 48 V dla mikrofonu pomiarowego. Używany jest podwajacz napięcia. Podczas ujemnej półfali napięcia z transformatora wtyczkowego, z dodatniej linii zasilania pobierana jest energia i poprzez diodę D3 ładowany jest kondensator 220 μF („lewy"; przypis redaktora). Podczas dodatniej półfali napięcia jego ładunek jest przerzucany przez diodę D2 do drugiego kondensatora 220 μF („prawego"; przypis redaktora). Kondensator ten ma biegun ujemny dołączony do dodatniej linii zasilania, czego konsekwencją jest to, że biegun dodatni tego kondensatora osiąga potencjał blisko 70 V. Napięcie to jest obniżane do 48 V przez stabilizator LM317HV. Można użyć zwykłego LM317 pod warunkiem, że nigdy nie dojdzie do zwarcia jego wyjścia do masy. W prezentowanym układzie napięcie wyjściowe stabilizatora przechodzi przez szeregowy rezystor 100 Ω, więc niebezpieczeństwo zwarcia niemal nie zachodzi.

Prąd pobierany z linii 48 V nigdy nie przekracza 14 mA, więc kondensatory 220 μF są więcej niż wystarczające, aby utrzymać amplitudę tętnień przed stabilizatorem poniżej 1 V.

Wszystkie stabilizatory zaopatrzyliśmy w radiatory. Podczas testów nie zauważyliśmy, aby się one nagrzewały, więc można się bez nich obejść i zaoszczędzić kilka złotych.



Rysunek 4. Najlepiej będzie najpierw zmontować elementy zasilacza według powyższego rysunku, a następnie załączyć zasilanie i sprawdzić, czy wszystkie napięcia zasilające są prawidłowe. Dopiero potem dołączyć pozostałe elementy. Dzięki powyższemu, jeśli wystąpi usterka, to raczej nic nie wybuchnie

eprasa.pl 6fff7859d1

Montaż

Zmontowanie przystawki będzie dość proste. Tak jak w przypadku większości projektów, najlepiej jest najpierw zmontować blok zasilacza i sprawdzić napięcia linii zasilających. Gdy już je sprawdzimy, zasilanie można wyłączyć i zmontować wszystkie pozostałe bloki, mając pewność, że żaden błąd zasilania nie spowoduje ich usmażenia!

Przystawka testująca jest montowana na dwustronnej płytce drukowanej o wymiarach 99,5 × 189,5 mm (kod Silicon Chip 04106231).

Montując blok zasilacza zaczynamy od wszystkich rezystorów i diod według **rysunku 4**. Należy zwracać uwagę na orientację diod, ponieważ orientacje te są różne. Następnie montujemy kondensatory MKT i elektrolityczne (zwracając uwagę na biegunowość typów elektrolitycznych), a dalej – prostownik, oprawkę bezpiecznika oraz złącza. W oprawkę wtykamy bezpiecznik 2 A.

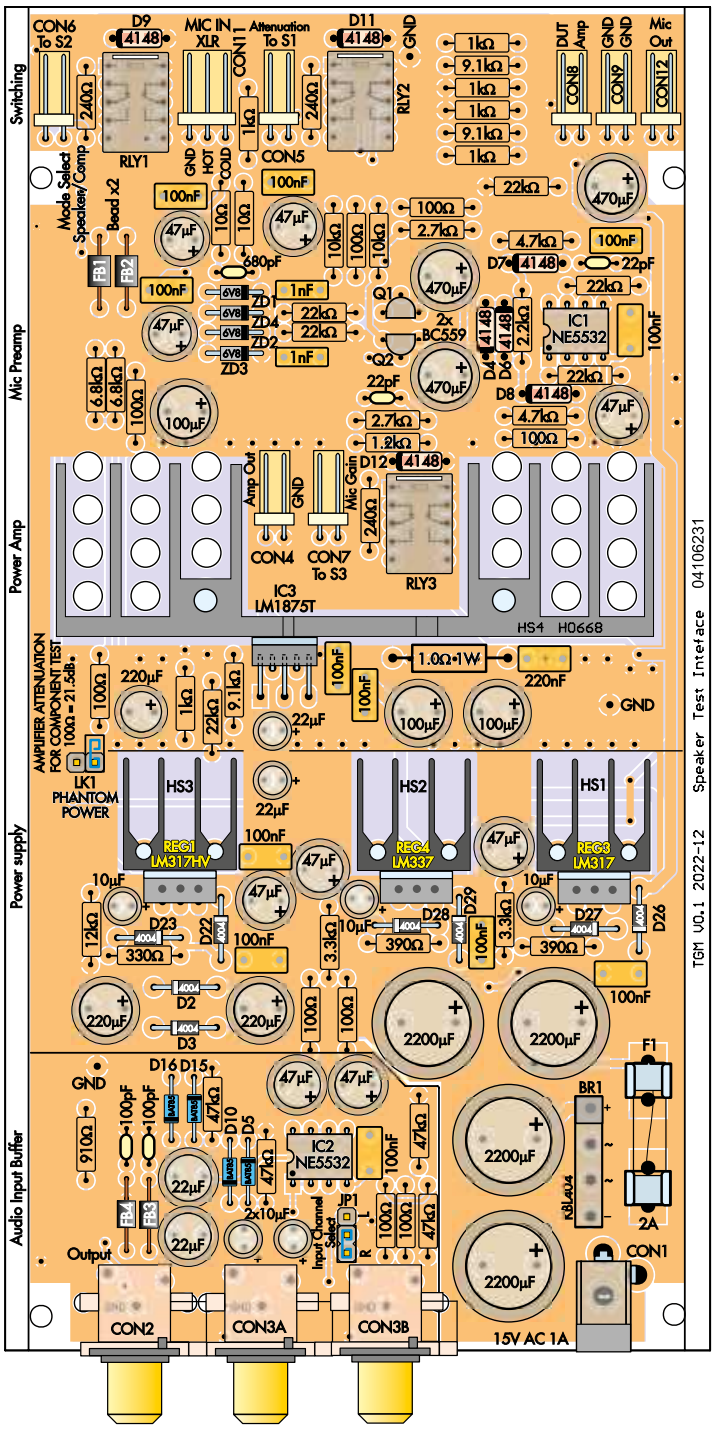
Na koniec przymocowujemy stabilizatory do radiatorów, stosując zestawy izolujące (silikonowe podkładki i plastikowe tulejki; przypis redaktora). Nie dokręcamy śrub, dopóki nie włożymy stabilizatorów z radiatorami do płytki drukowanej. Po ich włożeniu przylutowujemy do płytki piny stabilizatorów oraz, jeśli są, piny montażowe radiatorów.

Testy zasilacza

Dołączamy do bloku zasilacza transformator wtyczkowy 15 V AC i sprawdzamy najpierw linie napięć nieregulowanych, mierząc napięcia stałe względem masy na stykach 3 i 5 układu scalonego LM1875 (punkt testowy masy znajduje się w lewym górnym rogu płytki w bloku bufora wejściowego). Napięcia te powinny wynosić 18...24 V. Jeśli są zbyt niskie, sprawdzamy wartość napięcia przemiennego z transformatora oraz upewniamy się, czy mostek prostowniczy został przylutowany prawidłowo. Sprawdzamy również orientację montażu kondensatorów elektrolitycznych. Przypis redaktora: prawidłowość montażu mostka prostowniczego i kondensatorów należałoby starannie sprawdzić jeszcze przed dołączeniem napięcia z transformatora.

Jeśli wszystko jest w porządku, mierzymy napięcia na liniach ±12 V – na wyprowadzeniu 2 układu LM317 (REG3) i wyprowadzeniu 3 układu LM337 (REG4). Napięcia te powinny być prawidłowe w granicach tolerancji ±1 V. Jeśli tak nie jest, sprawdzamy, czy stabilizatory zostały wmontowane w swoich właściwych miejscach, czy zastosowano prawidłowe rezystory i czy diody są prawidłowo zorientowane. Pomiędzy pinami ADJ i OUT stabilizatorów LM3x7 powinno być zawsze napięcie 1,25 V.

Fotografia 1. Widok zmontowanego panelu przedniego. Etykiety pomagają zapamiętać, do czego służą gniazda i przełączniki!



Rysunek 5. Po przetestowaniu zasilacza można montować dalsze elementy według rysunku. Musimy się upewnić, że wszystkie podzespoły w obudowach TO-220 są elektrycznie odizolowane od radiatorów. Zwracamy uwagę na biegunowość/orientację układów scalonych, diod i kondensatorów elektrolitycznych. Dwa z kondensatorów elektrolitycznych 22 µF są niepolaryzowane (w okolicy lewego dolnego rogu płytki), więc w ich przypadku nie pokazano oznaczeń polaryzacji

eprasa.pl 6fff7859d1

Następnie sprawdzamy, czy napięcie linii zasilania 48 V mieści się w zakresie 45...51 V. Napięcie to można zmierzyć na pinie 2 układu LM317HV. Jeśli nie leży ono w podanym zakresie, sprawdzamy, czy napięcie wejściowe stabilizatora na pinie 3 wynosi znacznie więcej niż 48 V. Sprawdzamy także wartości rezystorów w otoczeniu tego stabilizatora oraz czy kondensatory i diody są właściwie zorientowane.

Przypis redaktora: również w układach stabilizatorów należy starannie sprawdzić prawidłowość montażu elementów jeszcze zanim załączymy zasilanie.

Montaż końcowy płytki drukowanej

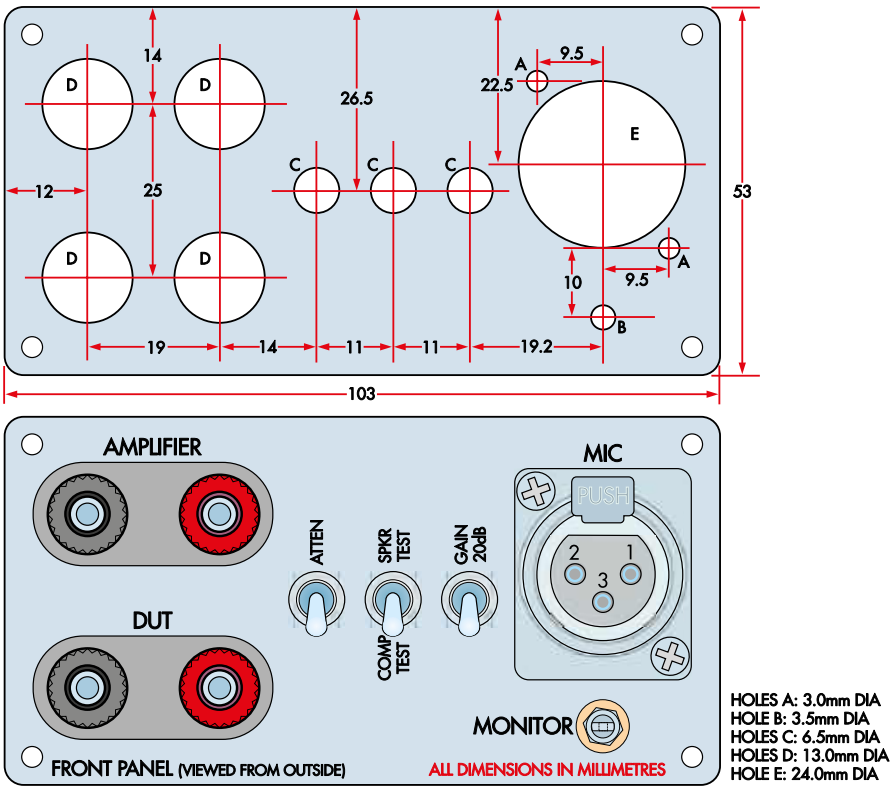
Gdy zasilacz został już uruchomiony, odłączamy od płytki zasilanie i montujemy wszystkie pozostałe elementy zgodnie z **rysunkiem 5**. Jak zwykle zaczynamy od elementów niskoprofilowych, montując najpierw rezystory, diody, przekaźniki, układy scalone NE5532 i złącza kątowe. Następnie przechodzimy do podzespołów większych, w tym kondensatorów i gniazd RCA.

LM1875 luźno przymocowujemy do dużego radiatora, stosując zestaw izolujący, podobnie jak w przypadku stabilizatorów napięcia. Wkładamy układ scalony do padów na płytce i przylutowujemy do płytki radiator. Lutowanie pinów radiatora będzie wymagało doprowadzenia sporo ciepła, ale powinno się udać. Gdy radiator jest już solidnie umocowany, dokręcamy śrubę mocującą do radiatora układ scalony i lutujemy jego wyprowadzenia.

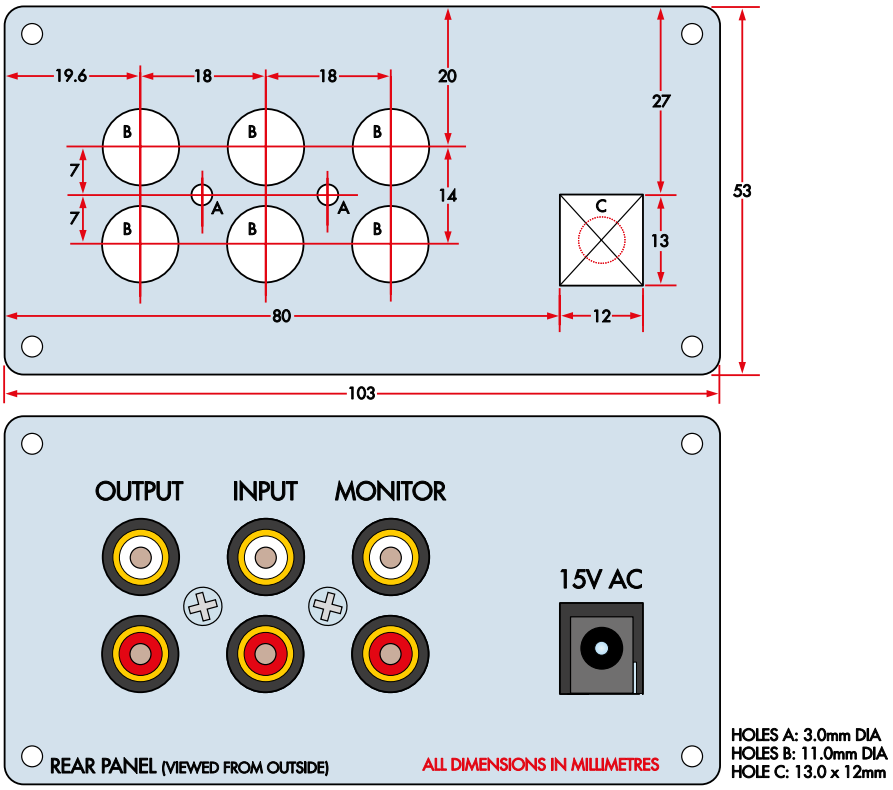
Zauważmy, że tuż obok złącza CON2 znajdują się dwa bipolarne (niepolaryzowane) kondensatory elektrolityczne. Są niezbędne, ponieważ nie wiemy, czy na wejściu nie wystąpi składowa stała napięcia. Na płytce drukowanej mogą być oznaczenia polaryzacji, ale nie należy na nie zwracać uwagi, ponieważ kondensatory są niepolaryzowane.

Dwa kondensatory elektrolityczne 47 µF w bloku przedwzmacniacza mikrofonowego po lewej stronie mogą pracować pod napięciem „phantom" 48 V, więc musimy użyć typów o minimalnym napięciu znamionowym 50 V (zalecane byłyby typy na 63 V; przypis redaktora) i montować je dłuższym (dodatnim) wyprowadzeniem zwróconym w prawo, tak jak na rysunku. Jeśli zasilanie „phantom" nigdy nie będzie używane, można dać kondensatory o niższym napięciu znamionowym.

Po ukończeniu montażu płytki drukowanej możemy przejść do wykonania połączeń przewodowych i umieszczenia płytki w obudowie.

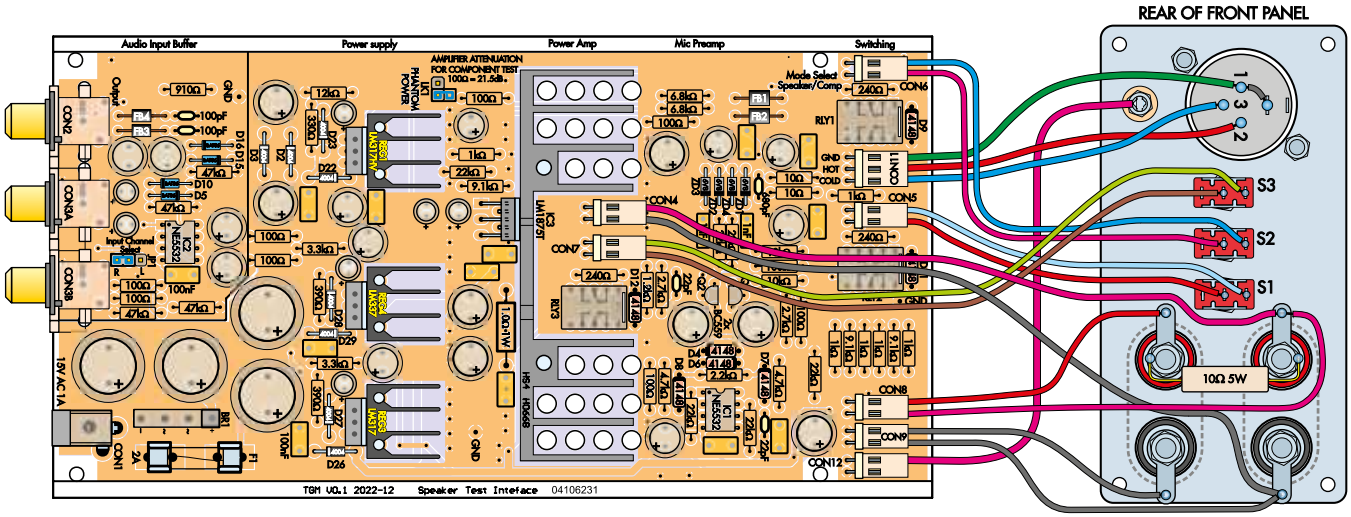


Rysunek 6. Panel przedni wchodzący w skład proponowanej obudowy wiercimy jak pokazano na rysunku. Otwory na śruby z łbem stożkowym muszą być sfazowane od strony zewnętrznej panelu



Rysunek 7. Otwory w panelu tylnym wiercimy według rysunku. Zwracamy uwagę, aby otwory sfazować od strony zewnętrznej panelu. W przypadku otworu prostokątnego można wywiercić otwór okrągły 11 mm, a następnie spiłować go do kształtu prostokąta. Można również wywiercić sam otwór zaznaczony linią przerywaną na czerwono, przeznaczony tylko na wtyczkę

eprasa.pl 6fff7859d1



Rysunek 8. W ten sposób powinien być podłączony panel przedni. Dzięki stosowaniu kodowanych złączy cały zespół panelu można odłączyć od płyty głównej, co ułatwia montaż i demontaż

Przygotowanie obudowy

Jeśli przystawkę będziemy montować w obudowie z wytłaczanego aluminium, wymienionej w Liście elementów, to płytkę drukowaną wsuniemy w miejsce drugie od dołu. Na podstawie **rysunku 6** i **7** wycinamy otwory w przednim i tylnym panelu. Po wykonaniu otworów płytka pasuje idealnie i może być mocowana śrubami 4G przez tylny panel do gniazd RCA.

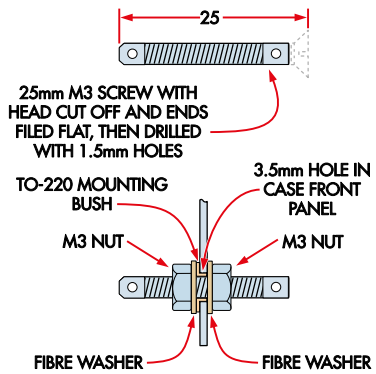
Obudowa zalecana przez nas jest bardzo porządna, ale nie należy do najtańszych. Jeśli szukacie tańszego rozwiązania, to do projektu nada się każda obudowa o szerokości około 220 mm, głębokości 130 mm i wysokości ponad 60 mm. Można rozważyć użycie obudów plastikowych takich jak Altronics H0476 lub H0482. Trzeba jednak będzie dostosować rysunki 6 i 7, aby otwory pasowały do paneli o innych rozmiarach.

Jeśli nie używacie zalecanej obudowy, płytkę drukowaną można przymocować poprzez otwory montażowe śrubami i elementami dystansowymi.

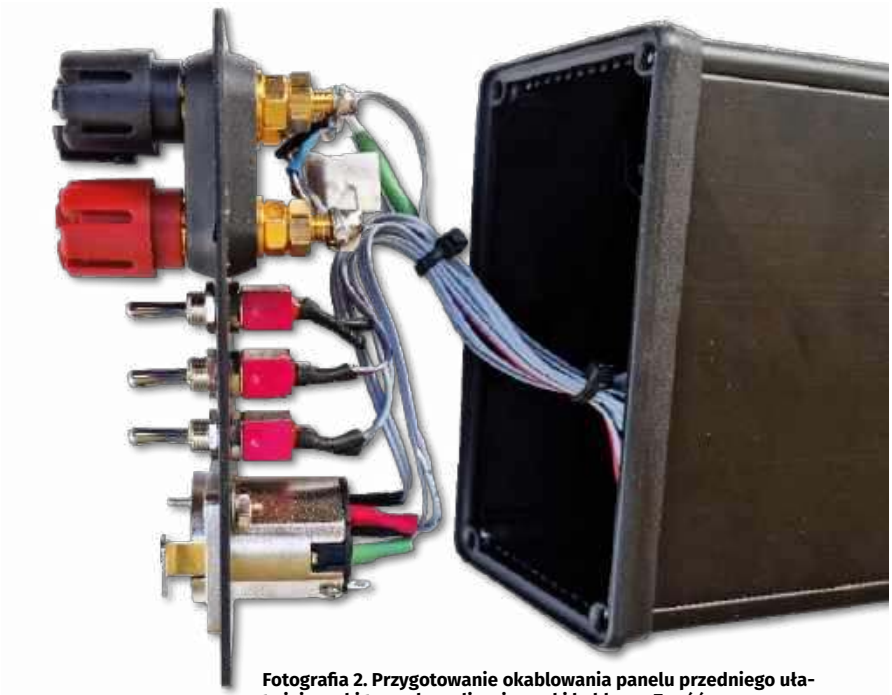
W przednim i tylnym panelu zaznaczamy i wiercimy otwory. Otwory na śruby są fazowane po zewnętrznej stronie paneli; przy fazowaniu należy uważać, aby nie pomylić strony. Wszystkie otwory są okrągłe, co ułatwia ich wykonanie, z wyjątkiem otworu na złącze zasilania. Będzie ono wymagało nieco opiłowania.

Jeśli zastosujecie dużą obudowę z ABS-u, elementy montowane wewnątrz można będzie rozłożyć nieco luźniej, a złącza zasilania, wejściowe i wyjściowe przymocować do panelu tylnego i połączyć z płytką przewodami. Zaleca się jednak zmontować te złącza na płytce drukowanej, a płytkę umieścić w obudowie tuż przy panelu tylnym, zaoszczędzając na dodatkowym okablowaniu. Złącza montowane na panelu przednim wszystkie są dołączone przewodami.

Jak widać na **fotografii 1**, oznaczyliśmy elementy panelu etykietami z drukarki Dymo. Napisy wydrukowaliśmy małą czcionką na taśmie o szerokości 10 mm i pęsetą umieściliśmy etykiety na panelu. Większość przełączników opisu nie wymaga, ale wiemy z doświadczenia, że za rok lub dwa można zapomnieć, co do czego służy. Poza tym obudowa z opisami lepiej wygląda.



Rysunek 9. Sondę oscyloskopową można wygodnie dołączyć do złącza w formie opiłowanej i nawierconej śrubki M3. Kto chce, może wymyślić inne rozwiązanie wykonania tego złącza. Wystarczy na przykład pętla z ocynowanego drutu miedzianego



Fotografia 2. Przygotowanie okablowania panelu przedniego ułatwiają rurki termokurczliwe i opaski kablowe. Zwróćmy uwagę na rezystor odniesienia 10 Ω przylutowany do zacisków złącza głośnikowego

eprasa.pl 6fff7859d1

Zmontowana płytka drukowana, gotowa do przyłączenia panelu przedniego poprzez osiem złączy kątowych. Złącza ułatwiają podłączanie i odłączanie, gdy układ jest już zamontowany w obudowie

Po przygotowaniu paneli montujemy akcesoria panelu przedniego. Do podłączania głośników użyliśmy zacisków przykręcanych, choć można zaoszczędzić trochę pieniędzy i dać zaciski zatrzaskowe. W każdym przypadku warto dać zaciski działające opcjonalnie jako gniazda bananowe. Będzie to rozwiązanie bardzo praktyczne.

Po zamontowaniu zacisków głośnikowych mocujemy trzy przełączniki, a następnie gniazdo mikrofonowe XLR. Zwróćcie uwagę na rozmiar gniazda, ponieważ niektóre typy są dość głębokie i mogą mieć inne średnice i położenie otworów montażowych.

Ostatnim „drobiazgiem" jest wyjście monitorujące sygnał z mikrofonu. Mieliśmy do dyspozycji bardzo mało miejsca i musieliśmy zrobić wyjście testowe w formie takiej, jak złącza w oscyloskopach z sygnałem do kalibracji sond. Nasze złącze wykonaliśmy ze śruby M3 o długości 25 mm, odcinając łeb piłką do metalu, spiłowując oba końce na płasko, a następnie przewiercając płaskie części wiertłem 1,5 mm do płytek drukowanych. Jak widać, zadziałało to znakomicie. **Rysunek 9** pokazuje szczegóły. Przylutowaliśmy się do tego złącza używając dużej ilości topnika. Wyjście przydaje się przy pomiarach wyrównania charakterystyk czasowych głośników w zespołach głośnikowych.

Połączenia

Przypis redaktora: złącze głośnikowe oznaczone na rysunku 6 jako „AMPLIFIER" jest na płycie czołowej opisane jako „speaker" i tak właśnie będzie określane w tekście.

Wykonanie okablowania przystawki testującej jest proste dzięki temu, że na końcach przewodów podłączanych do elementów panelu przedniego są wtyczki (**rysunek 8**). Należy sporządzić następujące przewody (na przykład z wiązek przewodów odciętych od taśmy kablowej, z wyjątkiem przewodu masy):

- Cztery przewody dwużyłowe o długości 15 cm:
  - do gniazda monitorującego sygnał mikrofonowy (CON12)
  - do przełącznika tłumienia sygnału wyjściowego (CON5)
  - do przełącznika trybu pracy (CON6)
  - do wyjść „speaker" i „DUT" (CON8)
- Pojedynczy przewód o średnim przekroju do dołączenia masy (CON9)
- Dwa przewody dwużyłowe o długości 20 cm:
  - do wyjścia wzmacniacza (CON4); najlepiej jako dwa odcinki cienkiego przewodu połączeniowego
  - do przełącznika wzmocnienia mikrofonu (CON7)
- Jeden przewód trójżyłowy o długości 15 cm do wejścia mikrofonowego (CON11).

Każdy kabel dobrze jest oznakować przy wtyczce, aby później łatwo się było zorientować, do którego złącza go wetknąć. Na każdym kablu należy również oznaczyć pin 1. My do tego celu użyliśmy krótkich odcinków rurek termokurczliwych. Oznaczenia można wykonać markerem, ale pamiętajmy, że mogą się z czasem stać nieczytelne.

Następnie dołączamy do płytki złącza i elementy sterujące panelu przedniego (**rysunek 8**):

- Przylutowujemy przewody masy złącza CON9 do czarnych zacisków głośnikowych. Masy łączymy również ze sobą bezpośrednio na zaciskach, aby „zdublować" połączenia.

Fotografia 3. Oznaczcie wtyczki i przewody, aby ich nie pomylić podczas podłączania do gniazd na płytce. Na zdjęciu widać wyraźnie, jak podłączono rezystor odniesienia

eprasa.pl 6fff7859d1

- Mierzymy z najlepszą możliwą dokładnością wartość rezystora odniesienia 10 Ω. Wartość nanosimy na rezystor, aby jej nie zapomnieć. Ostrożnie owijamy wyprowadzenia rezystora wokół czerwonych zacisków głośnikowych złącz „speaker" i „DUT" i przylutowujemy je.
- Przylutowujemy pin 1 złącza CON4 do czerwonego zacisku głośnikowego „speaker". Pin 2 jest połączony z masą.
- Przylutowujemy pin 1 złącza CON8 do czerwonego zacisku głośnikowego „DUT", a pin 2 do czerwonego zacisku głośnikowego „speaker".
- Przylutowujemy przewody złącza CON5 do dwóch górnych styków przełącznika tłumienia („ATTEN") na panelu przednim.
- Przylutowujemy przewody złącza CON6 do dwóch górnych styków przełącznika trybu („SPKR TEST COMP TEST") na panelu przednim.
- Przylutowujemy przewody złącza CON7 do dwóch górnych styków przełącznika wzmocnienia mikrofonu („GAIN") na panelu przednim.
- Przylutowujemy pin 1 złącza CON12 do gniazda monitorowania sygnału z mikrofonu. Prowadzimy przewód masy i izolujemy go.
- Przylutowujemy pin 1 złącza CON11 do zacisku masy, pin 2 do zacisku „gorącego" (+), a pin 3 do zacisku „zimnego" (–) złącza XLR.

Wszystkie złącza powinny teraz zostać starannie wetknięte w płytkę drukowaną. Po sprawdzeniu, czy wszystko działa, usztywniamy okablowanie kilkoma opaskami zaciskowymi. Jesteśmy już gotowi do testowania!

Fotografia 4. Panel tylny jest przymocowany do obudowy czterema śrubkami narożnymi. Płytka drukowana jest mocowana do tylnego panelu dwiema śrubkami, które wchodzą w plastikowe obudowy gniazd RCA

Po wykonaniu połączeń panel przedni powinien wyglądać jak na **fotografiach 2** i **3**.

Czynności montażowe związane z panelem tylnym polegają jedynie na wsunięciu płytki drukowanej do obudowy i przymocowania złączy RCA do tylnego panelu dwiema śrubami 4G, jak pokazano na **fotografii 4**.

Testy funkcjonalne

Panel przedni najlepiej będzie podłączyć do płytki drukowanej jeszcze przed włożeniem płytki do obudowy. Ułatwi to testowanie, ponieważ na płytce nie można sprawdzać punktów testowych, gdy już znajduje się ona w obudowie. Po sprawdzeniu, że wszystko działa poprawnie, płytkę drukowaną można wsunąć na miejsce, a następnie przymocować panel przedni.

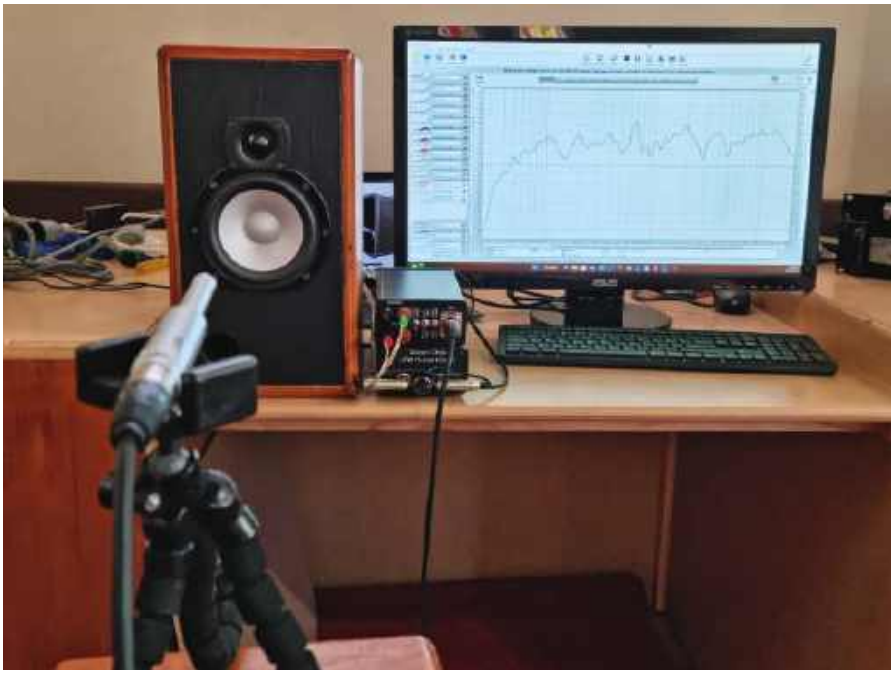
W złącze JP1 wstawiamy zworkę zgodnie z tym, który kanał wyjściowy karty będzie używany do testowania. Większość programów wysterowuje sygnałem testowym oba wyjścia. Bez zworki wzmacniacz mocy przystawki nie otrzyma sygnału.

Podajemy na wejście (lewy i prawy kanał złącza CON3 a) sygnał o wartości skutecznej 200 mV i częstotliwości około 1 kHz. Na złączu CON3b powinna się pojawić zbuforowana kopia tego sygnału. Przełączamy każdy przełącznik i sprawdzamy, czy w tym momencie słychać klikanie. Jeśli nie, sprawdzamy, czy użyliśmy właściwych typów przekaźników i czy diody są wmontowane we właściwych pozycjach.

Ustawiamy przełącznik „SPKR TEST/COMP TEST" (dołączony do złącza CON6) w pozycji „SPKR". Kontrolujemy wyjście wzmacniacza na pinie 1 złącza CON4. Sprawdzamy, czy jest tam wzmocniona (około 2 V wartości skutecznej) kopia sygnału wejściowego. Przełączamy przełącznik „SPKR TEST/COMP TEST" w pozycję „COMP" i sprawdzamy, czy wyjście uległo stłumieniu. Sygnał powinien mieć amplitudę zbliżoną do sygnału testowego (około 200 mV wartości skutecznej).

Następnie sprawdzamy zasilanie „phantom". W złączu LK1 umieszczamy zworę i kontrolujemy, czy między zaciskami „gorącym" i „zimnym" gniazda CON10 występuje napięcie 48 V ±3 V. Podłączamy mikrofon testowy i sprawdzamy sygnał na pinie 1 złącza CON12 oraz w punkcie testowym mikrofonu na panelu przednim. Jeśli coś się nie zgadza, sprawdzamy czy:

- spadki napięć na rezystorach 10 kΩ w obwodach emiterów Q1 i Q2 wynoszą po około 10,3 V;


Przystawka testowa w działaniu – pomiar pasma przenoszenia półkowego zespołu głośnikowego

eprasa.pl 6fff7859d1

- napięcia na rezystorach 4,7 kΩ w obwodach kolektorów Q1 i Q2 są takie same i wynoszą po około 3,7 V;
- potencjał pinu 1 układu IC1 jest bliski 0 V.

Jeśli którekolwiek z napięć ma inną wartość, sprawdzamy czy w układzie przedwzmacniacza mikrofonowego nie ma zwarć, kontrolujemy także wartości elementów i prawidłowość ich montażu.

Testowanie, kalibracja, użytkowanie

Następnym krokiem po zmontowaniu i uruchomieniu urządzenia jest zainstalowanie oprogramowania, skonfigurowanie go i sprawdzenie, czy działa zgodnie z oczekiwaniami. Opis oprogramowania REW znajdziecie w artykule „Room EQ Wizard – program do pomiarów elektroakustycznych" w bieżącym numerze EdW.

Będzie potrzebny komputer z kartą dźwiękową dobrej klasy, o stereofonicznych wejściach i wyjściach analogowych, do których dołączymy przystawkę testową. Jeśli Wasz komputer nie ma takich wejść, trzeba będzie użyć zewnętrznej karty dźwiękowej. Jednym z możliwych rozwiązań będzie zbudowanie układu SuperCodec USB o bardzo wysokiej jakości, opisanego w wydaniach Silicon Chip od sierpnia do października 2020 roku (www.siliconchip.au/Series/349). Układ ten potrafi jednocześnie nagrywać i odtwarzać dźwięk z częstotliwością próbkowania 192 kHz i rozdzielczością 24 bity. Ma zniekształcenia THD wynoszące zaledwie 0,0001% (–120 dB), a współczynnik THD +N wynosi w nim 0,0005% (–106 dB) dla odtwarzania i 0,00063% (–105 dB) dla nagrywania. Do testowania głośników aż tak wysoka jakość nie jest potrzebna – ale z pewnością nie zaszkodzi!

Niezależnie od tego, jaka karta dźwiękowa jest używana, należy wejść w ustawienia systemu operacyjnego i wybrać tę kartę jako aktywne urządzenie nagrywające i odtwarzające dźwięk. W najnowszych wersjach systemu Windows można to zrobić, klikając prawym przyciskiem myszy ikonkę głośnika w prawym dolnym rogu ekranu i wybierając ikonkę ustawień.

Jeśli gniazda karty dźwiękowej są typu „jack" 3,5 mm, potrzebne będą kabelki z wtyczkami „jack" stereo 3,5 mm i podwójnymi wtyczkami RCA z drugiej strony. Jeśli karta dźwiękowa ma gniazda RCA (jak na przykład SuperCodec), stosujemy oczywiście podwójne przewody RCA/RCA. Wyjścia monitorujące dołączamy do wejść wzmacniacza kontrolnego podwójnym przewodem RCA/RCA.

Gdy wszystko jest gotowe, przechodzimy do strony z końcową procedurą testową. ■

Phil Prosser

Wykaz elementów:

1 dwustronna płytka drukowana; wymiary 99,5 × 189,5 mm; kod 04106231
1 czarna obudowa aluminiowa Hammond 220 × 103 × 53 mm [element14 9287892, Mouser 546-1455N2201BK, Digi-Key HM1732-ND]
1 transformator wtyczkowy 15 V AC (prąd co najmniej 1,2 A) [Jaycar MP3021]
3 przekaźniki telekomunikacyjne DPDT 2 A z cewką na 5 V, do montażu na płytce drukowanej (RLY1...RLY3) [Altronics S4128B]
4 koraliki ferrytowe, długość 5 mm, średnica wewnętrzna 2 mm (FB1...FB4)
2 zaciski do bezpiecznika M205 do montażu na płytce drukowanej (F1)
1 gniazdo zasilające, średnica wewnętrzna 2,1 mm lub 2,5 mm, do montażu na płytce drukowanej, pasujące do wtyczki transformatora (CON1)
1 stereofoniczne gniazdo kątowe RCA do montażu na płytce drukowanej (CON2) [Altronics P0210]
1 podwójne stereofoniczne gniazdo kątowe RCA do montażu na płytce drukowanej (CON3) [Altronics P0214]
7 kątowych kodowanych gniazd dwubiegunowych, raster 2,54 mm, z pasującymi wtyczkami (CON4-CON9, CON12) [Altronics P5512+P5472+P5470A×2]
1 kątowe kodowane gniazdo trzybiegunowe, raster 2,54 mm, z pasującą wtyczką (CON11) [Altronics P5513+P5473+P5470A×2]
1 dwustykowe złącze męskie „goldpin" do zwory (LK1)
1 trójstykowe złącze męskie „goldpin" do zwory (JP1)
2 podstawki DIL8 (opcjonalne; dla IC1 i IC2)
2 podwójne czerwone/czarne zaciski głośnikowe z gniazdami bananowymi [Altronics P9257A]
3 przełączniki SPDT do montażu na panelu z mechanizmem blokującym [Altronics S1311]
1 trzypinowe gniazdo mikrofonowe XLR do montażu na panelu (CON10) [Altronics P0903]

Osprzęt montażowy i okablowanie

1 bezpiecznik 2 A 250 V M205 (F1)
1 niskoprofilowy radiator do montażu na płytce drukowanej, 84×24×28 mm [Altronics H0668]
3 radiatory TO-220, 16 × 22 mm, do montażu na płytce drukowanej [Altronics H0650]
5 zestawów izolacyjnych TO-220 (podkładki + tuleje) [Altronics H7210 (cztery w zestawie)]
1 śruba z łbem walcowym M3 × 25 mm
6 śrub z łbem walcowym M3 × 16 mm
6 podkładek antywibracyjnych M3
6 podkładek płaskich M3
4 nakrętki sześciokątne M3
2 podkładki z włókna lub nylonu; średnica wewnętrzna 3 mm [Jaycar HP0148]
2 śruby maszynowe 4G × 12 mm z łbem stożkowym [Bunnings 2420062]
1 trzyżyłowy kabel połączeniowy, długość 150 mm
1 przewód o małej średnicy, długość 300 mm
1 podwójny przewód taśmowy, długość 1 m
1 czarna rurka termokurczliwa, długość 200 mm, średnica 3 mm

Półprzewodniki

2 podwójne niskoszumowe wzmacniacze operacyjne NE5532, obudowa DIP8 (IC1, IC2)
1 wzmacniacz audio LM1875T, 20 W, obudowa TO-220-5 (IC3) [Jaycar ZL3755]
1 nastawny stabilizator liniowy o podwyższonym napięciu wejściowym LM317HV, obudowa TO-220 (REG1) [Altronics Z0545]
1 nastawny stabilizator liniowy napięcia dodatniego LM317, obudowa TO-220 (REG3)
1 nastawny stabilizator liniowy napięcia ujemnego LM337, obudowa TO-220 (REG4)
2 tranzystory PNP BC559, 100 mA, 30 V, obudowa TO-92 (Q1, Q2)
4 diody Zenera 6,8 V, moc 1 W (ZD1-ZD4)
1 prostownik mostkowy 400 V 4 A, obudowa SIL (BR1) [na przykład KBL404; Altronics Z0076A]
8 diod 1N4004, 400 V, 1 A (D2, D3, D22, D23, D26-D29)
7 diod małosygnałowych 1N4148, 75 V, 200 mA (D4, D6-D9, D11, D12)
4 diody Schottky BAT85, 30 V, 200 mA (D5, D10, D15, D16)

Kondensatory

4 niskoimpedancyjne („low ESR") kondensatory elektrolityczne 2200 µF 25 V, wyprowadzenia radialne, rozstaw 7,5 mm [Altronics R6204; Jaycar RE6330]
3 kondensatory elektrolityczne 470 µF 25 V, wyprowadzenia radialne, rozstaw 5 mm [Altronics R5164; Jaycar RE6326]
2 kondensatory elektrolityczne 220 µF 63 V, wyprowadzenia radialne, rozstaw 5 mm [Altronics R5148; Jaycar RE6348]
1 kondensator elektrolityczny 220 µF 16 V, wyprowadzenia radialne, rozstaw 3,5 mm [Altronics R5143; Jaycar RE6312]
3 kondensatory elektrolityczne 100 µF 50 V, wyprowadzenia radialne, rozstaw 5 mm [Altronics R6127; Jaycar RE6346]
9 niskoimpedancyjnych („low ESR") kondensatorów elektrolitycznych 47 µF 50 V, wyprowadzenia radialne, rozstaw 3,5 mm [Altronics R6107; Jaycar RE6344]
2 niskoimpedancyjne („low ESR") kondensatory elektrolityczne 22 µF 50 V, wyprowadzenia radialne, rozstaw 2,5 mm [Altronics R6077; Jaycar RE6342]
2 kondensatory elektrolityczne niepolaryzowane 22 µF 50 V, wyprowadzenia radialne, rozstaw 3,5 mm [Altronics R6570 A; Jaycar RY6816]
5 niskoimpedancyjnych („low ESR") kondensatorów elektrolitycznych 10 µF 50 V, wyprowadzenia radialne, rozstaw 2,5 mm [Altronics R6067; Jaycar RE6075]
1 kondensator poliestrowy 220 nF 63 V MKT
12 kondensatorów poliestrowych 100 nF 63 V MKT
2 kondensatory poliestrowe 1 nF 63 V MKT
1 kondensator ceramiczny 680 pF 50 V NP0/C0G
2 kondensatory ceramiczne 100 pF 50 V NP0/C0G
2 kondensatory ceramiczne 22 pF 50 V NP0/C0G

Rezystory (wszystkie ¼W, 1%, osiowe, o ile nie podano inaczej)

4 szt. 47 kΩ	6 szt. 22 kΩ	1 szt. 12 kΩ	2 szt. 10 kΩ	3 szt. 9,1 kΩ	2 szt. 6,8 kΩ, 0,5 W lub 0,6 W, 1%
2 szt. 4,7 kΩ	2 szt. 3,3 kΩ	2 szt. 2,7 kΩ	1 szt. 2,2 kΩ	1 szt. 1,2 kΩ	6 szt. 1 kΩ
1 szt. 910 Ω	2 szt. 390 Ω	1 szt. 330 Ω	3 szt. 240 Ω	9 szt. 100 Ω	2 szt. 10 Ω
1 szt. 10 Ω, 5 W, 5% [Altronics R0323; Jaycar RR3250]				1 szt. 1 Ω, 1 W, 5%	

Materiały dodatkowe dostępne są na stronie: https://www.siliconchip.com.au/Shop/8/6759

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 6fff7859d1

Zagraj we własną grę kółko i krzyżyk, część 2

Opisana w artykule popularna gra została zbudowana przy użyciu tylko dyskretnych układów logicznych i pamięci EPROM lub EEPROM, które zawierają dane rozgrywki. W pierwszej części opisano ewolucję projektu i działanie układów. W tej części zbadamy, w jaki sposób zostały wygenerowane dane rozgrywki, a następnie wyjaśnimy, jak zbudować urządzenie.

Podstawowym elementem gry jest „baza danych" ruchów. Jest ona oparta na aktualnym stanie planszy i informacji o tym, który gracz zaczął jako pierwszy (człowiek czy maszyna). Mając te informacje, wyszukiwana jest właściwa dana w pamięci EPROM/EEPROM. Jest to liczba informująca grę o tym, na którym kafelku powinien być położony żeton w następnym ruchu.

Potrzebujemy więc prawidłowych danych w pamięci EPROM/EEPROM, aby maszyna mogła poprawnie grać i zawsze wygrywać lub remisować, co jest zależne od umiejętności człowieka. W jaki sposób możemy wygenerować te dane?

Decyzje dotyczące rozgrywki

Dwa z pytań sformułowanych na początku pracy dotyczyły tego, ile reakcji maszyny jest wymaganych w grze, w której pierwszy ruch wykonuje człowiek, oraz w grze, w której grę rozpoczyna maszyna. Zacząłem od zbadania przypadku, w którym zaczyna człowiek (X), ignorując symetrię planszy oraz lustrzane i obrotowe odbicia.

Gra ma dziewięć różnych możliwości rozpoczęcia. Załóżmy, że X zaczyna na polu 1. Wtedy O ma do wyboru osiem pozostałych pól. Moglibyśmy ograniczyć odpowiedź do zajęcia środkowego pola, jeśli X nie zajął go początkowo, lub w przypadku, gdy X zajmuje początkowo środkowe pole, O może zająć to samo początkowe pole narożne.

Sekwencja gry zależy wtedy w dużej mierze od drugiego ruchu X. Pierwszą odpowiedź O można nazwać „początkiem ogólnym", ponieważ można ją stereotypowo przypisać do jednego z dwóch możliwych kwadratów.

Następnie możemy posortować sekwencję gry na grupy rozwiązań w postaci X1,2 i X1,3 do X1,9, gdzie pierwsza liczba reprezentuje początkową lokalizację ruchu X, a druga liczba reprezentuje drugi ruch X po pierwszej odpowiedzi maszyny.

W powyższym przykładzie, jeśli pierwszym ruchem X jest pole 1 (pole narożne), nie ma sekwencji gry X1,5, ponieważ pierwszą reakcją O jest zajęcie środkowego pola, więc nie jest to już opcja dla X.

Po początkowej odpowiedzi O, siedem pól pozostaje do wyboru dla X. Oznacza to, że dla każdej sekwencji uruchamiania gry, początkowo pojawia się siedem wzorów planszy. W tym momencie przychodzi kolej na ruch O. Analiza w tym momencie pokazuje, że aby uwzględnić wszystkie błędy, które X może popełnić przy wyborze pola do ukończenia gry, wymagane jest dziewięć odpowiedzi dla każdego z początkowych siedmiu wzorów planszy.

Dziewięć stanów początkowych i siedem początkowych wzorów planszy wymaga 63 plansz (9×7). Każda z tych 63 możliwości zawiera dziewięć punktów danych (lub odpowiedzi maszyny), pozwalających na kontynuowanie gry. Liczba odpowiedzi wymaganych przez maszynę może teoretycznie wynosić łącznie 569 początkowych odpowiedzi (9×63+2).

Jednak po rozpoczęciu gry zduplikowane wzory graczy X i O pojawiają się w różnych sekwencjach początkowych. Pojawiają się one na początku gry, gdy dwa X i jedno O znajdują się w tych samych miejscach. Następnie cała grupa 9 odpowiedzi zostaje zduplikowana. W późniejszej fazie gry powielanie wzorów na planszy występuje również w ostatnich ruchach.

Wymagana liczba odpowiedzi komputera po usunięciu duplikatów dla przypadku „X zaczyna pierwszy" wynosi 285.

Przykładowy wykres pokazano na **rysunku 7**, jednym z 63 wykresów pomocniczych w przypadku „X zaczyna pierwszy". Stworzyłem je ręcznie, aby przeanalizować każdy możliwy ruch człowieka i wybrać odpowiednie reakcje maszyny.

Liczby w kolorze cyjanowym to adresy dziesiętne wygenerowane przez wzór elementów X i O na planszy. Przekształciłem te liczby dziesiętne na liczby szesnastkowe, aby zaprogramować pamięć EPROM/EEPROM. Liczby w kolorze czerwonym to wartości bajtów zaprogramowane w pamięci EPROM/EEPROM w tych lokalizacjach adresowych.

Gdy człowiek X zaczyna jako pierwszy, drugi gracz, niezależnie od tego, czy jest to maszyna, czy człowiek grający O, jest „popychany" przez strategię gry X. Wiele reakcji maszyny O w tym przypadku ma na celu uniknięcie pokonania poprzez zablokowanie zwycięskiego ruchu człowieka. Jak wspomniano wcześniej, gracz rozpoczynający ma znaczną przewagę.

Rozważmy człowieka X zaczynającego na pozycji 7 (na powyższym przykładzie wykresu) i wykonującego drugi ruch na pole 4. Wykres (górny i jego ścieżka) jest oznaczony jako X7,4. Chociaż człowiek może wykonać następny ruch w inny sposób, na pozycje 1, 2, 3, 6, 8 lub 9, wszystkie te kombinacje są uwzględnione na innych wykresach X7.

Początkowy ruch gracza X powoduje wygenerowanie adresu dziesiętnego 64. Następnie przychodzi kolej na O, więc komputer aktywuje się i zajmuje centralne pole. Następnie X zagrywa na kwadrat 4 jako swój drugi ruch (w tym przykładzie sekwencji X7,4). Generuje to adres dziesiętny 8264, a maszyna w odpowiedzi zajmuje kwadrat 1, ponieważ „01" jest zaprogramowane pod tym adresem w pamięci EPROM/EEPROM.

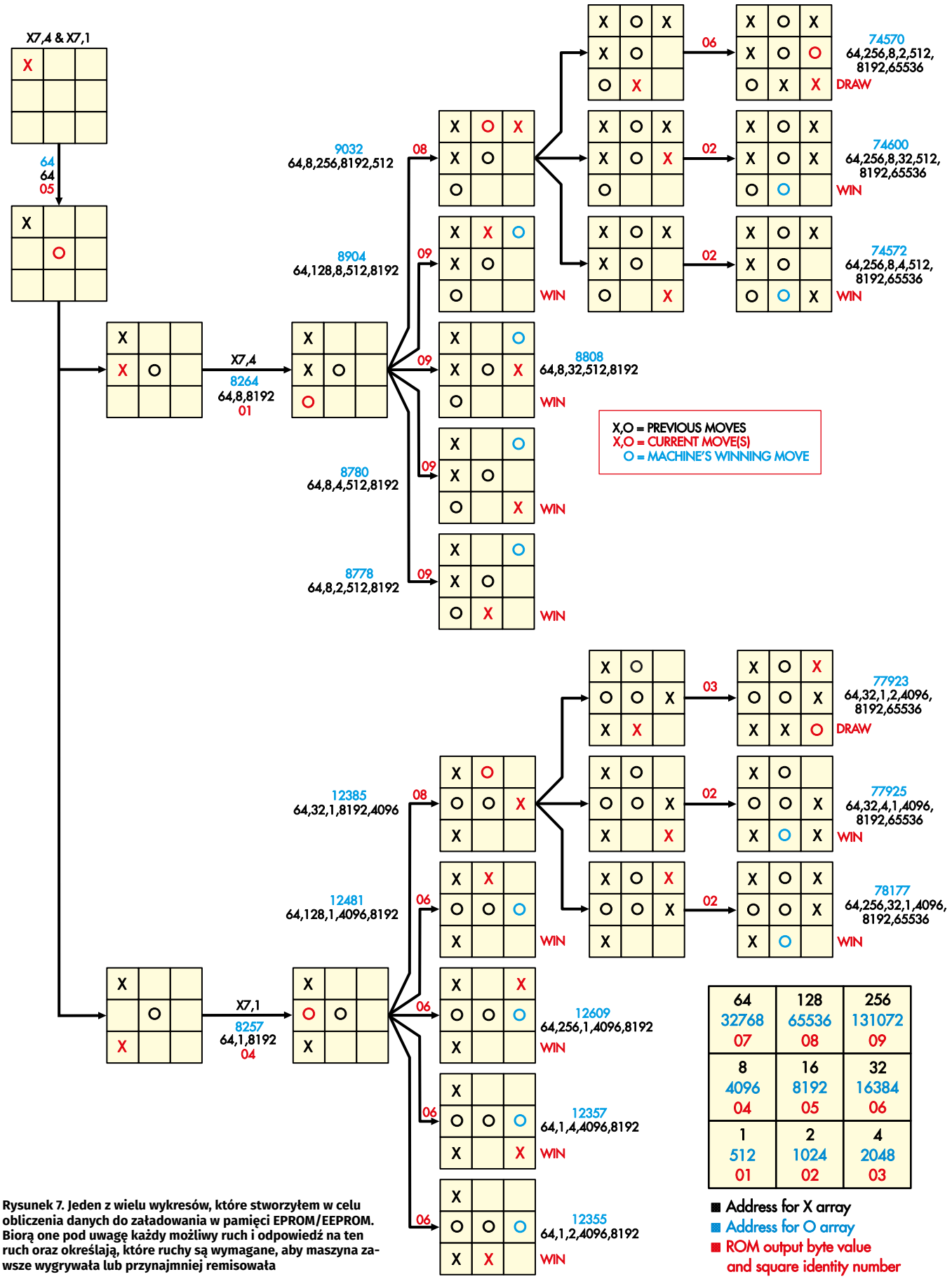
Pomijając ogólne ruchy startowe, istnieje dziewięć odpowiedzi z sekwencji X7,4, podobnie jak w przypadku sekwencji X7,1.

Jak widać na wykresach, istnieje wiele możliwości popełnienia błędu przez gracza X, w którym maszyna wygrywa, i tylko jedna ścieżka do remisu z maszyną. Jeśli człowiek popełni błąd, maszyna zajmie odpowiednie pole, aby wygrać.

Dlatego większość punktów danych pozwala na wiele wariantów błędów, które może popełnić człowiek, aby maszyna (która nigdy nie popełnia błędu) mogła je wykorzystać.

W przypadku „X zaczyna pierwszy" było 28 zduplikowanych wykresów z 63,

eprasa.pl 6fff7859d1



Rysunek 7. Jeden z wielu wykresów, które stworzyłem w celu obliczenia danych do załadowania w pamięci EPROM/EEPROM. Biorą one pod uwagę każdy możliwy ruch i odpowiedź na ten ruch oraz określają, które ruchy są wymagane, aby maszyna zawsze wygrywała lub przynajmniej remisowała

eprasa.pl 6fff7859d1

co pozwoliło zaoszczędzić 252 odpowiedzi i pozostawić tylko 285. Odkryłem, że liczbę duplikatów można zwiększyć, wybierając podobny styl rozgrywki.

Podobne duplikaty danych pojawiają się później w rozgrywce dla ostatecznych odpowiedzi wewnątrz wykresu, które są zgodne z wynikami na innych wykresach. To dodatkowo zmniejsza wymaganą liczbę odpowiedzi maszyny. Dzieje się tak, ponieważ wzorce planszy zbiegają się do tego samego wyniku poprzez różne początkowe sekwencje gry.

Maszyna rozpoczyna jako pierwsza

Gdy maszyna (O) uruchamia grę jako pierwsza, wymagana jest większa liczba wykresów (72) z wieloma unikatowymi odpowiedziami maszyny.

Liczba odpowiedzi zależy w pewnym stopniu od strategii gry. Zaczynając jako gracz pierwszy, maszyna ma przewagę i może w dużej mierze dyktować przebieg gry, nawet zastawiając pułapki, w których jeśli X wykona zły ruch początkowy, może szybko znaleźć się w sytuacji bez możliwości uniknięcia przegranej.

Rozgrywka została zoptymalizowana w taki sposób, aby przyłapać człowieka na błędzie przy każdej okazji. Każdy możliwy błąd gracza X został przeanalizowany i maszyna odpowiednio na niego reaguje. Najlepsze, na co może liczyć człowiek, to remis.

Mimo to obowiązują te same podstawowe zasady i strategie. Po prostu jest więcej możliwości, głównie dlatego, że maszyna wybiera losowy ruch początkowy. Nie ma tak wielu duplikatów całej planszy, jak w przypadku „X zaczyna pierwszy". Jest to mniej więcej połowa z 15 duplikatów. Mimo to możliwe jest zaoszczędzenie ponad 100 wymaganych odpowiedzi maszyny.

Całkowita liczba odpowiedzi maszyny dla „O zaczyna pierwszy" z wybraną przeze mnie strategią gry wyniosła 560, czyli prawie dwa razy więcej niż dla „X zaczyna pierwszy" (285).

W związku z tym całkowita liczba unikatowych zaprogramowanych odpowiedzi wymaganych do zapewnienia obsługi obu scenariuszy wynosi 845 przy strategii rozgrywki zastosowanej w tym projekcie.

Konstrukcja obudowy

Kółko i krzyżyk to taka starożytna gra i mógłbym sobie wyobrazić ludzi grających w nią setki lat temu z drewnianymi klockami z umieszczonymi na nich symbolami „X" i „O". Powszechnie gra się w nią również używając długopisu i kartki papieru. Problem z grami planszowymi, które używają elementów graczy, polega na tym, że elementy te mają tendencję do gubienia się.

Zdecydowałem, że chcę kompaktowej gry o wysokiej jakości, przypominającej elegancki produkt z lat 20. lub 30. ubiegłego wieku. Popularnymi materiałami były wówczas tworzywa sztuczne, takie jak bakelit. Tego rodzaju materiały są obecnie trudniejsze do zdobycia, więc postanowiłem zbudować ją z czarnych, błyszczących paneli akrylowych o grubości 10 mm z wygrawerowanymi oznaczeniami wypełnionymi białą farbą.

Zdecydowałem się na pokrywę na zawiasach, aby elementy graczy mogły być przechowywane wewnątrz obudowy, co zmniejsza ryzyko ich zgubienia.

Jak wspomniałem wcześniej, chciałem, aby gra działała bez zasilania dla dwóch graczy (dwóch ludzi). Podobnie jak w niektórych grach wideo, możesz wybrać grę z drugim graczem lub maszyną, jeśli grasz sam.

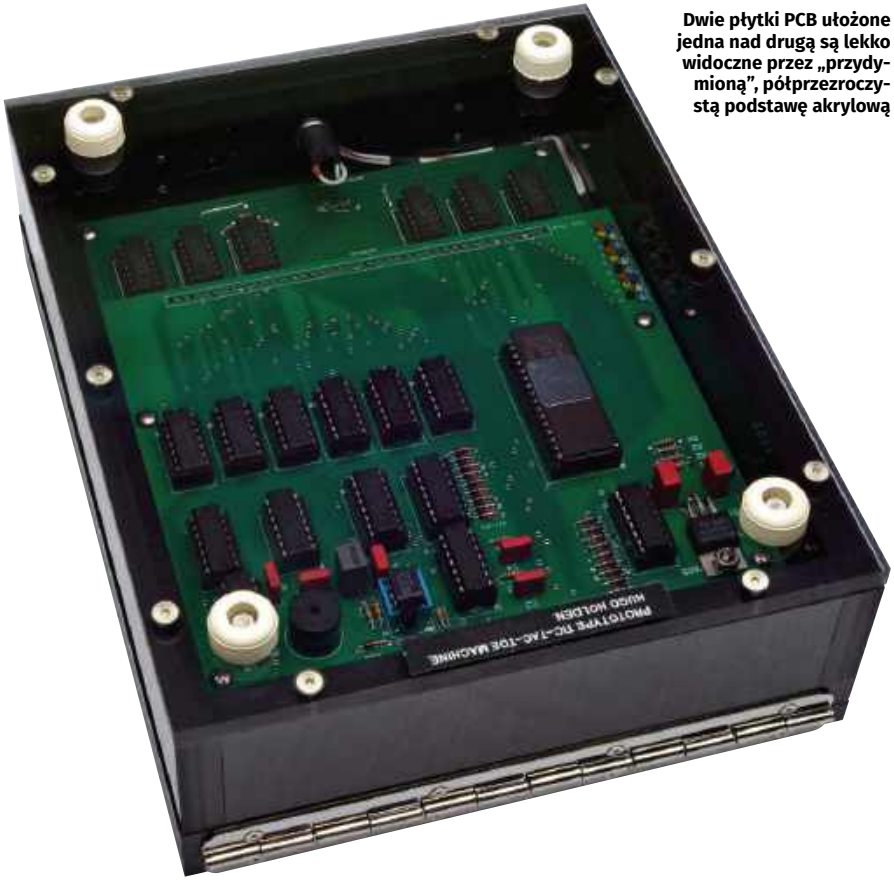
Akryl o grubości 10 mm ma tę zaletę, że stosunkowo łatwo jest w niego wkręcić gruby gwint. Dobrym rozmiarem śruby do tego zastosowania jest 4...40 UNC (przypis redaktora: UNC to system gwintów calowych (Unified National Coarse); rozmiar 4-40 UNC jest wymiarowo zbliżony do gwintu śruby M3). Aby zabezpieczyć górną i dolną ściankę wkręciłem więc w ramę długie gwinty, około 15 mm. W przypadku początkowej wersji maszyny użyłem lekko przyciemnionej, przezroczystej ścianki dolnej o grubości 6 mm, dzięki czemu wewnętrzna elektronika jest widoczna dla obserwatora.

Urządzenie można łatwo wykonać z dowolnej kombinacji kolorystycznej paneli akrylowych o grubości 10 mm. Może być również wykonane z kilku innych rodzajów tworzyw sztucznych z różnymi wzorami dekoracyjnymi, na przykład imitującymi masę perłową lub bursztynowo-brązowy deseń typu tortoiseshell.

Lokalna firma z branży tworzyw sztucznych (Sunquest Industries) wyfrezowała i wygrawerowała dla mnie akrylowe ścianki oraz dodała otwory pilotażowe. Powiększyłem i nagwintowałem wszystkie wymagane otwory gwintem 4-40 UNC.

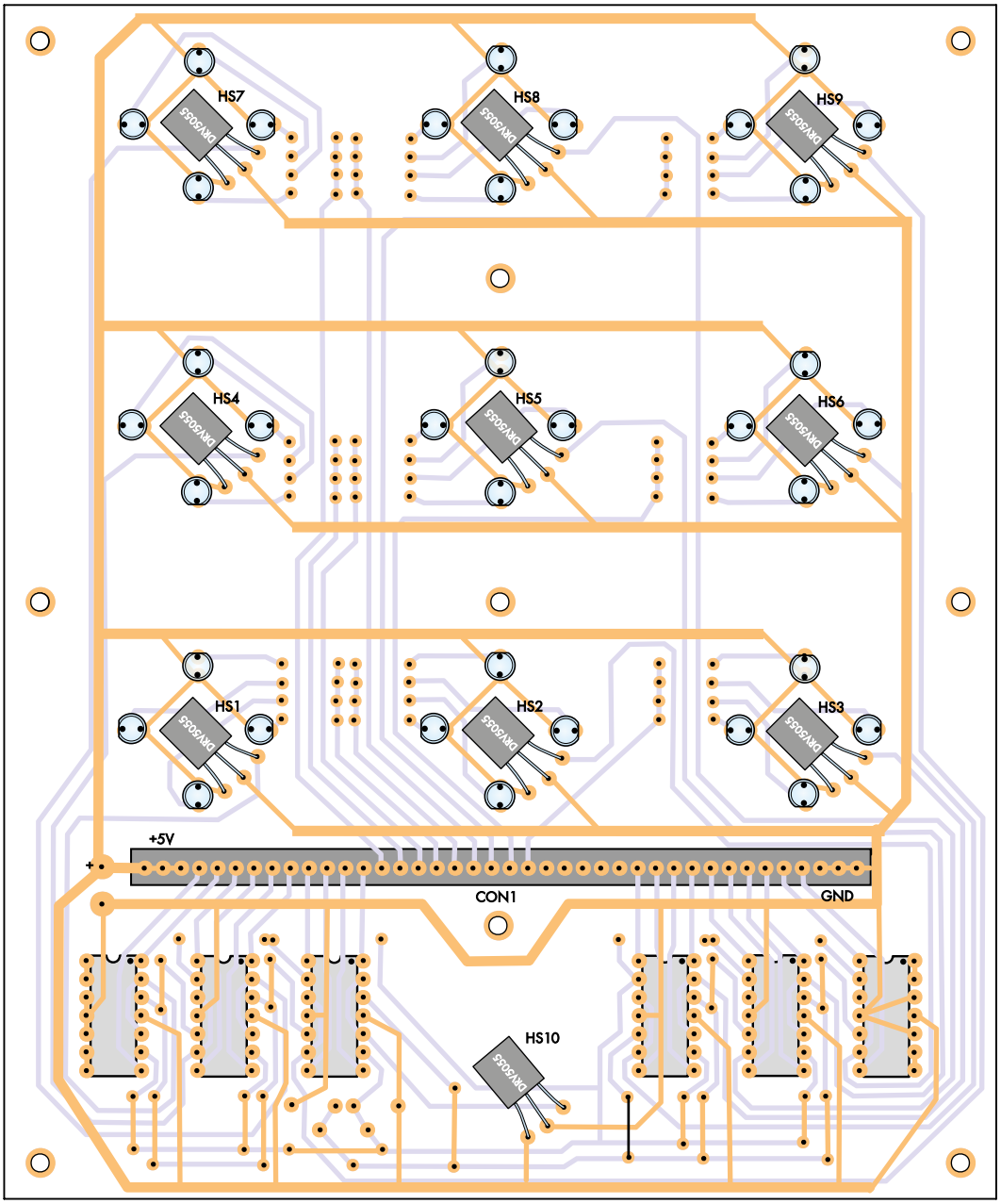
Aby dopasować zawias do pokrywy, wykonałem mosiężne wkładki o długości 10 mm i średnicy 4 mm z otworami gwintowanymi M2. Zrobiłem tak, ponieważ śruby o małej średnicy i drobnym skoku gwintu nie sprawdzają się zbyt dobrze bezpośrednio w akrylu. Do tego zadania można użyć gotowych gwintowanych wkładek przeznaczonych do plastiku.

Narysowałem projekty PCB jako obrazy i wysłałem wynikowe pliki JPG do Storm



Dwie płytki PCB ułożone jedna nad drugą są lekko widoczne przez „przydymioną", półprzezroczystą podstawę akrylową

eprasa.pl 6fff7859d1



Montaż diod LED
Prawidłowe ustawienie diod LED ma kluczowe znaczenie. Można to zrobić, umieszczając te diody w otworach i używając taśmy zabezpieczającej przed wypadnięciem, a następnie tymczasowo przymocowując planszę do górnej ścianki. Umieszczające żeton w każdym wgłębieniu, wciśnij diody LED tak, aby dotykały żetonu, a następnie przylutuj ich wyprowadzenia. Zapewni to, że soczewki LED nie będą przeszkadzać w prawidłowym umieszczeniu elementów gry w ich wgłębieniach.

Rysunek 8. Górna część płytki drukowanej zawiera tylko 36 niebieskich diod LED i 10 czujników Halla. Nie pokazano tutaj, że czujniki są rozmieszczone około 3,2 mm nad górną powierzchnią płytki drukowanej. Aby to osiągnąć, przykleiłem fenolowe przekładki pod obudowami TO-92, ale istnieją również inne metody

Circuit Technology z siedzibą w Shenzhen w Chinach. Tam pan Kim Chan przekonwertował moje obrazy na pliki Gerber i wyprodukował w krótkim czasie wysokiej jakości PCB. Uważam, że ich usługi są doskonałe.

Montaż PCB

Zacznij od zmontowania dwóch płytek drukowanych. Płytka planszy gry o wymiarach 138 mm × 166 mm jest oznaczona kodem 08111221, a jej schemat montażowy pokazano na **rysunkach 8** i **9**, natomiast płytka sterująca o wymiarach 138 mm × 124 mm jest oznaczona kodem 08111222 i pokazano ją na **rysunku 10**.

Najlepiej zacząć od zamontowania elementów od spodu płytki planszy gry, zaczynając od tych o najniższym profilu (pięć połączeń kablowych i 39 rezystorów), następnie montujemy układy scalone, a na końcu pozostałe elementy.

Wszystkie układy scalone są tego samego typu, ale upewnij się, że są prawidłowo zorientowane. Na tej stronie płytki nie ma już innych elementów spolaryzowanych.

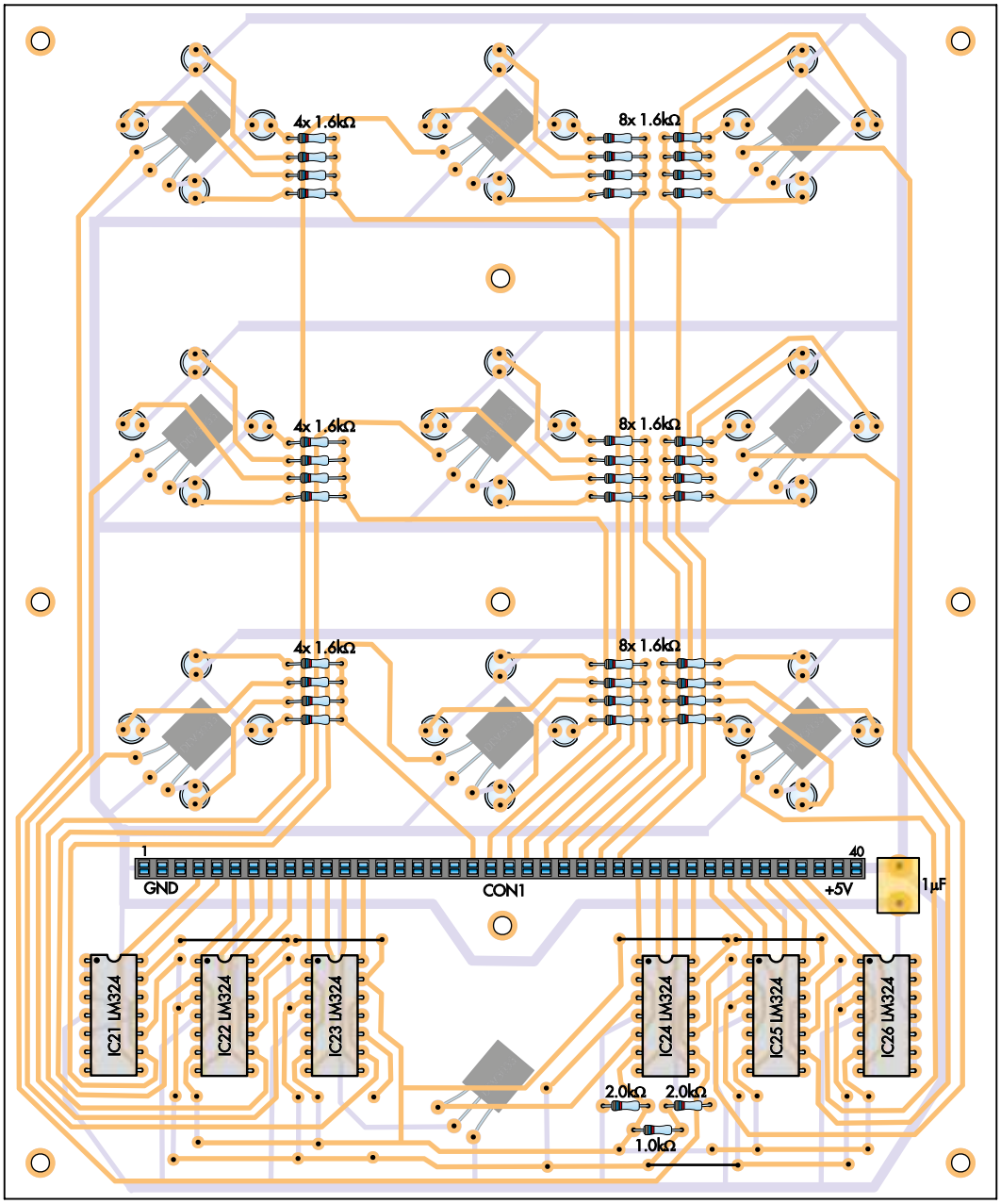
Pamiętaj, że jeśli używasz czujników Halla o mniejszej czułości (A2), musisz zmienić rezystor 1 kΩ na 510 Ω.

Odwróć teraz płytkę i przylutuj 36 niebieskich diod LED z katodami (oznaczonych ścięciami w okrągłych podstawach obudów) skierowanymi zgodnie z rysunkiem 8.

Następnie zamontuj czujniki Halla płaskimi powierzchniami oddalonymi od płytki drukowanej a zaokrąglonymi bokami zwróconymi do jej powierzchni. Elementy te należy wygiąć tak, jak to pokazano na rysunku. Aby zagwarantować, że elementy te znajdą się na odpowiedniej wysokości przykleiłem pod nimi fenolowe tuleje dystansowe o wysokości 3,2 mm (1/8 cala), ale nie są one bezwzględnie wymagane. Można po prostu wygiąć odpowiednio ich wyprowadzenia uzyskując odstęp 3,2 mm między czujnikami a powierzchnią płytki drukowanej.

Montaż płytki sterującej jest prosty. Zacznij od zamontowania wszystkich małych diod 1N4148 z paskami katodowymi skierowanymi zgodnie z rysunkiem 10, następnie rezystorów, a na końcu większej diody 1N5819, D1.

eprasa.pl 6fff7859d1



Rysunek 9. Rezystory, kondensator, układy scalone, listwa z gniazdami i połączenia przewodowe są zamontowane na spodzie płytki drukowanej. Jest pięć połączeń przewodowych. Można je wykonać za pomocą srebrzanki lub odciętych wyprowadzeń elementów (jeśli są wystarczająco długie), ponieważ pod spodem nie ma żadnych elementów przewodzących, zakładając, że płytka ma maskę lutowniczą. Jeśli nie używasz czujników Halla w wersji A1, może być konieczna zmiana wartości rezystora 1 kΩ

Następnym zadaniem jest przylutowanie wszystkich układów scalonych. Prawdopodobnie będziesz chciał umieścić układ IC1 w podstawce na wypadek konieczności jego przeprogramowania lub wymiany. Pozostałe elementy nie wymagają podstawek. Należy zachować ostrożność przy ich montażu, ponieważ różne typy mogą mieć tę samą liczbę pinów, ale inną orientację – w niektórych przypadkach pin 1 znajduje się na górze, a w innych na dole.

Następnie uformuj wyprowadzenia układu REG1, dopasowując je do padów PCB, przymocuj ten układ za pomocą krótkiej śruby maszynowej i nakrętki, a następnie przylutuj i przytnij wyprowadzenia. Kolejne elementy do montażu to złącze CON2, MOSFET Q1, następnie kondensatory (wszystkie są niespolaryzowane) i na końcu brzęczyk piezoelektryczny.

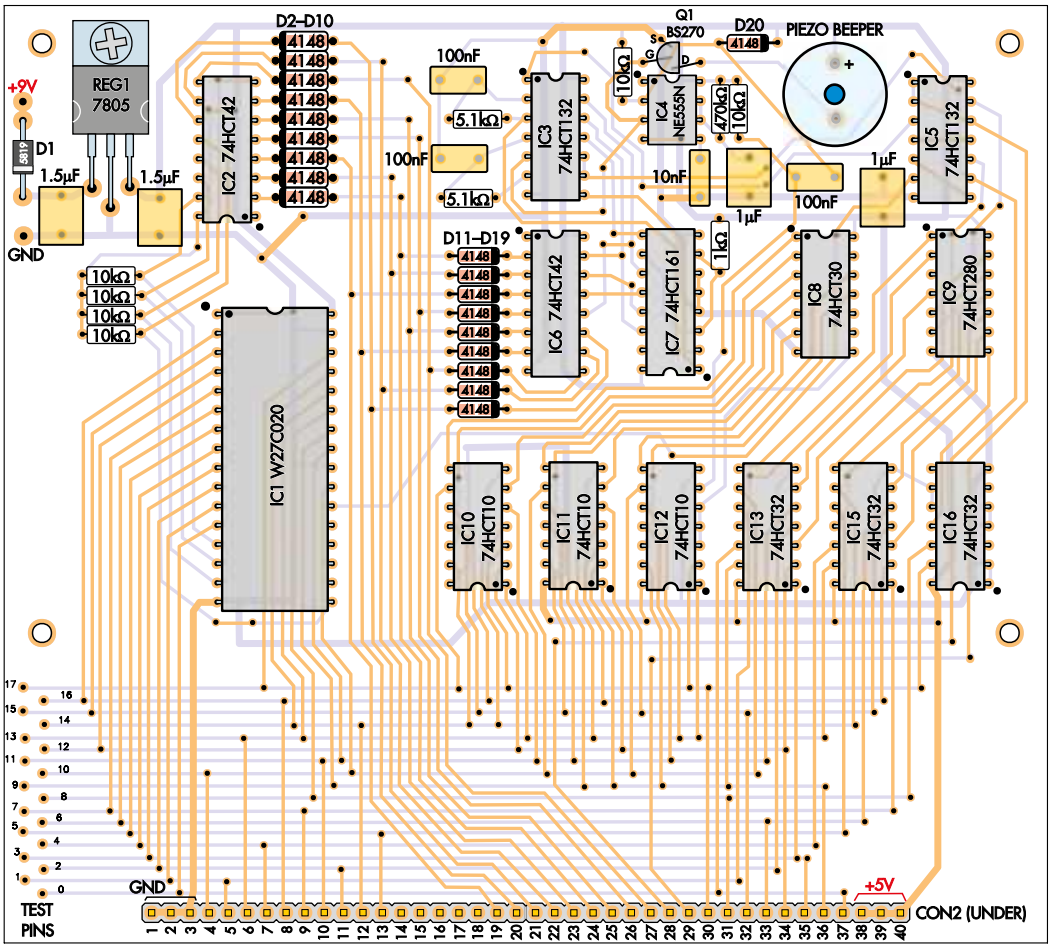
Możesz teraz przylutować dodatni przewód zasilający z baterii lub gniazda zasilania do pola +9 V obok REG1 przez przełącznik zasilania. Podłącz ujemny przewód zasilający do pola oznaczonego GND. Upewnij się, że polaryzacja przewodów zasilających jest prawidłowa, ponieważ na płytce nie ma zabezpieczenia przed odwrotną polaryzacją.

Płytki można następnie połączyć ze sobą i tymczasowo podłączyć zasilanie w celu przetestowania ich działania. Można to zrobić, machając słabymi magnesami nad czujnikami Halla (zwłaszcza HS10) z obiema polaryzacjami i sprawdzając, czy diody LED reagują zgodnie z oczekiwaniami.

EPROM vs EEPROM

Jedyną różnicą między pamięciami EPROM i EEPROM jest metoda kasowania zawartości. Pamięć EPROM jest kasowana światłem UV wprowadzanym przez okienko w górnej części obudowy układu, natomiast EEPROM jest kasowany przez zastosowanie określonego zestawu sygnałów elektrycznych („kasowany elektrycznie", stąd EE w EEPROM).
Dane są programowane w obu typach chipów za pomocą sygnałów elektrycznych, podobnie jak w przypadku pamięci Flash, późniejszej technologii.

eprasa.pl 6fff7859d1



Niektóre z krytycznych elementów umieszczonych w wykazie można znaleźć na przykład w serwisie eBay:

Śruby zawiasów:
siliconchip.au/link/abj3

Śruby UNC 4-40 do obudowy:
siliconchip.au/link/abj4

Zawias o długości 150 mm:
siliconchip.au/link/abj5

Zatrzaski:
siliconchip.au/link/abj6

Rysunek 10. Podczas montażu tej płytki należy zwracać uwagę na orientację diod i układów scalonych, ponieważ różnią się one między sobą. Należy również pamiętać, że istnieją różne układy scalone w bardzo podobnych obudowach. Jeśli po uruchomieniu coś pójdzie nie tak, możesz sprawdzić punkty testowe w lewym dolnym rogu. Odpowiadają one liniom adresowym EPROM/EEPROM

Jeśli układ nie zadziała zgodnie z oczekiwaniami, wyłącz zasilanie i sprawdź, czy nie ma usterek, takich jak złe połączenia lutowane lub nieprawidłowo zamontowane elementy. Jeśli test zakończy się oczekiwanym wynikiem, połącz dwie płytki za pomocą czterech gwintowanych tulei dystansowych i ośmiu krótkich wkrętów maszynowych, wykorzystując wstępnie wywiercone otwory montażowe.

Wykonanie ścianek obudowy

Obudowa jest złożona z obrabianych maszynowo ścianek akrylowych (MPPA), głównie z czarnego akrylu o grubości 10 mm z kilkoma półprzezroczystymi akrylami o grubości 6 mm (tylko dolna ścianka). Pierwszym krokiem jest przygotowanie tych ścianek.

Do wykonania tych ścianek najlepiej byłoby użyć frezarki CNC. Ponieważ jej nie posiadam, skontaktowałem się z lokalnym producentem szyldów, Sunquest Industries. W przeszłości realizując niektóre trudne zadaniach korzystałem z ich usług (www.sunquest.com.au). Wykonali dla mnie świetną robotę i prawdopodobnie mogliby ją powtórzyć dla każdego, kto chciałby zbudować identyczną obudowę.

Najbardziej złożona jest górna ścianka, z dziesięcioma wgłębieniami na elementy gracza. We wgłębieniach tych znajdują się również liczne otwory na diody LED, a na dolnej powierzchni znajdują się wgłębienia na czujniki Halla i diody LED. Na **rysunku 11** pokazano szczegóły wiercenia dla tej ścianki, z wyjątkiem diod LED i otworów montażowych, które dla przejrzystości zostały pominięte. Na tym rysunku zostały też pokazane etykiety na górnej ściance, które zostały wykonane techniką grawerowania, a następnie wgłębienia zostały wypełnione białą farbą. Alternatywnie możesz też dołączyć etykiety samoprzylepne.

Na **rysunku 12** przedstawiono rozmieszczenie diod LED i otworów montażowych w tej ściance. Należy zauważyć, że niektóre z nich są wiercone na wylot, a inne tylko częściowo i są one gwintowane. Dla uzyskania największej precyzji najlepiej jest użyć planszy do gry jako szablonu do zaznaczenia pozycji otworów montażowych.

Wczesne maszyny do gry w kółko i krzyżyk

Opisany projekt został zainspirowany wyzwaniem Dicka Smitha w numerze z października 2021 r. (strona 13), polegającym na zaprojektowaniu innowacyjnej maszyny do gry w kółko i krzyżyk. Jego wyzwanie opierało się na stworzeniu przez niego podobnej elektromechanicznej maszyny, gdy miał 14 lat (w 1958 roku), która najwyraźniej była nie do pokonania.

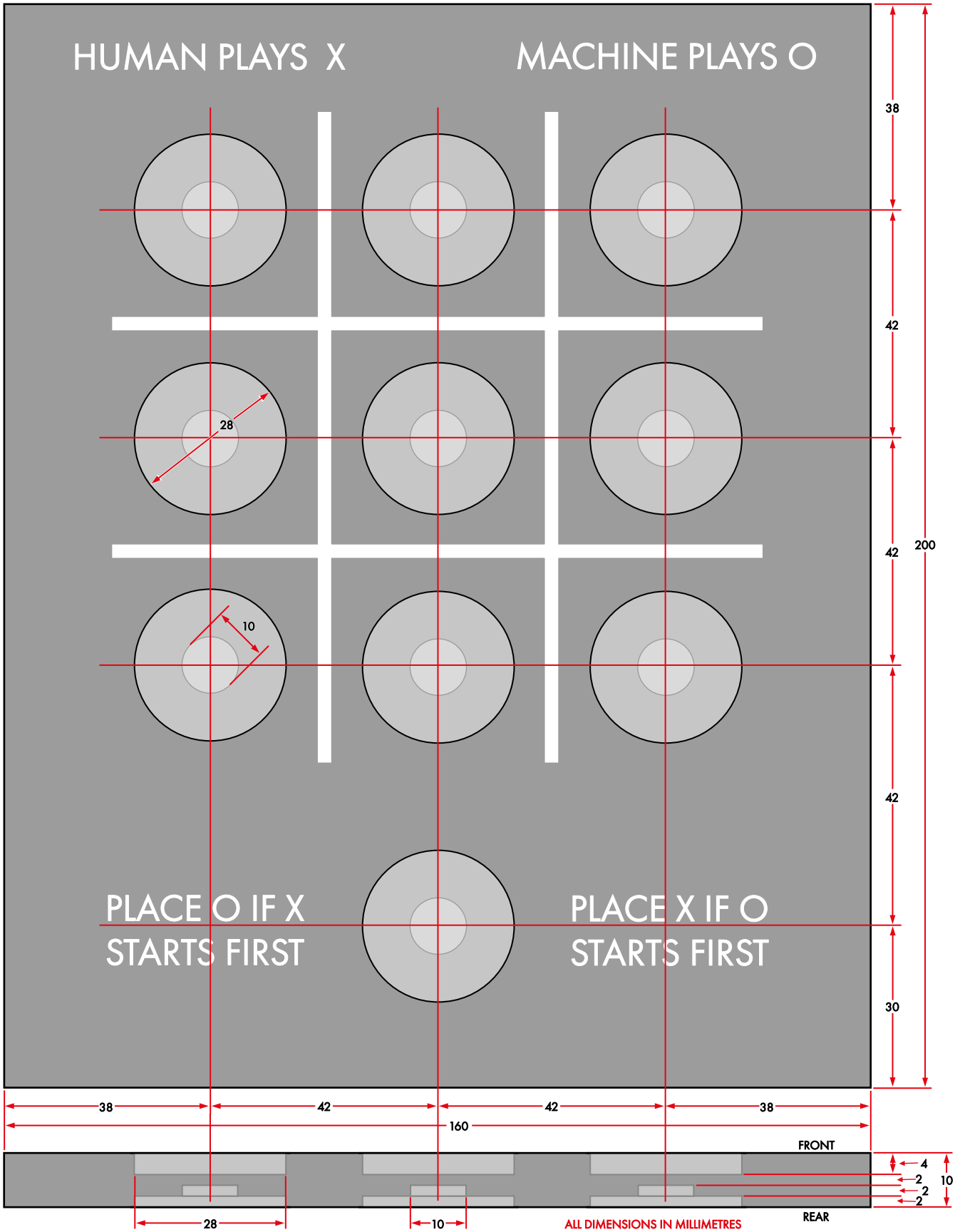
Prawdopodobnie było to zainspirowane maszyną o nazwie „Relay Moe". Jej projekt został opublikowany w wydaniu magazynu Radio-Electronics z grudnia 1956 r. (wspomniano o nim również w magazynie Life z 19 marca 1956 r.). „Moe" miał cztery strategie gry, ale żadna z nich nie wykluczała całkowicie pokonania go przez człowieka.

Według artykułu w Radio-Electronics na temat Moe, Bell Labs zbudowało wcześniej podobną maszynę, ale są to wszystkie informacje na ten temat.

Kolejnym urządzeniem, do którego znaleźliśmy odniesienie, był zbudowany przez RCA w 1955 roku ASTRC-1 – patrz siliconchip.au/link/abfh

Co ciekawe, obie maszyny zależały od systemów czasowych, w przeciwieństwie do mojego projektu przedstawionego tutaj.

eprasa.pl 6fff7859d1



Rysunek 11. Górny panel obudowy jest nieco trudny w obróbce, ponieważ trzeba dokładnie wyciąć dziesięć wgłębień zarówno w górnej, jak i dolnej powierzchni, przy czym wgłębienia pod spodem są płytsze. Nie wierć zbyt głęboko, bo możesz się przebić! Do tego zadania potrzebny jest frez trzpieniowy, najlepiej z frezarką CNC. Zwykłe wiertło nie wystarczy

eprasa.pl 6fff7859d1

Przygotowanie tej ścianki stanowi dużą część pracy. Po jej wykonaniu przejdź do pokrywy, pokazanej na **rysunkach 13** i **14**. Ma ona wgłębienia na spodzie umożliwiające pozostawienie elementów na planszy gracza po zamknięciu pokrywy. Jest też opcjonalne etykietowanie na górnej stronie. Górne krawędzie pokrywy zostały w mojej wersji sfazowane, co nadaje estetyczny wygląd, ale nie jest absolutnie wymagane.

Szczegóły ścianek bocznych i dolnej pokazano na **rysunkach 15** i **16**. Ścianki boczne należy przyciąć na wymiar z akrylu o grubości 10 mm i wykonać jedno wgłębienie na gniazdo zasilania lub przełącznik zasilania w przypadku korzystania z baterii. Półprzezroczysty panel dolny wymaga wywiercenia dziesięciu otworów na śruby mocujące obudowę.

Po wywierceniu wszystkich otworów w górnej i dolnej ściance, należy pogłębić dziesięć otworów o średnicy 3 mm w każdej ściance i sprawdzić, czy śruby maszynowe CSK UNC można wsunąć równo z obydwoma ściankami.

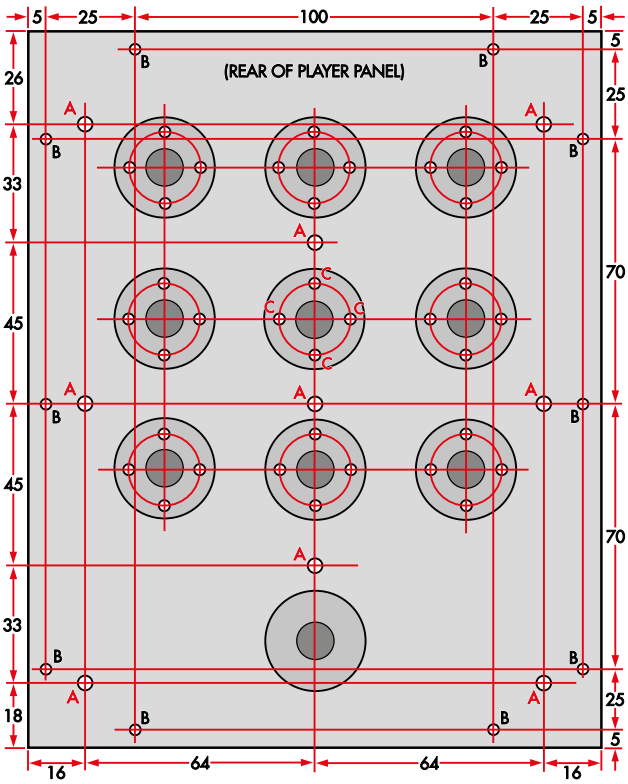
Otwory gwintowane do mocowania zawiasów i zatrzasków, które utrzymują zamkniętą pokrywę, nie są pokazane na rysunkach. Wynika to z faktu, że najlepiej jest je zaznaczyć i wywiercić po zmontowaniu obudowy, aby zapewnić ich dokładne spozycjonowanie. Podobnie, nie są pokazane otwory na śruby w ściankach bocznych, które przechodzą do ścianki górnej i dolnej, ponieważ są one wykonane przy użyciu górnej i dolnej ścianki jako szablonów.

Wykonanie żetonów do gry

Elementy gry – żetony wykonane są z czarnego akrylu o średnicy 20 mm i grubości 10 mm, z wygrawerowanymi na górnej powierzchni literami „O" i „X" wypełnionymi farbą. Można je wyciąć laserowo lub wyfrezować z arkusza akrylu o grubości 10 mm. Możliwe byłoby wykonanie ich ręcznie (np. przy użyciu otwornicy o średnicy 20 mm), ale byłoby to prawdopodobnie dość trudne.

Po ich wykonaniu wywierć wgłębienie w tylnej części każdego elementu na tyle głębokie, aby pomieścić magnesy. Przyklej je za pomocą żywicy epoksydowej, upewniając się, że są prawidłowo zorientowane – muszą być odwrócone na elementach „X" w porównaniu do elementów „O".

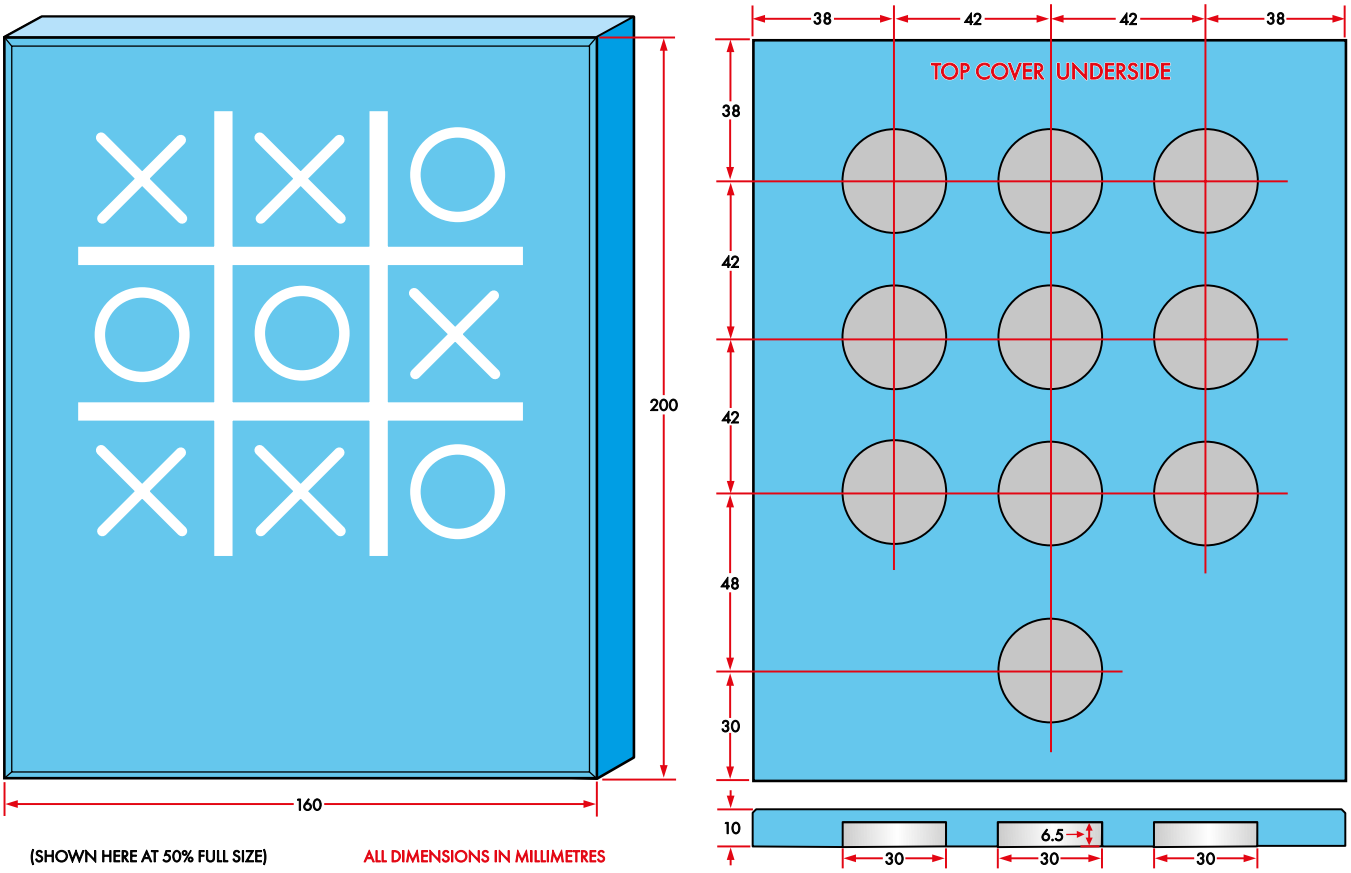
Aby określić prawidłową orientację, włącz urządzenie i przytrzymaj magnes nad HS10. Jeśli zaświeci się jedna z czterech diod LED, oznacza to orientację elementu „X". Trzymając element X nad magnesem, wsuń magnes we



Rysunek 12. Przedstawiono tu lokalizacje otworów do przewiercenia lub gwintowania w górnej ściance, które nie zostały pokazane na rysunku 11. Jest to 36 otworów na diody LED, 10 na śruby mocujące obudowę i 9 do częściowego przewiercenia, a następnie gwintowania od spodu

Kompletna obudowa bez pokrywy. Zwróć uwagę na soczewki LED wystające przez cztery otwory w każdym wgłębieniu o średnicy 20 mm oraz wpuszczone gniazdo zasilania z przodu

eprasa.pl 6fff7859d1



Rysunki 13 i 14. Pokrywa jest nieco prostsza do wykonania niż ścianka górna. Ma ona tylko grafikę na górze i dziesięć okrągłych wgłębień na spodzie, dzięki czemu żetony są trzymane w środku, gdy pokrywa jest zamknięta

wgłębienie. Jeśli nie świeci się żadna dioda LED, oznacza to orientację elementu „O".

Podczas przyklejania magnesów do żetonów należy zadbać o to, by powierzchnia epoksydowa nie wystawała ponad powierzchnię ich tylnych ścianek. Jeśli wystaje, elementy nie będą w pełni pasować do wgłębień, a pokrywy nie będzie można zamknąć.

Montaż obudowy

Złóż ścianki boczne ściśle do siebie, umieść górną ściankę na górze i zaznacz miejsca otworów na dziesięć śrub, które je łączą. Wywierć i nagwintuj te otwory gwintem 4-40 UNC (lub odpowiednikiem dla śrub M3).

Następnym zadaniem jest zamontowanie płytek drukowanych z tyłu ścianki przedniej. Przykręć gwintowane tleje dystansowe 4-40 UNC do gwintowanych otworów z tyłu ścianki przedniej, przez płytę planszy gry i kilka małych podkładek (aby działały jako przekładki, dając miejsce na połączenia lutowane). Są to podkładki jak te, które są używane w komputerach, dostępne w sklepach Jaycar. Umożliwiają one zamontowanie płytki sterującej na górze płytki planszy gry.

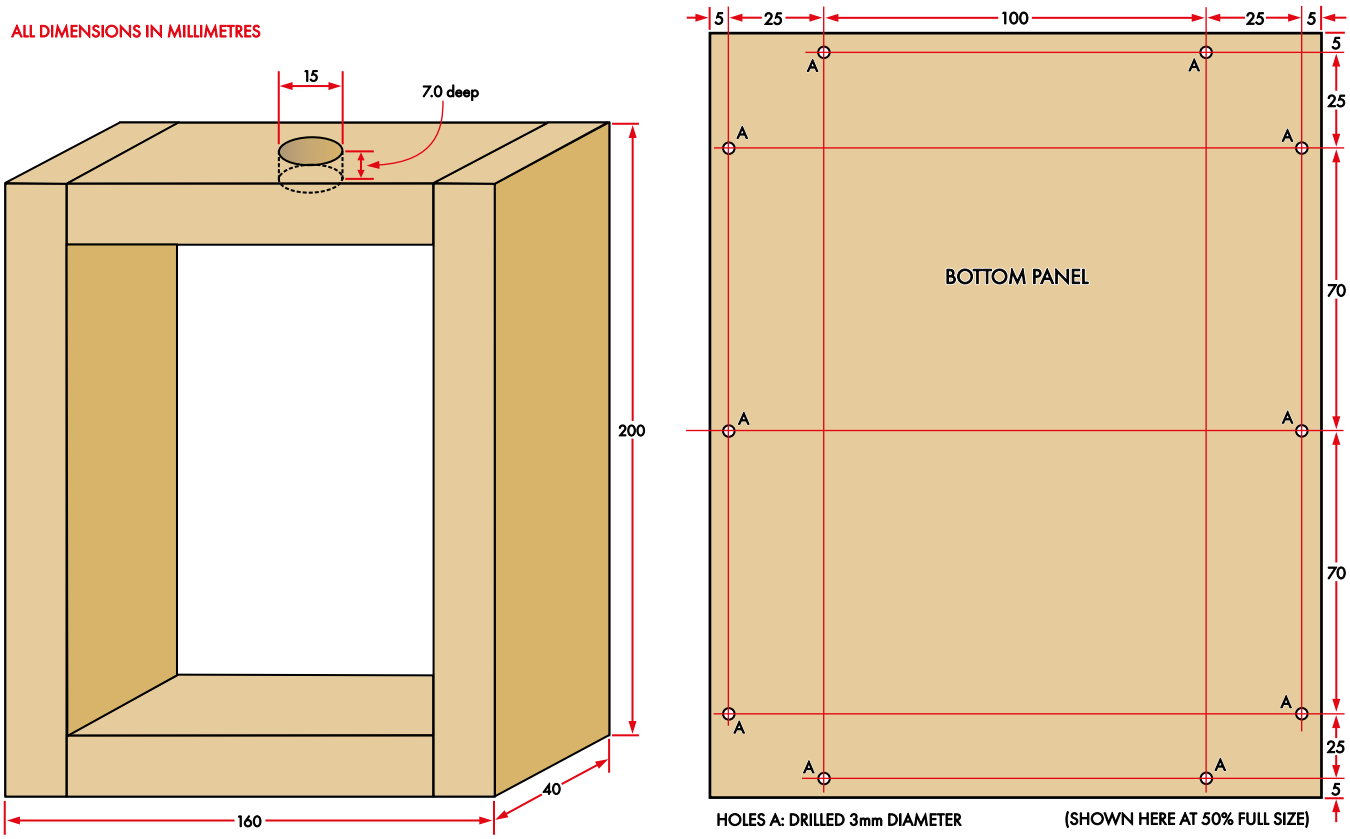
Podczas instalacji planszy upewnij się, że wszystkie diody LED są umieszczone w swoich otworach (w razie potrzeby odpowiednio je wyrównaj). Czujniki hallotronowe powinny wpasować się w swoje wgłębienia. Elementy dystansowe powinny zapewniać wystarczający prześwit między płytką drukowaną a ścianką przednią, aby połączenia lutowane nie przeszkadzały w montażu.

Następnie można przymocować cztery ścianki boczne do ścianki górnej, upewniając się, że ściśle do siebie przylegają, a następnie odwrócić zespół, umieścić ściankę tylną nad otworem i zaznaczyć dziesięć otworów na śruby, tak jak w przypadku ścianki przedniej. Zdejmij ścianki boczne, a następnie wywierć i nagwintuj otwory pod śruby 4-40 UNC.

Zaznacz miejsca na otwory montażowe dla czterech nóżek w podstawie, wywierć te otwory i przymocuj nóżki. Zamontuj gniazdo zasilania lub przełącznik zasilania we wgłębieniu w ściance bocznej, a następnie ponownie przymocuj ścianki boczne do ścianki górnej i podłącz przewody. Jeśli używasz baterii, zamontuj ją wewnątrz obudowy i podłącz. Po sprawdzeniu, czy urządzenie się włącza, przymocuj podstawę.

Pozostaje jeszcze tylko pokrywa. Umieść dziesięć elementów we wgłębieniach w ściance górnej, a następnie opuść pokrywę na górę. Powinna przylegać równo – jeśli tak nie jest, sprawdź dlaczego i napraw to.

eprasa.pl 6fff7859d1



Rysunek 15 i 16. Boki obudowy to cztery prostokąty z akrylu o grubości 10 mm z jednym wgłębieniem na gniazdo zasilania lub przełącznik. Dolna ścianka to 6-milimetrowy arkusz półprzezroczystego akrylu z dziesięcioma wywierconymi otworami na śruby. Jeśli użyjesz przezroczystego lub półprzezroczystego akrylu, będziesz w stanie zobaczyć część płytek drukowanych wewnątrz. Na dolnym panelu nie pokazano otworów na nóżki montażowe. Zalecamy ich dodanie, patrz zdjęcie

Następnie przytrzymaj zawias wyśrodkowany z tyłu obudowy, tak aby znajdował się dokładnie nad szczeliną między pokrywą a górną ścianką i był wyśrodkowany w poziomie. W razie potrzeby użyj taśmy, aby przytrzymać go na miejscu i zaznacz otwory na śruby (najlepsza jest taśma maskująca, ponieważ nie pozostawia wielu śladów). W razie wątpliwości, zobacz zdjęcie pokazujące, jak powinien wyglądać montaż.

Podobnie, przytrzymaj zatrzaski z przodu, w równej odległości od krawędzi, a otwory powinny znaleźć się w połowie odległości między górną i dolną krawędzią pokrywy. Zaznacz otwory w pokrywie i ściance przedniej.

Zdejmij zawias i zatrzaski, wywierć otwory na odpowiednią głębokość dla śrub i nagwintuj otwory. Jak wspomniano wcześniej, śruby zawiasu są prawdopodobnie zbyt małe, aby można było bezpośrednio gwintować plastik (śruby wyrwą się i zniszczą gwinty). Zamiast tego należy wywiercić większe otwory i wkleić gwintowane wkładki za pomocą żywicy epoksydowej, z gwintami dopasowanymi do śrub zawiasu. Następnie można przymocować zawiasy i zatrzaski, co kończy montaż.

Wnioski

Opisany projekt jest doskonałą demonstracją tego, jak logika cyfrowa może być wykorzystana do rozwiązania dość złożonego zagadnienia. Oczywiście można zastosować mikrokontroler lub układ FPGA, ale nasze rozwiązanie pozwala dokładnie zobaczyć, jak działa gra.

Pokrywa i po jednym z żetonów każdego rodzaju

Stworzenie obudowy od podstaw to spory nakład pracy, ale myślę, że Czytelnicy zgodzą się, iż efekt jest elegancki i dobrze pasuje do klimatu gry.

Efekt końcowy stanowi świetną zabawkę dla dzieci ale też świetny temat do rozmowy dla dwojga dorosłych elektroników. ■

dr Hugo Holden

Materiały dodatkowe dostępne są na stronie Silicon Chip:
https://www.siliconchip.com.au/Shop/8/6644
https://www.siliconchip.com.au/Shop/8/6645

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 6fff7859d1

Room EQ Wizard
– program do pomiarów elektroakustycznych

Niniejsza publikacja – powiązana z artykułem „Przystawka do pomiaru zespołów głośnikowych", zamieszczonym w bieżącym numerze EdW – wyjaśnia, jak skonfigurować bezpłatne oprogramowanie Room EQ Wizard lub Speaker Workshop i korzystać z niego przy projektowaniu i uruchamianiu zespołów głośnikowych.

Programy Room EQ Wizard (REW) i Speaker Workshop umożliwiają między innymi projektowanie i badanie zespołów głośnikowych. Korzystanie z tych programów znacznie ułatwi „Przystawka do pomiaru zespołów głośnikowych", opisywana w tym numerze – choć nie jest do tego celu niezbędna.

Niniejszy artykuł opisuje, jak skonfigurować oprogramowanie REW (a w dalszej kolejności Speaker Workshop), i wykorzystać je w połączeniu ze wspomnianą przystawką. Jeśli jej nie zbudowaliście, to mimo to możecie postępować zgodnie z opisanymi procedurami. Musicie tylko przygotować przedwzmacniacz mikrofonowy, wzmacniacz mocy, rezystor odniesienia i kilka innych elementów.

Przystawka zawiera w zasadzie wszystko, co jest niezbędne do pomiarów impedancji głośników. Karta dźwiękowa komputera steruje wzmacniacz mocy, który z kolei wysterowuje testowany element (DUT) poprzez rezystor o znanej wartości (10 Ω lub zbliżonej). Napięcia z obu końców tego rezystora są następnie doprowadzane do dwóch wejść karty dźwiękowej.

W przypadku pomiarów charakterystyki częstotliwościowej wzmacniaczy i głośników niezbędny jest skalibrowany układ mikrofonu i przedwzmacniacza mikrofonowego o płaskiej odpowiedzi częstotliwościowej. Układ ten steruje jedno z wejść karty dźwiękowej. Wyjście lub wyjścia karty wysterowują badany system lub element za pośrednictwem małego wzmacniacza mocy. Wszystkie te funkcje realizuje opisana przystawka, należy tylko posiadać skalibrowany mikrofon. Przypis redaktora: Niedrogi mikrofon takiego typu opisaliśmy w EdW 11/2025.

Testy końcowe przystawki i konfigurowanie programu REW

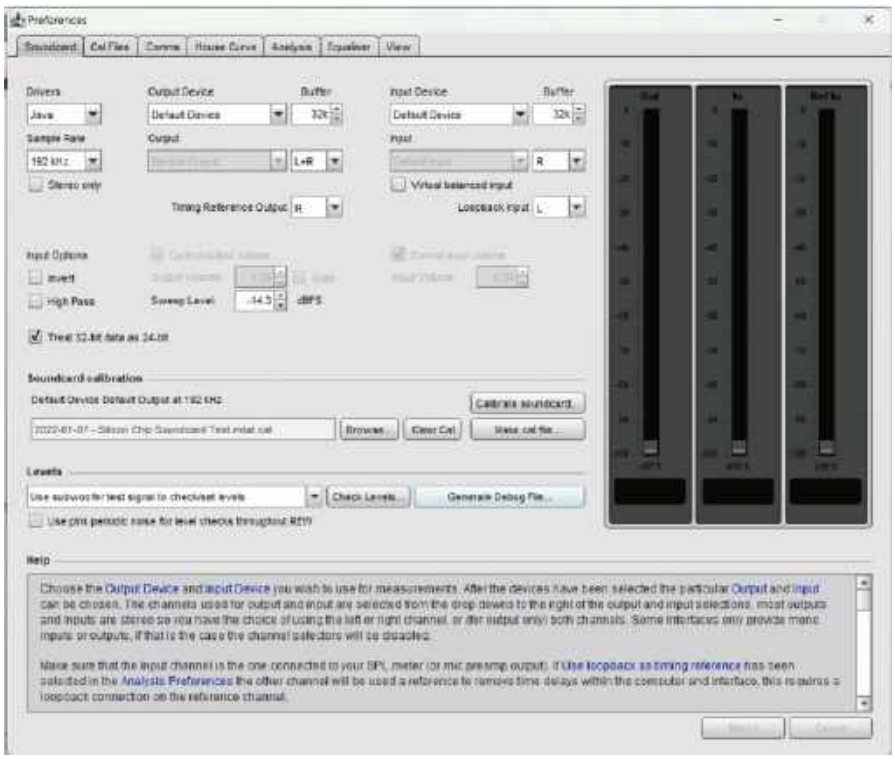
Zakładamy, że komputer jest już skonfigurowany, a karta dźwiękowa prawidłowo zainstalowana. Ważne, by była ustalona częstotliwość próbkowania i nie było włączonych żadnych efektów dźwiękowych. Sprawdzamy również, czy nie jest aktywna funkcja „Nasłuchuj tego urządzenia".

Opiszemy tutaj najistotniejsze kroki uruchomienia przystawki z oprogramowaniem REW. W Internecie można znaleźć bardzo wiele informacji na temat tego programu, a wszystkie szczegóły znacznie wykraczają poza ramy tego artykułu.

Po zainstalowaniu i uruchomieniu programu REW należy go skonfigurować. Otwieramy menu rozwijane „Preferences", a następnie polecenie „Preferences" („preferencje") – patrz **zrzut ekranu 1**. Wybieramy tutaj wejście i wyjście dźwiękowe. Zwykle będą to domyślne urządzenia wejściowe i wyjściowe.

Kalibracja karty dźwiękowej:

1. Przełączamy przystawkę na testowanie elementów („COMP TEST") i sprawdzamy, czy nic nie jest podłączone do zacisków „speaker" i „DUT".
2. Upewniamy się, że tłumik w przystawce („ATTEN") jest wyłączony.
3. W programie REW otwieramy rozwijane menu „Preferences" i otwieramy zakładkę „Preferences".
4. Klikamy „Calibrate soundcard" („kalibracja karty dźwiękowej"). Należy pamiętać, że w trybie testowym „COMP TEST" rezystor odniesienia 10 Ω realizuje pętlę zwrotną, o czym poinformuje nas wyskakujące pole tekstowe.
5. Klikamy „Next". Pojawi się okno tekstowe z instrukcjami. Wykonujemy je.
6. Klikamy „Next". Sprawdzamy, czy poziomy sygnału są mniej więcej poprawne. Przy sygnale o wartości skutecznej 200 mV test powinien zwracać wartość około –10 dB. W różnych



Zrzut ekranu 1. Okno dialogowe „preferencji" programu REW. Sprawdzamy tu, czy ustawienia urządzenia wejściowego i wyjściowego oraz częstotliwości próbkowania są prawidłowe

eprasa.pl 6fff7859d1

kartach dźwiękowych mogą wystąpić nieco inne wartości.

7. Klikamy „Next” aż zacznie być przeprowadzany pomiar z „przemiataniem” częstotliwości. Po zakończeniu pomiaru otrzymacie wykres tego typu jak na **zrzucie ekranu 2**.
8. Można nanieść własne notatki na kartę właśnie wykonanego pomiaru. Następnie klikamy symbol dysku na stronie wyników pomiaru i zapisujemy plik w katalogu przeznaczonym do tego celu.
9. Naciskamy teraz Alt+Tab i powracamy do okna „Preferences”. Klikamy „Make Cal File” („utwórz plik kalibracyjny”) pod przyciskiem „Calibrate soundcard” („kalibracja karty dźwiękowej”).
10. Przechodzimy do katalogu, gdzie zapisaliśmy ostatni pomiar. Z listy rozwijanej „typ pliku” wybieramy „wszystkie pliki”, a następnie zaznaczamy plik pomiaru kalibracyjnego. Klikamy „Save” („zapisz”).
11. Karta dźwiękowa jest już skalibrowana.

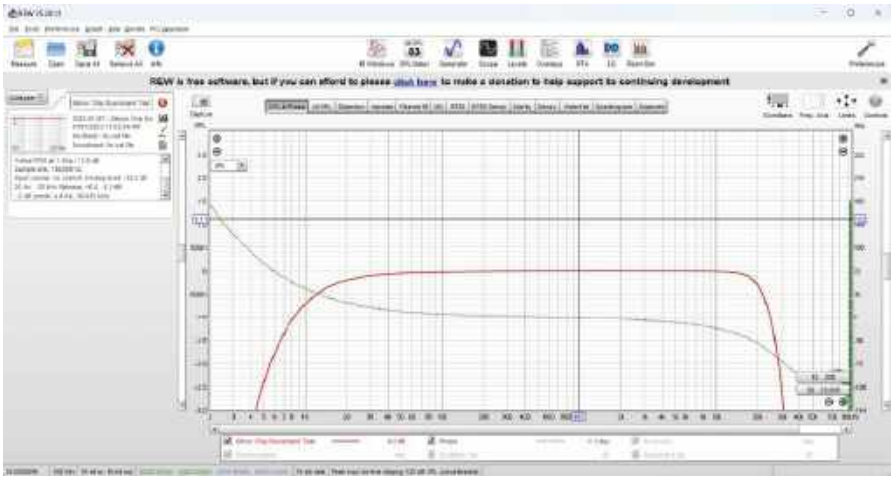
Kalibracja przystawki:

1. Przełączamy przystawkę na testowanie elementów („COMP TEST”) i sprawdzamy, czy nic nie jest podłączone do zacisków „speaker” i „DUT” oraz czy tłumik w przystawce („ATTEN”) jest wyłączony.
2. Niniejszy punkt wykonujemy tylko przy pierwszym pomiarze. W lewym górnym rogu głównego okna REW (**zrzut ekranu 3**) klikamy „Measure” („pomiar”). Jeśli jeszcze nie skalibrowaliście pomiarów poziomu SPL, to pojawi się odpowiedni komunikat. Na razie można go zignorować.
3. Wprowadzamy zmierzoną wartość rezystora odniesienia w polu „Rsense” po prawej stronie okna.
4. Klikamy „Open Circuit Cal” („kalibracja układu przy rozwarciu”) i postępujemy zgodnie z instrukcjami. Zapisujemy plik tam gdzie inne. Powtarzamy te same czynności dla „Short Circuit Cal” („kalibracja układu przy zwarciu”). W „Reference Cal” podaj zmierzoną wartość rezystora odniesienia.
5. Można teraz mierzyć impedancję. Pojawi się okno podobne do pokazanego na **zrzucie ekranu 4**. Zmierzoną impedancję przykładowego subwoofera przedstawia **zrzut ekranu 5**.

Użytkowanie

Pomiar impedancji:

1. Przełączamy przystawkę na testowanie elementów („COMP TEST”). Sprawdzamy, czy nic nie jest podłączone

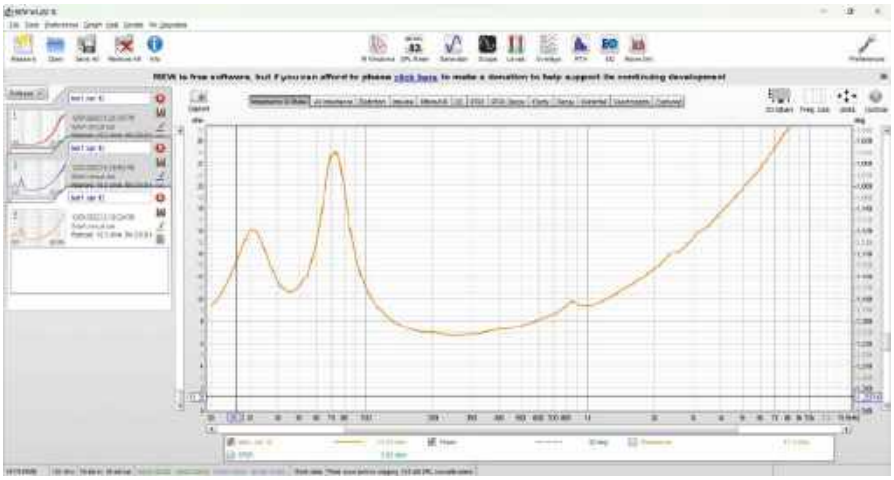


Zrzut ekranu 2. Charakterystyka częstotliwościowa obliczona przez REW dla mierzonego systemu elektroakustycznego, obejmująca charakterystykę karty dźwiękowej komputera

Zrzut ekranu 3. Tu wykonujemy pomiary impedancji i charakterystyki częstotliwościowej

Zrzut ekranu 4. Kalibracja z rezystorem odniesienia 10 Ω została zakończona. Wynik prawie dokładnie odpowiada wskazaniu, jakie uzyskaliśmy na omomierzu

eprasa.pl 6fff7859d1



Zrzut ekranu 5. Pomiar impedancji subwoofera wykonany przy użyciu programu REW i przystawki. Uzyskaliśmy ładny, gładki wykres wykazujący maksima rezonansowe przy około 31 Hz i 72 Hz (głośnik i obudowa) oraz 850 Hz i 2,5 kHz (dzielenie się membrany i podobne zjawiska)

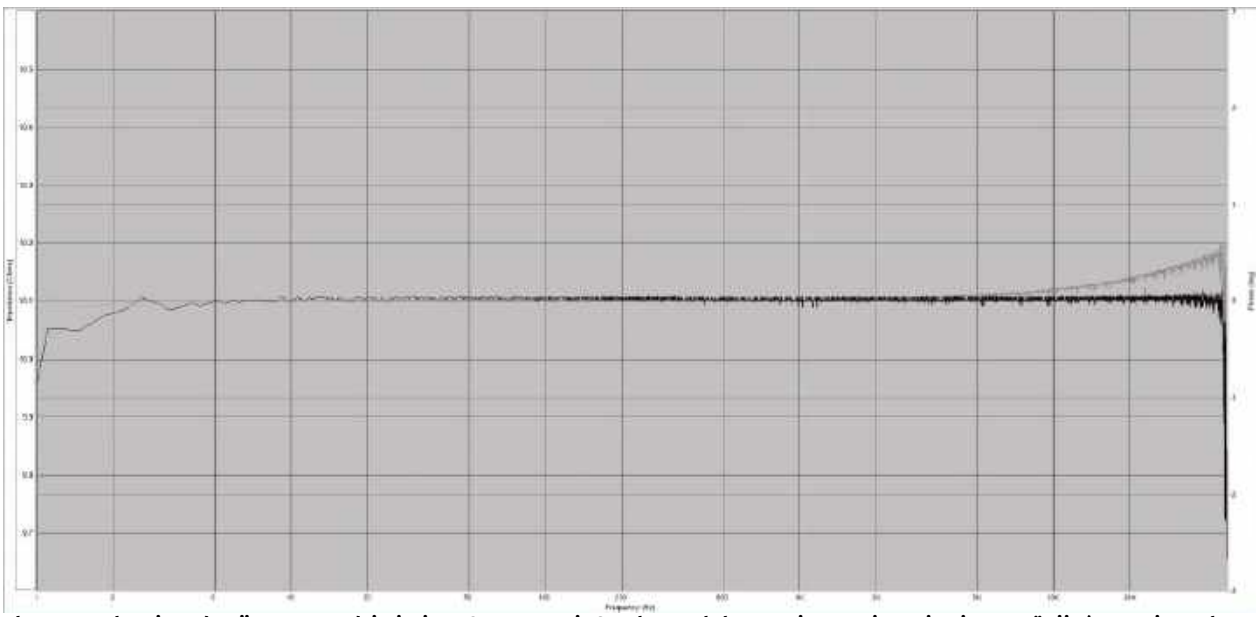
Zrzut ekranu 6. Wykres charakterystyki częstotliwościowej szerokopasmowego zestawu głośnikowego wykonany w programie REW. Tego rodzaju wyniki są nieocenione podczas projektowania i optymalizowania zestawów głośnikowych

do zacisków „speaker" i „DUT" oraz czy tłumik w przystawce („ATTEN") jest wyłączony.

2. W lewym górnym rogu głównego okna REW klikamy „Measure" („pomiar").
3. Klikamy „Impedance" („impedancja") w lewym górnym rogu okna, jak na zrzucie ekranu 3.
4. Podłączamy mierzoną impedancję do zacisków „DUT" i klikamy „Start".

Pomiar pasma przenoszenia głośnika:

1. Jeśli będzie testowany głośnik wysokotonowy, włączamy w szereg z nim niepolaryzowany kondensator o dużej pojemności, co zabezpieczy głośnik przed dużymi mocami przy niskich częstotliwościach. Dobrze jest ustawić dolną częstotliwość „przemiatania" na powiedzmy 500 Hz, a nawet więcej.
2. Przełączamy przystawkę na testowanie głośnika („SPKR TEST").
3. Podłączamy badany głośnik do zacisków głośnika przystawki („speaker").
4. Dołączamy mikrofon i odpowiednio ustawiamy wzmocnienie mikrofonu.
5. Ustawiamy tłumik („Gain") na włączony („0 dB") lub wyłączony („20 dB") w zależności od poziomu, przy którym ma się odbywać test.
6. Klikamy „Measure" („pomiar"), po czym tym razem wybieramy „SPL".
7. System przeprowadzi skanowanie. Będzie słychać dźwięk o zmieniającej się częstotliwości.
8. Sprawdzamy, czy poziomy sygnału są prawidłowe. W razie potrzeby regulujemy poziom wyjściowy



Zrzut ekranu 8. Wykres impedancji rezystora odniesienia 10 Ω w programie Speaker Workshop. Zawiera on nieco więcej „szumu" niż równoważny wykres w REW, ale dowodzi, że system pomiarowy ma dobrą dokładność w zakresie od około 5 Hz do ponad 20 kHz. Wykres ten wykonano w ramach procesu testowania przystawki

eprasa.pl 6fff7859d1

karty dźwiękowej, a w przystawce – przełącznik wzmocnienia mikrofonu („Gain”) i tłumik wyjściowy („ATTEN”). Przekonacie się, że po jednokrotnym skonfigurowaniu tych ustawień nie będą one zbyt często zmieniane.

9. Obserwujemy czy nie dochodzi do przesterowania (obcinania) sygnału na wyjściu lub wejściu. Gdyby tak się działo, wyniki będą fałszywe. W takim przypadku należy zbadać przyczynę przesterowania i usunąć ją.
10. Wynik pomiaru pojawi się w oknie takim jak przedstawione na **zrzucie ekranu 6**, gdzie widzimy bardzo zgrubny wynik pomiaru głośnika wykonany w naszej pracowni.
11. Atrakcyjną cechą programu REW jest to, że można między innymi zmienić ustawienia wygładzania wykresu, wyświetlić wykres „wodospadowy”, pokazać zniekształcenia i uzyskać szereg innych wykresów.

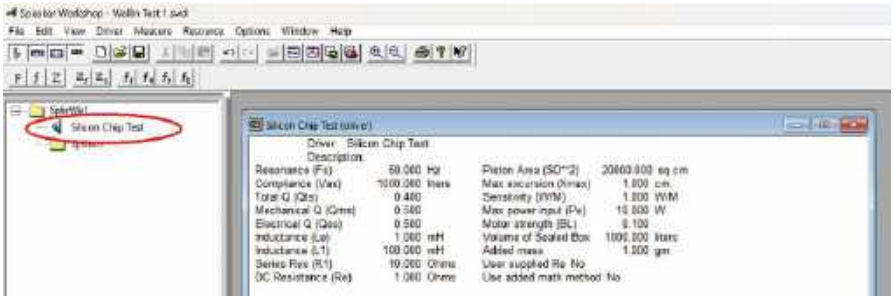
Wskazówki

- Przy pomiarach „dalekiego pola” głośników i zespołów głośnikowych, w dobitny sposób ujawniają się własności akustyczne pomieszczenia. W pomieszczeniu nigdy nie da się uzyskać charakterystyki głośnika od 20 Hz do 20 kHz bez dodatku różnego rodzaju szczytów i dołów. Trzeba się z tym po prostu pogodzić.
- Aby uzyskać wykresy podobne do tych, jakie widzimy w czasopismach Hi-Fi, trzeba będzie zastosować wygładzanie wyników. Czasopisma właśnie w ten sposób sporządzają wykresy.
- Dobrym sposobem jest testowanie na wolnym powietrzu. Jedynym niekorzystnym a nieuniknionym czynnikiem jest tam powierzchnia Ziemi. Powoduje ona odbicia dźwięku, co jest całkowicie naturalne i trzeba z tym żyć. Chyba że skierujemy głośnik w górę i zawiesimy mikrofon na drabinie. Myśmy właśnie tak zrobili!

Jako dalszy krok zalecamy zapoznanie się z materiałami internetowymi na temat programów REW i Speaker Workshop. REW jest bardziej aktualny, za to Speaker Workshop ma większą społeczność. Miłośnicy elektroakustyki skupiają się w licznych grupach internetowych. Przykładowym miejscem, gdzie można znaleźć ludzi o podobnych zainteresowaniach, jest forum „diyAudio”. ■

Phil Prosser

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



Zrzut ekranu 7. Aby używać przystawki z programem Speaker Workshop, należy utworzyć instancję „głośnika” i ustawić kilka istotnych parametrów

Uruchomienie programu Speaker Workshop

Jeśli chcecie wypróbować program Speaker Workshop, zapoznajcie się z fragmentami „nieoficjalnego podręcznika” na stronie www.claudionegro.com.
Podczas uruchamiania ignorujemy ostrzeżenie „failed to update system registry” („nie udało się zaktualizować rejestru systemowego”).
Konfigurujemy projekt:

1. Tworzymy nowy plik, klikając „File” („plik”), a następnie „New” („nowy”).
2. Program działa poprzez dodawanie zasobów do „systemu”. Zasobem może być obudowa, głośnik, obwód elektryczny itp.
3. Jako minimum należy dodać „głośnik”. Otwieramy menu „Resource” („zasoby”), wybieramy „New” („nowy”) i „Driver” (głośnik). Musi być on wybrany, aby mogły być wykonywane pomiary; patrz **zrzut ekranu 7**.

Kalibracja systemu:

1. Z menu „Options” („opcje”) wybieramy „Calibrate” („kalibracja”).
2. Sprawdzamy, czy do zacisków „speaker” i „DUT” w przystawce nic nie jest podłączone.
3. Przełączamy przystawkę na testowanie elementów („COMP TEST”). Wyłączamy tłumik pomiarowy („ATTEN”). W tym ustawieniu oba kanały karty dźwiękowej mierzą wzmocnione wyjście.
4. Klikamy „Test” w oknie różnicy kanałów. Uruchamiamy kalibrację zgodnie z instrukcjami na ekranie. Na koniec zatwierdzamy ją kliknięciem na przycisk „OK”.

Po zakończeniu kalibracji spójrzcie na lewy dolny róg ekranu. Będą tam pokazane pewne wartości, otrzymane w procesie kalibracji. Wartość maksymalna nie może nigdy wykraczać poza zakres ±32768, a najlepiej, gdy leży w zakresie 10000...20000. W razie potrzeby dostosowujemy poziom wyjściowy karty dźwiękowej komputera i ustawienie tłumika przystawki, aż uzyskamy prawidłowe odczyty. Ogólnie można stwierdzić, że dobre efekty daje poziom wyjściowy w okolicach 40%.
Aby wprowadzić wartość rezystora odniesienia, otwieramy menu „Options” („opcje”), a następnie zakładkę „Preferences” („preferencje”). Klikamy na zakładkę „Impedance” („impedancja”) i w polu „Impedance Jig” wpisujemy dokładną wartość rezystora odniesienia.

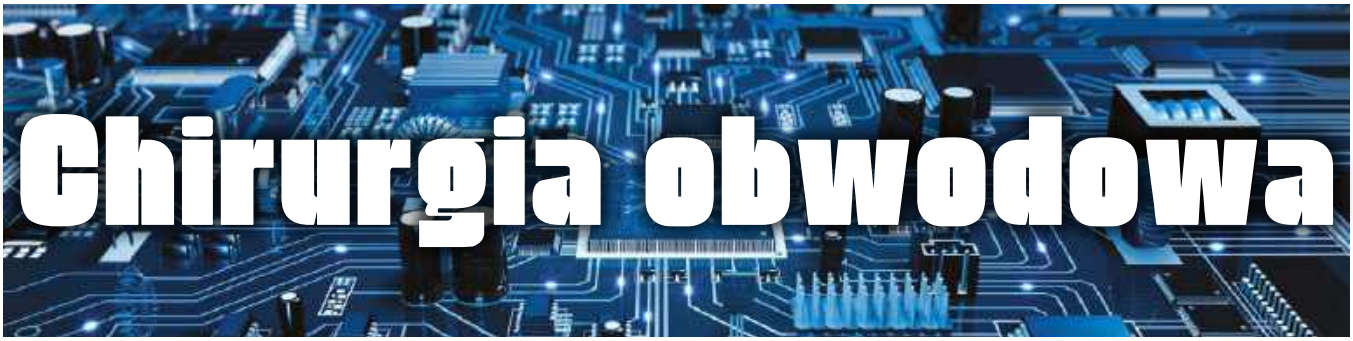
Pomiar impedancji:

1. Podłączamy badany element (np. głośnik) do zacisków „DUT” przystawki.
2. W programie wybieramy „głośnik” utworzony wcześniej. Zostanie on zaznaczony na niebiesko.
3. Otwieramy menu „Measure” („pomiar”) i klikamy „Impedance” („impedancja”).
4. Po zakończeniu pomiaru sprawdzamy, czy wartości w lewym dolnym rogu okna są prawidłowe. Powinno pojawić się okno z wynikami pomiaru, jak na **zrzucie ekranu 8**, gdzie pokazano wyniki dla naszego rezystora odniesienia. Wcześniejszy pomiar omomierzem wykazał rezystancję 10,09 Ω.
5. Jeśli wykres impedancji jest bardzo „rozmyty”, należy sprawdzić, czy karta dźwiękowa lub wzmacniacz nie są przesterowywane.

Pomiar charakterystyki częstotliwościowej głośnika:

1. Przełączamy przystawkę na „SPKR TEST”.
2. Załączamy tłumik pomiarowy („ATTEN”).
3. Podłączamy badany głośnik do zacisków „speaker” przystawki.
4. Podłączamy mikrofon pomiarowy i umieszczamy go blisko głośnika.
5. Klikamy ikonę utworzonego „głośnika”, a następnie wybieramy menu rozwijane „Measure” („pomiar”). Wybieramy zakładkę „Frequency response” („pasmo przenoszenia”), a następnie „Nearfield” („pole bliskie”).
6. Powinniśmy uzyskać dość czystą charakterystykę częstotliwościową. Będzie ona jednak bardziej „zaszumiona” niż w programie REW i może wymagać wygładzenia. Jeśli wykres charakterystyki częstotliwościowej jest bardzo „rozmyty”, sprawdzamy, czy w karcie dźwiękowej lub wzmacniaczu nie zachodzi przesterowywanie.

eprasa.pl 6fff7859d1



Zniekształcenia i obwody zniekształcające, część 2

W zeszłym odcinku zaczęliśmy badać temat zniekształceń – czyli zmian kształtu sygnału spowodowanych nieliniowościami we wzmacniaczach i innych układach elektronicznych. Inspiracją do powstania artykułu były projekty autorstwa Johna Clarke'a zamieszczone w czasopiśmie „Practical Electronics", dotyczące efektów dźwiękowych dla muzyków – w tym najnowszy system Digital FX oraz efekt gitarowy Nutube Guitar Overdrive and Distortion Pedal z marca 2021 r.

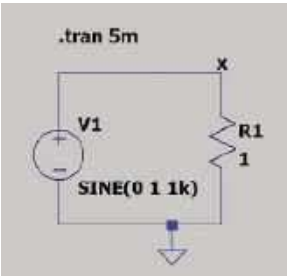
Wytwarzane celowo zniekształcenia są w twórczy sposób stosowane przez muzyków. Zniekształcenia stanowią jednak na ogół cechę niepożądaną, a projektanci układów elektronicznych dokładają znacznych starań, by je zminimalizować. Poziom zniekształceń określa się zwykle (szczególnie w elektroakustyce) „współczynnikiem całkowitych zniekształceń harmonicznych" (THD).

Zniekształcenia i widmo

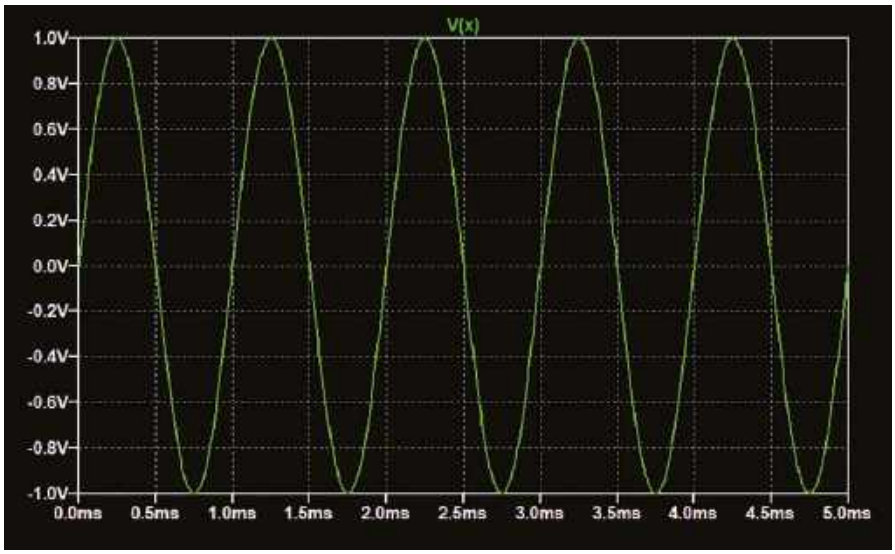
W części pierwszej artykułu omówiliśmy podstawowe mechanizmy powstawania zniekształceń, a także znaczenie analizy widmowej sygnału dla zrozumienia aspektów tego zjawiska. Przedstawiliśmy również aparat matematyczny używany do obliczania współczynnika THD. Krótko przypomnijmy, że widmo to wykres natężeń (amplitud lub mocy) składowych sygnału w funkcji częstotliwości.

Każdy przebieg okresowy można utworzyć poprzez zsumowanie zbioru fal sinusoidalnych o różnych częstotliwościach i amplitudach. Ta „suma fal sinusoidalnych" znana jest jako szereg Fouriera. Wykres widma sygnału okresowego składa się z prążków odpowiadających różnym częstotliwościom składowym. Czysta fala sinusoidalna jest jedynym sygnałem, którego widmo składa się tylko z pojedynczego prążka.

Gdy na wejście idealnego wzmacniacza podajemy falę sinusoidalną, widmo sygnału wyjściowego ma taki sam kształt jak widmo sygnału wejściowego – jest to pojedynczy prążek. Jedynie jego amplituda jest zmieniona z racji wzmocnienia wzmacniacza. W przypadku wzmacniacza nieidealnego (nieliniowego), na wyjściu będą obecne częstotliwości, których w sygnale wejściowym nie było. Obecność dodatkowych częstotliwości zmienia kształt przebiegu. Zmiana kształtu pokrywa się z intuicyjnym wyobrażeniem istoty zniekształceń. Nie oznacza to jednak, że każdą zmianę kształtu sygnału możemy utożsamiać ze zniekształceniami. Zmiana kształtu wystąpi również w przypadku niesinusoidalnych sygnałów wejściowych, przepuszczonych przez

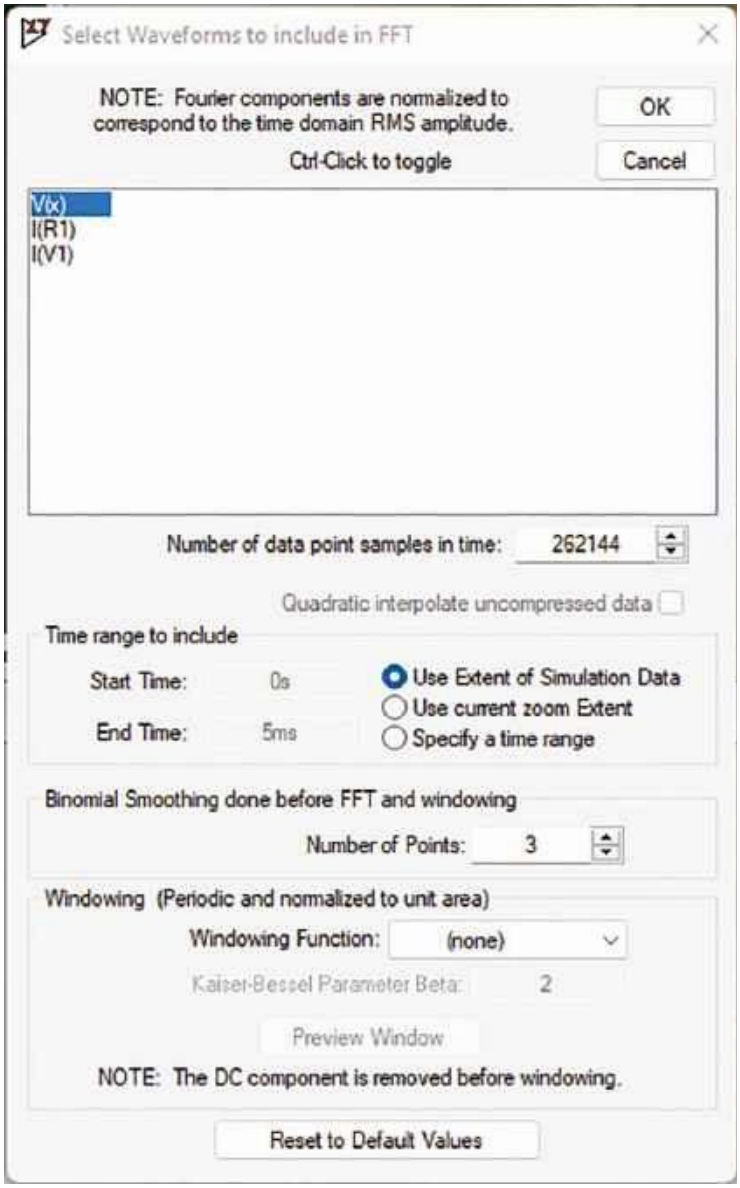


Rysunek 1. Najprostszy układ do badania widma w LTspice

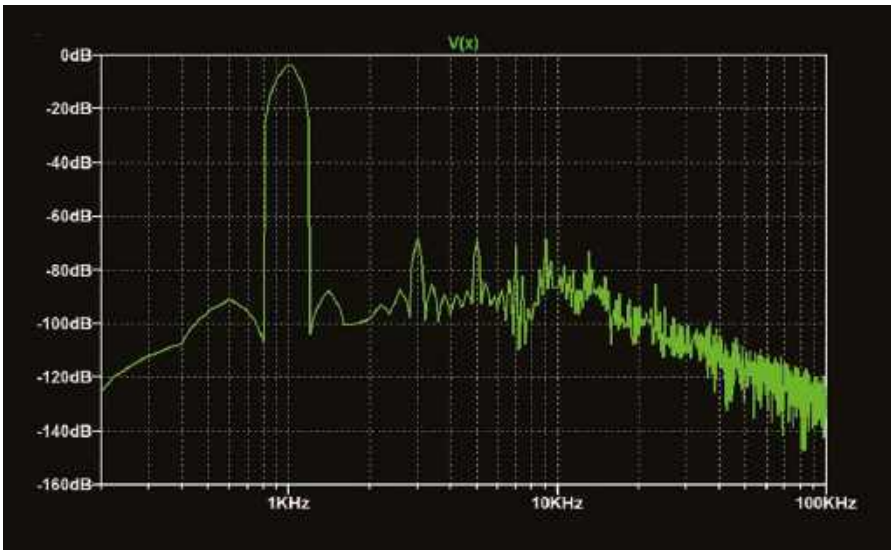


Rysunek 2. Przebieg V(x) z analizy przejściowej układu z rysunku 1

eprasa.pl 6fff7859d1



Rysunek 3 Okno dialogowe FFT w LTspice



Rysunek 4. Pierwsza wersja widma nie wygląda zbyt przekonująco

idealne, liniowe filtry. Przykładem może być „zaokrąglenie" sygnału prostokątnego przez filtr dolnoprzepustowy. Zmiana kształtu ma wtedy miejsce, ponieważ ulegają zmianie względne amplitudy prążków widma. Sygnał wyjściowy nie zawiera jednak żadnych nowych częstotliwości, których nie było w sygnale wejściowym.

Teoria omawiana w zeszłym odcinku wykazała, że w przypadku sygnału sinusoidalnego dodatkowe częstotliwości na wyjściu spowodowane zniekształceniami są całkowitymi wielokrotnościami częstotliwości wejściowej, czyli harmonicznymi sygnału wejściowego. Jeśli dla sygnału wyjściowego obliczymy stosunek mocy składowej o częstotliwości wejściowej do mocy sumy wszystkich częstotliwości dodatkowych (spowodowanych zniekształceniami), to otrzymamy użyteczną informację o tym, jak duże zniekształcenia wytwarza układ. Ponieważ sumujemy wszystkie składowe harmoniczne, wielkość ta jest nazywana „współczynnikiem całkowitych zniekształceń harmonicznych".

Jeśli sygnał wejściowy zawiera częstotliwości nieharmoniczne, efekty zniekształceń są bardziej złożone i obejmują sumy, różnice i inne kombinacje częstotliwości składowych. Takie zniekształcenia zwane są „zniekształceniami intermodulacyjnymi".

Sygnały odpowiadające dźwiękom muzycznym prawie zawsze zawierają już jakieś składowe harmoniczne. Określają one barwę dźwięku (cechę inną niż wysokość czy natężenie). Zniekształcenia zmieniają proporcje harmonicznych dźwięku, a tym samym jego barwę. Skutkiem jest zazwyczaj dźwięk „bardziej zamglony", „szorstki" czy „ostrzejszy".

Wykorzystujemy LTspice

W poprzednim odcinku ilustrowaliśmy fragmenty tekstu symulacjami w LTspice, między innymi wykresami widm sygnałów. Nie wyjaśnialiśmy jednak, w jaki sposób wykresy te zostały utworzone. W tym odcinku przyjrzymy się, jak z pomocą LTspice wykreślać widma sygnałów i obliczać THD. Współczynnik THD można obliczać ręcznie na podstawie wykresu widmowego, ale LTspice zawiera polecenie umożliwiające automatyczne obliczanie tej wartości. Nie oznacza to, że wykresy widmowe są bezużyteczne. Pozwalają one na szybki wgląd w zawartość harmoniczną zniekształconego przebiegu. Muzycy na przykład często dyskutują o zaletach różnych rodzajów zniekształceń, w których dominują nieparzyste czy też parzyste harmoniczne, oraz o względnych poziomach harmonicznych

eprasa.pl 6fff7859d1

wyższych albo niższych rzędów i ich wpływie na jakość dźwięku. Wykres widma pozwala na szybką ocenę takich właściwości sygnału. W kolejnym odcinku artykułu przyjrzymy się układom analogowym wykorzystywanym do wytwarzania zniekształceń w efektach muzycznych.

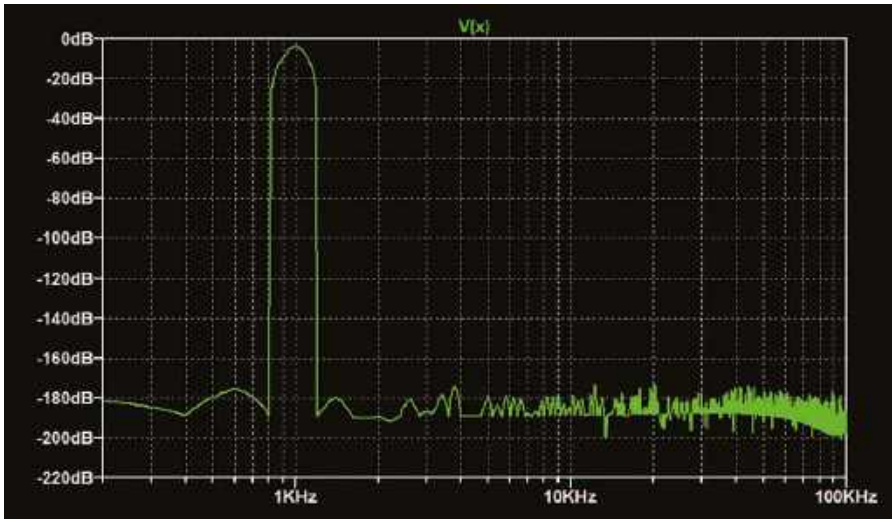
Minimalny układ wymagany do tego, żeby LTspice narysował widmo, pokazano na **rysunku 1**. Żeby uzyskać dane do analizy FFT, musimy przeprowadzić symulację przejściową. Czas analizy ustawiono na 5 ms. Przebieg wynikowy przedstawia **rysunek 2**. „FFT" oznacza „Fast Fourier Transform" czyli „szybką transformację Fouriera" – algorytm matematyczny służący do obliczania widma na podstawie przebiegu. Podstawą matematyczną FFT jest „dyskretna transformacja Fouriera" (DFT) – „dyskretna", ponieważ analizowany przebieg jest dany jako zbiór wartości w punktach próbkowania, a nie jako ciągła funkcja matematyczna. A FFT jest implementacją DFT o dużej wydajności.

Wykres FFT

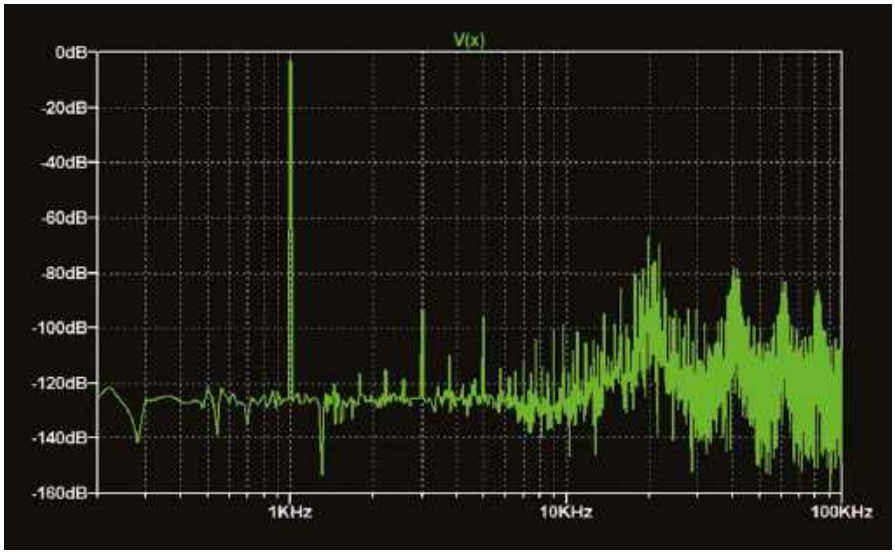
Aby wyświetlić widmo przebiegu, klikamy prawym przyciskiem myszy na przebieg i z menu podręcznego wybieramy View, a następnie, z podmenu, FFT. Pojawi się okno dialogowe pokazane na **rysunku 3**. Upewniamy się, że wybrany jest sygnał, który nas interesuje – w tym przypadku V(x) – a następnie klikamy OK. Wyświetli się widmo podobne do tego na **rysunku 4**. Zwróćmy uwagę, że zakres częstotliwości na wykresie z rysunku 4 został zmieniony z domyślnego, aby lepiej pokazać niższe częstotliwości, bliższe częstotliwości wejściowej generatora. Aby zmienić zakres osi, klikamy prawym przyciskiem myszy na liczby wzdłuż osi i w oknie dialogowym wprowadzamy nowe wartości zakresu.

Oczekiwane widmo czystej fali sinusoidalnej o częstotliwości 1 kHz to pojedynczy, bardzo wąski prążek przy częstotliwości 1 kHz. Rysunek 4 ma bardzo szerokie maksimum i sporo składowych na innych częstotliwościach. Na szczęście istnieje kilka sposobów, aby uzyskać wynik bardziej przekonujący.

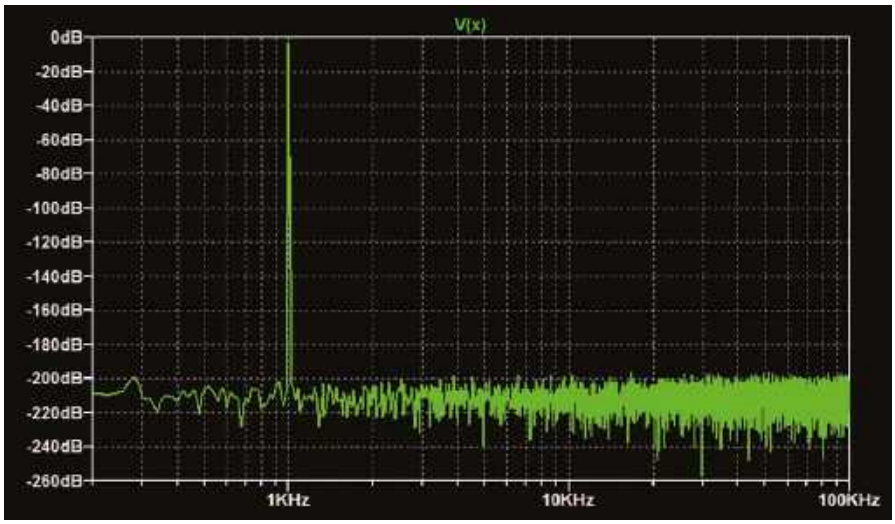
Widmo na rysunku 4 jest skalowane w decybelach. Największe składowe, poza oczekiwanym obszarem przy 1 kHz, są od niego o około 65 dB niższe, czyli są mniejsze około 2000 razy (10–65/20=5,6·10–4). Może się to wydawać niewiele, ale zwróćmy uwagę, że przy wszystkich częstotliwościach z wyjątkiem 1 kHz widmo powinno wynosić zero. Wykresy widma w LTspice mają jednak zawsze wartości niezerowe w miejscach,



Rysunek 5. Po wyłączeniu kompresji danych szumy w widmie uległy znacznemu zmniejszeniu

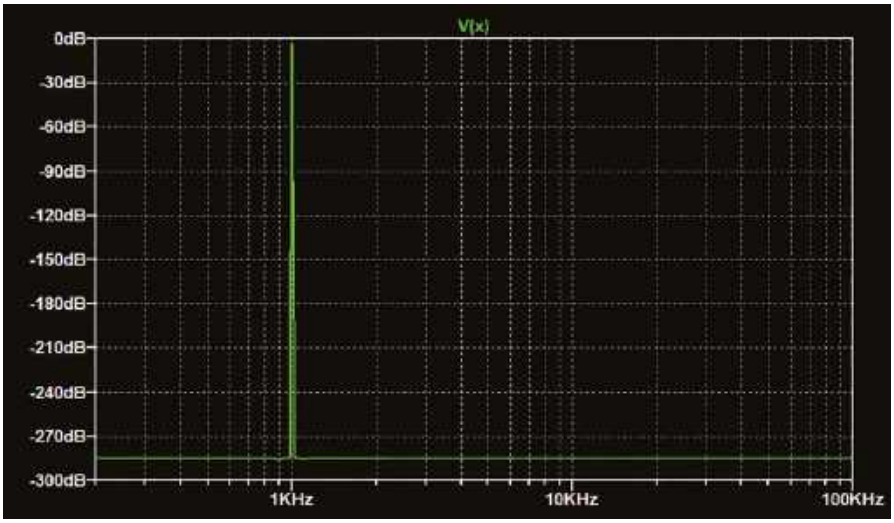


Rysunek 6. Wydłużenie okna symulacji (więcej okresów) dało węższy „pik". Równocześnie jednak wzrósł szum spowodowany skończoną dokładnością obliczeń

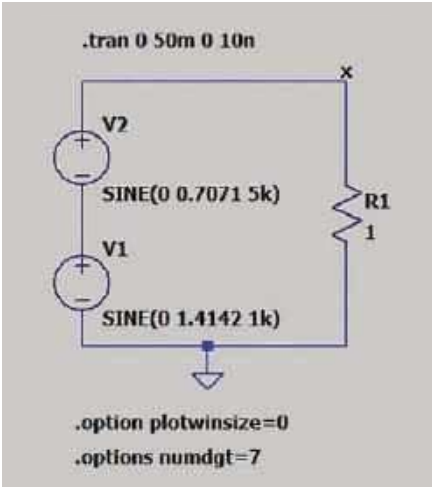


Rysunek 7. Poprawienie rozdzielczości czasowej symulacji (kosztem czasu jej wykonywania) dało widmo o znacząco mniejszym poziomie szumu

eprasa.pl 6fff7859d1



Rysunek 8. Dalsza poprawa dokładności nastąpiła dzięki użyciu arytmetyki podwójnej precyzji



Rysunek 9. Wytwarzanie sumy dwóch fal sinusoidalnych o częstotliwościach 1 kHz i 5 kHz

w których w idealnym przypadku powinno być zero. Powodem jest skończona dokładność obliczeń, z którą musimy się pogodzić. W tym przypadku, biorąc pod uwagę, że mamy idealną falę sinusoidalną i idealny, liniowy rezystor, można się jednak było spodziewać znacznie mniejszych błędów.

Kompresja

Jeden z problemów, które się ujawniły w tej wstępnej symulacji, wynika z kompresji przebiegów stosowanej przez program LTspice. Ma ona zalety, ponieważ taki skompresowany plik może być nawet 50 razy mniejszy niż plik nieskompresowany. Kompresja powoduje jednak utratę informacji, która zazwyczaj nie wpływa ujemnie na wygląd wykresu przebiegu, może natomiast pogorszyć parametry widma obliczonego na jego podstawie. Dlatego w przypadku analizy widmowej kompresję przebiegów należy wyłączyć.

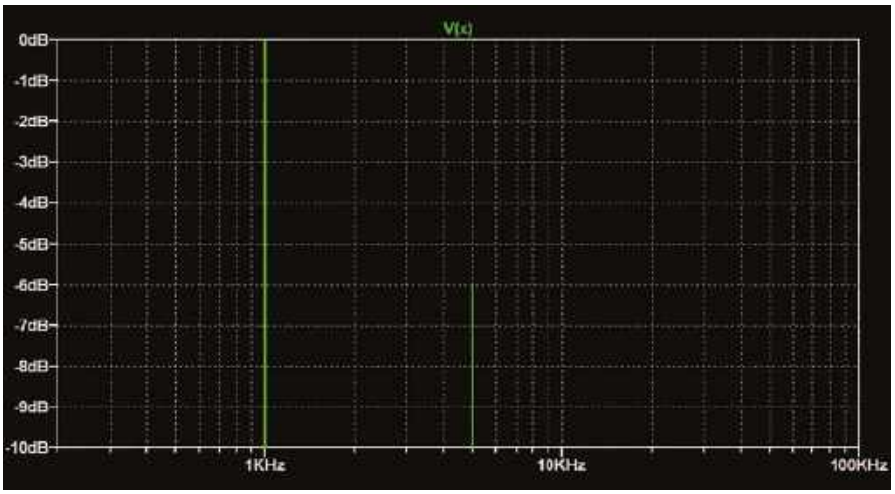
Można to przeprowadzić w Panelu sterowania w menu *Tools*. Przechodzimy do zakładki Kompresja i ustawiamy wartość Rozmiar okna (liczba punktów) na zero. Ustawienie to nie jest jednak zapamiętywane przy wychodzeniu z programu, dlatego lepiej umieścić odpowiednie polecenie na schemacie. Aby to zrobić, klikamy okno schematu, a następnie przycisk .op (dyrektywa SPICE) na pasku menu. W oknie dialogowym wprowadzamy następujący tekst:

```
.option plotwinsize=0
```

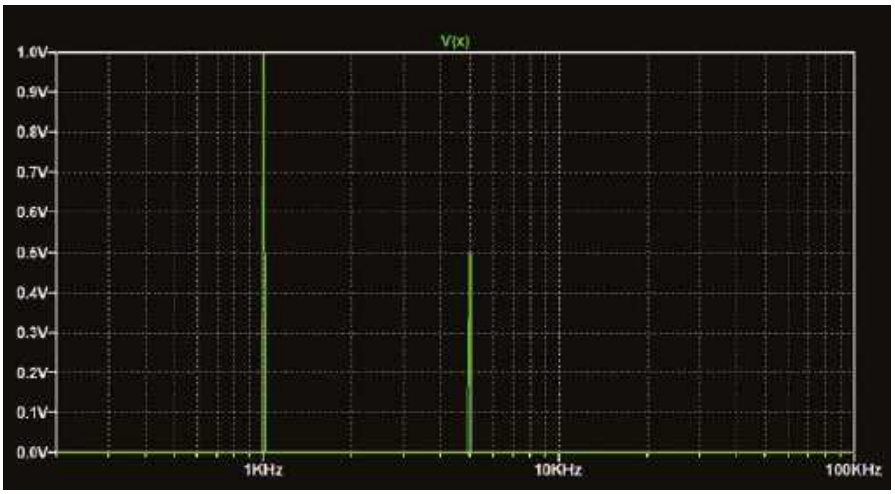
Następnie klikamy schemat i dodajemy polecenie. Zamykamy okno widma, po czym uruchamiamy symulację ponownie, co jest konieczne do wygenerowania przebiegu nieskompresowanego. Następnie jeszcze raz wyświetlamy widmo – patrz **rysunek 5**.

Poziom szumu

W układach rzeczywistych zawsze występuje szum losowy. W pomiarach widma sygnału daje on wyniki takie jak stosunkowo płaska część widma poza maksimum na rysunku 5. Szum czysto losowy, mierzony przez nieskończenie długi czas, ma widmo idealnie płaskie, bez „pików". W rzeczywistych pomiarach występują wahania, co widać na rysunku. Ogólny poziom płaskiej

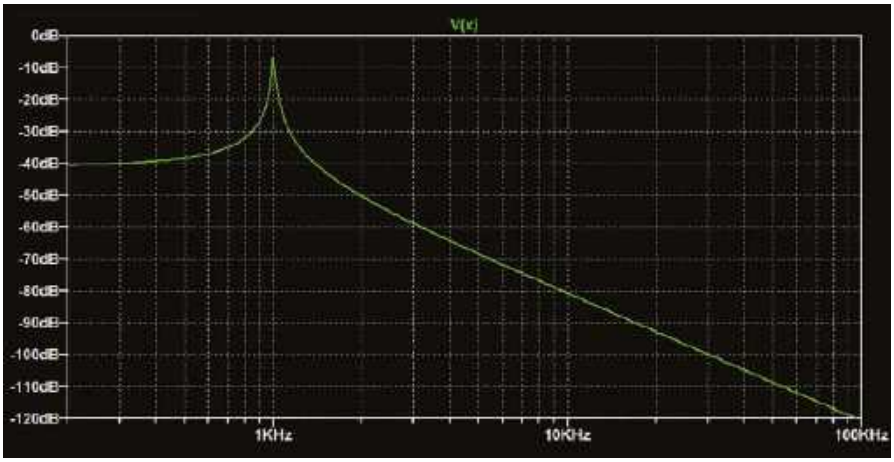


Rysunek 10. Wyniki symulacji układu z rysunku 9



Rysunek 11. Wyniki symulacji układu z rysunku 9 na wykresie ze skalą liniową (napięciową)

eprasa.pl 6fff7859d1

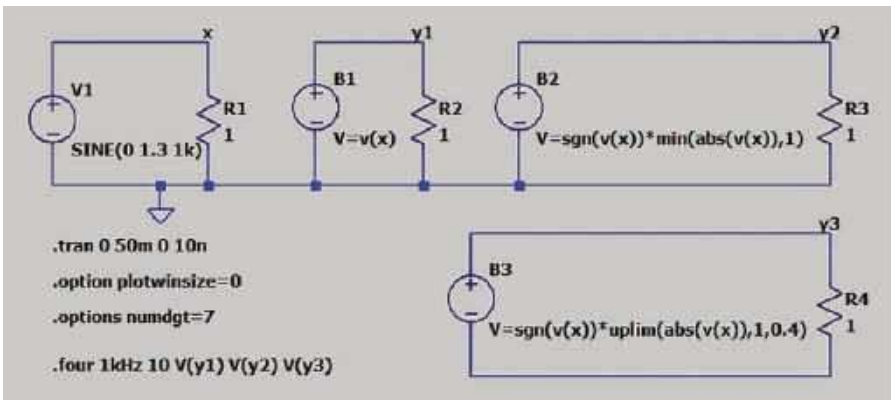


Rysunek 12. Użycie do sygnału okresowego źle dobranego zakresu czasowego powoduje niedokładności w obliczaniu widma

części widma poza maksimami nazywany jest poziomem szumu tła. W symulacjach jak w naszym przykładzie, szum losowy w sygnale w ogóle nie występuje, a szum tła w widmie spowodowany jest przez błędy numeryczne symulacji.

Komuś, kto nie jest przyzwyczajony do skalowania w decybelach, poziom szumu na wykresie może wydać się nadmiernie wyeksponowany. Zauważmy jednak, że na rysunku 5 poziom szumu tła wynosi około 160 dB poniżej wartości szczytowej. Odpowiada to napięciu 300 milionów razy mniejszemu od maksymalnego! Jest to znacznie mniej niż poziom szumu tła w typowych układach rzeczywistych.

Widmo, po usunięciu kompresji sygnału, mamy teraz czyste, ale jego szczyt jest nadal znacznie szerszy niż można by oczekiwać. Wynika to z braku wystarczającej ilości informacji o sygnale, która mogła mieć wpływ na wyniki FFT. Jedno z rozwiązań tego problemu może polegać na wydłużeniu czasu symulacji, co pozwoli uwzględnić więcej okresów przebiegu. W tym celu należy wywołać opcję *Edit Simulation Cmd* z menu *Simulate* i zmienić wartość *Stop Time* na 50 m. Po ponownym uruchomieniu symulacji będzie ona obejmować około 50 okresów sygnału. Widmo powinno teraz wyglądać jak na **rysunku 6**. Zakres częstotliwości został zmieniony, aby zgadzał się z zakresami na poprzednich wykresach.



Rysunek 13. Schemat w LTspice dla przykładowej analizy THD

```
N-Period=1
Fourier components of V(y2)
DC component:-9.29584e-015
```

Harmonic Number	Frequency [Hz]	Fourier Component	Normalized Component
1	1.000e+03	1.133e+00	1.000e+00
2	2.000e+03	5.005e-15	4.417e-15
3	3.000e+03	1.107e-01	9.771e-02
4	4.000e+03	1.446e-14	1.276e-14
5	5.000e+03	3.839e-02	3.388e-02
6	6.000e+03	8.617e-15	7.605e-15
7	7.000e+03	6.821e-03	6.020e-03
8	8.000e+03	1.050e-14	9.263e-15
9	9.000e+03	1.329e-02	1.173e-02
10	1.000e+04	1.122e-14	9.898e-15

```
Total Harmonic Distortion: 10.425809%(10.450657%)
```

Rysunek 14. Amplitudy składowych z analizy Fouriera i współczynnik THD dla sygnału y2 z rysunku 13

Dokładność

Maksimum przy 1 kHz jest teraz znacznie węższe, ale pogorszył się poziom szumu. I znów jest to spowodowane brakiem dokładności symulacji. Tym razem problem nie leży w kompresji danych, ale w ilości punktów, w których symulator obliczał przebieg. Punkty używane przez FFT nie znajdują się w tych samych momentach, co punkty przebiegu obliczonego przez symulator. Wynika to po prostu z tego, że działają one w różny sposób. FFT wykorzystuje próbki rozmieszczone w regularnych odstępach czasowych, natomiast symulator oblicza przebieg w „kolejnych krokach", a długość tych kroków może się zmieniać w zależności od sposobu przeprowadzania obliczeń przez symulator. Jeśli w momencie wykorzystywanym przez FFT nie ma próbki przebiegu obliczonej przez symulator, FFT musi wymaganą wartość interpolować w oparciu o wartości pobliskich punktów, co zwykle wprowadza błędy.

Możemy jednak wymusić na symulatorze używanie określonego minimalnego kroku czasowego. Podczas symulacji zostanie wtedy obliczone więcej punktów przebiegu, co zapewni lepsze dane dla FFT. Aby skrócić krok czasowy, ponownie używamy polecenia Edit Simulation Cmd, wpisując tym razem wartość 10n w polu Minimum Timestep. Stop Time pozostawiamy na 50 m. Ustawienie spowoduje, że symulator będzie obliczał punkty przebiegu nie rzadziej niż co 10 ns (nanosekund). Ponownie uruchamiamy symulację. Zauważmy, że teraz trwa ona dłużej. Znów wyświetlamy widmo – powinno wyglądać jak na **rysunku 7**. Mamy teraz ostry „pik", a poziom szumu jest od niego znacznie niższy. Widmo jest nieporównanie bliższe wynikowi dla idealnej fali sinusoidalnej niż w pierwszej próbie.

Innym sposobem na poprawę dokładności jest ustawienie opcji:

```
.options numdgt=7
```


eprasa.pl 6fff7859d1

Dodajemy tę opcję do schematu w taki sam sposób, jak wcześniej dyrektywę *plotwinsize*. Tekst pomocy LTspice informuje, że historycznie (w programie SPICE) było to stosowane do zadawania ilości cyfr znaczących w wynikach, natomiast w LTspice ustawienie numdgt na wartość większą niż 6 powoduje używanie w obliczeniach arytmetyki podwójnej precyzji (52 bity mantysy i 11 bitów wykładnika; przypis redaktora).

Wykres

Po tym jak uzyskaliśmy wykres widma dobrej jakości, przestało być konieczne uwzględnianie na nim poziomu szumu. W przypadku wyników na **rysunku 8** szum jest praktycznie zerowy i pozbawiony znaczenia. Możemy teraz zawęzić zakres decybeli do wartości bliskich wartości szczytowej. Ułatwi to wychwytywanie poziomów względnych różnych maksimów. Na **rysunku 9** mamy przykładowy układ wytwarzający sygnał złożony z dwóch fal sinusoidalnych, pochodzących ze źródeł V1 i V2, o częstotliwościach odpowiednio 1 kHz i 5 kHz. Sygnał 1 kHz ma amplitudę dwukrotnie większą niż sygnał 5 kHz. Na schemacie widać też użycie dyrektyw `.plotwinsize` i `.numdgt` omówionych wyżej.

Wykreślenie wyników dla układu z rysunku 9 przy użyciu pełnego zakresu decybeli (jak na rysunku 8) utrudniłoby dostrzeżenie amplitudy względnej obu częstotliwości. Wykres na **rysunku 10** przedstawia wyniki FFT dla tego układu przy zakresie ustawionym na bardziej dogodne wartości. Na tym wykresie widać wyraźnie, że sygnał 5 kHz (V2) jest o 6 dB słabszy od sygnału 1 kHz (V1). Różnica wynosząca $-6\ \mathrm{dB}=20\cdot\log(V2/V1)$ odpowiada stosunkowi amplitud $V1/V2=10^{-6/20}=0{,}5$. Wynika stąd, że sygnał 5 kHz ma amplitudę równą połowie amplitudy sygnału 1 kHz, co jest zgodne z parametrami źródeł ustawionymi na schemacie.

Prowadzi nas to do kwestii, która czasami budzi wątpliwości – co dokładnie przedstawia wykres FFT? Na rysunku 9 źródło V1 ma amplitudę 1,4142 V ($\sqrt{2}$). Wartość tę wybrano, ponieważ odpowiada wartości skutecznej (RMS) napięcia przemiennego równej 1 V. Wartość skuteczna napięcia przemiennego to taka wartość napięcia stałego, jaka powodowałaby rozpraszanie takiej samej mocy w określonej rezystancji, i w pewnym sensie reprezentuje moc uśrednioną za jeden okres przebiegu. W przypadku fali sinusoidalnej wartość skuteczna to wartość szczytowa podzielona przez $\sqrt{2}$. Wykres FFT w LTspice jest domyślnie wyrażony w dBV – decybelach odniesionych do wartości 1 Vrms, czyli konkretnie w wartościach $20\cdot\log(\mathrm{Vrms}/1\ \mathrm{Vrms})$. Wartość szczytowa 1,4142 (1 Vrms) jest więc wykreślana jako 0 dB ($=20\cdot\log(1)$), a wartość 0,7071 V jako –6 dB ($20\cdot\log(0{,}5)$), jak to widać na rysunku 10. Wykres FFT można również skonfigurować tak, by wyświetlał nie decybele, lecz wartości skuteczne. Należy w tym celu kliknąć prawym przyciskiem myszy na oś amplitudy i wybrać opcję *Linear* w sekcji *Representation*. Taka wersja wykresu została pokazana na **rysunku 11**.

Ustawienia FFT

Okno dialogowe FFT (rysunek 3) ma różne ustawienia, które można wykorzystać do wpływania na sposób obliczania FFT. Do tej pory korzystaliśmy wyłącznie z ustawień domyślnych. Można jednak zmienić liczbę próbek używanych przez FFT. Domyślna wartość to 262144. Jej zwiększenie spowolni obliczenia, ale, dla określonego zakresu czasowego sygnału, zwiększy maksymalną częstotliwość widma. Jednocześnie z rozszerzaniem zakresu częstotliwości FFT powinien być odpowiednio zmniejszany maksymalny krok czasowy symulacji przejściowej. Używamy tu niskich częstotliwości, więc liczbę punktów można by było zmniejszyć, wciąż uzyskując użyteczny wykres widma. Jednak odpowiednio zmniejszyłaby się dokładność. „Pik" na wykresie mógłby stać się szerszy, a poziom szumu – wyższy.

Na wyniki może mieć znaczący wpływ zakres czasu, dla którego obliczana jest FFT (okno czasowe), szczególnie w przypadku przebiegów okresowych jak fala sinusoidalna. W przypadku takich przebiegów zakres powinien ściśle obejmować całkowitą liczbę okresów przebiegu. Obliczanie FFT odpowiada przebiegowi, który składa się z nieskończenie powtarzających się kopii sygnału zawartego w oknie. Nieciągłości na końcach zakresu wprowadzają do widma błędy. Zjawisko to nazywa się „przeciekiem widma".

Do analizy FFT jest domyślnie wykorzystywany rezultat całej symulacji. Nie zawsze jest to podejście najlepsze. Na przykład jeśli układ wymaga kilku okresów, aby się ustabilizować, wtedy najlepiej jest rozpocząć analizę FFT po upływie tego czasu. Zakres czasu dla analizy FFT można w LTspice ustawić, powiększając przebieg lub wpisując konkretne wartości czasu. Aby to sprawdzić, otwieramy ponownie okno dialogowe FFT i w sekcji *Time range to include* („uwzględniony zakres czasu") wybieramy opcję *Specify a time range* („podaj zakres czasu"). Zmieniamy *End time* („czas zakończenia") z 50 ms na 49,5 ms i klikamy OK, uruchamiając obliczenie widma. Będzie ono wyglądało jak na **rysunku 12**. Szczyt jest teraz szeroki i opada powoli.

Jeśli sygnał jest nieokresowy, wtedy zaleca się użycie funkcji okna, co powoduje „wytłumienie" sygnału na krańcach zakresu czasowego i zapobiega nieciągłościom powodującym wyciek widma. W przypadku przebiegów okresowych, takich jak sinusoida, z reguły nie jest to konieczne, o ile okno czasowe jest dokładnie równe całkowitej wielokrotności okresów.

Analiza THD

LTspice umożliwia przeprowadzenie analizy THD. **Rysunek 13** przedstawia układ z poprzedniego odcinka, który wykorzystywaliśmy do zilustrowania widm dla kilku funkcji nieliniowych. Aby się upewnić, że wynik obliczenia THD jest prawidłowy, warto przedtem sprawdzić na wykresie FFT, czy widmo wygląda wiarygodnie. Do poinstruowania LTspice, aby wykonało analizę Fouriera i THD dla sygnału okresowego, używana jest dyrektywa SPICE o nazwie `.four`, co widzimy na schemacie z rysunku 13. Składnia dyrektywy .four jest następująca:

```
.four <frequency> [Nharmonics]
[Nperiods] <data trace1>
[<data trace2>...]
```

Parametr *frequency* określa częstotliwość podstawową, dla której przeprowadzana jest analiza. Zazwyczaj jest to częstotliwość podstawowa sygnału wejściowego. *Nharmonics* wyznacza liczbę harmonicznych, dla których zostaną obliczone składowe Fouriera (domyślnie: 9). *Nperiods* określa, ile okresów przebiegu na końcu czasu symulacji zostanie wykorzystanych do przeprowadzenia analizy. Domyślnym ustawieniem jest 1. Ustawienie –1 spowoduje wykorzystanie całej symulacji. Przykład na rysunku 13 to:

```
.four 1 kHz 10 V(y1) V(y2) V(y3)
```

Do obliczeń będzie użytych dziesięć składowych z analizy Fouriera przy podstawowej częstotliwości 1 kHz, dla sygnałów y1, y2 i y3, na podstawie jednego okresu przebiegu. Wyniki są dostępne w menu *View* i podmenu *Spice Error Log*. W tabeli na **rysunku 14** przedstawiono część wyników dla układu z rysunku 13. Współczynnik THD dla sygnału y2 wynosi 10,4%. ■

Ian Bell

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

eprasa.pl 6fff7859d1

Ekscytacje Maxa

Migające diody LED i śliniący się inżynierowie (28)

Jak być może pamiętacie, w poprzednim artykule („Practical Electronics", maj 2022; EdW 12/2025) wspomniałem o nowoczesnej wersji komputera analogowego o nazwie „The Analog Thing (THAT)" (https://bit.ly/370WEZH). Kiedy rozmyślałem nad tym fascynującym urządzeniem, przypomniało mi się kilka ciekawostek i interesujących informacji, którymi chciałem się z kimś podzielić – a wygląda na to, że nie macie możliwości ucieczki, więc...

Kiedy rządził analog, a nie cyfra

Dawno temu, w zamierzchłych czasach, pierwsze systemy prawdziwie elektroniczne budowano na lampach elektronowych (w brytyjskim angielskim „valves", w amerykańskim angielskim „tubes"). Te bestyjki mogły działać jak diody, przełączniki lub wzmacniacze. Wczesne układy lampowe miały charakter analogowy, czego przykładem są radia z lat dwudziestych XX wieku.

Mam ogromny szacunek dla ludzi, którzy projektowali i realizowali najbardziej niesamowite systemy analogowe, często używając jedynie kilku lamp oraz garści rezystorów, kondensatorów i cewek. Jak wielokrotnie wspominałem, z zawodu jestem projektantem systemów cyfrowych i niestabilny charakter układów analogowych nieco mnie niepokoi. Nawet w przypadku najprostszego systemu na lampach mogę godzinami studiować i analizować jego schemat, nie mając pojęcia, do czego ów system służy ani w jaki sposób ma działać. Z kolei każdy z moich kumpli z Alabama Historical Radio Society (www.ALHRS.org) mógłby na ten sam schemat ledwie rzucić okiem, a następnie godzinami dyskutować na temat „transmogryfikujących wstecznych sprzężeń indukcyjnych, usprawniających modulację przyrostu fazy" (lub coś w tym rodzaju).

Cechą charakterystyczną analogowego przetwarzania sygnałów (ASP) jest to, że można bardzo wiele osiągnąć przy użyciu bardzo niewielu elementów. Na przykład dodawanie dwóch fal sinusoidalnych przy jednoczesnym odfiltrowywaniu wszelkich zakłóceń o wielkiej częstotliwości jest w technice analogowej „bułką z masłem". Natomiast zrealizowanie tej samej funkcji na drodze cyfrowego przetwarzania sygnałów (DSP) wymaga opracowania odpowiedniego algorytmu i pochłania zazwyczaj niezmierną liczbę cyfrowych bramek logicznych i rejestrów, wywołując u projektanta „płacz i zgrzytanie zębów".

Z drugiej strony – systemy analogowe mają liczne wady, o czym już wcześniej wspominałem. Między innymi to, że w komputerach analogowych rzadko otrzymuje się dwa razy ten sam rezultat. Zawsze występuje jakaś różnica, choćby minimalna. Kolejną cechą analogowości jest tendencja do tracenia informacji. Jeśli w czasach kaset wideo ktoś nakręcił film z urodzin babci i zrobił kopię dla swojej ciotki, a ona zrobiła kopię dla przyjaciółki i... Nie mijało dużo czasu, zanim kopie z kolejnych kopii nie nadawały się do oglądania. Natomiast w trakcie przetwarzania cyfrowego zawsze otrzymujemy ten sam wynik (chyba że coś zepsujemy), co jest rzeczą bardzo podnoszącą na duchu. Co więcej, dzięki zastosowaniu kodów kontrolnych i korygujących błędy (ECC) możliwe jest tworzenie wielu kopii kopii, przy czym ostatnia z nich jest identyczna z pierwszą (hurra!). Ale odbiegamy od tematu...

Rozwój techniki cyfrowej

Wczesne komputery cyfrowe, z początku lat 40. XX wieku, były zazwyczaj elektromechaniczne (oparte na przekaźnikach), czasem elektroniczne (na lampach). Większość z tych maszyn pracowała w systemie dziesiętnym i przetwarzała tylko liczby całkowite. Co ciekawe, już w 1938 r. niemiecki inżynier Konrad Zuse skonstruował w pełni mechaniczny komputer Z1 pracujący w systemie dwójkowym, z arytmetyką zmiennoprzecinkową – ale to już temat na inną okazję.

Maszyny oparte na tych przedpotopowych technologiach były ogromne i zużywały dużo energii. Chyba trudno się dziwić. Jak pisałem w Bebop Bytes Back (https://amzn.to/3MdgfFh), komputer Harvard Mark I, opracowany w Stanach Zjednoczonych w latach 1939–1944, był zbudowany na przełącznikach i przekaźnikach z dodatkiem różnych wałków obrotowych i sprzęgieł. Opisywano, że brzmiał jak „pokój pełen kobiet robiących na drutach". Maszyna ta zawierała ponad 750 000 elementów, miała 15 m długości, 2,5 m wysokości i ważyła około pięciu ton! Podobnie prezentował się komputer ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer), zbudowany na Uniwersytecie Pensylwanii w latach 1943–1946. Miał 3 m wysokości, zajmował powierzchnię 90 m², ważył około 30 ton i zawierał ponad 70 000 rezystorów, 10 000 kondensatorów, 6000 przełączników i 18 000 lamp elektronowych. Pracująca maszyna pobierała 150 kW mocy, co w tamtych czasach wystarczało do oświetlenia małego miasteczka.

Jednym z największych problemów związanych z komputerami lampowymi była ich marna niezawodność. Na przykład 90% przestojów ENIAC-a wynikało z konieczności lokalizowania i wymiany przepalonych lamp. Dane z 1952 r. wskazują, że tylko w tym jednym roku trzeba było wymienić około 19 000 lamp, co daje średnio jakieś 50 lamp dziennie!

Inny problem polegał na tym, że inżynierowie przyzwyczajeni do ciągłej natury świata analogowego co prawda radzili sobie z koncepcjami cyfrowej logiki asynchronicznej, ale mieli trudności ze zrozumieniem niuansów systemów synchronicznych (taktowanych zegarem). Zresztą cała technika cyfrowa znajdowała się wówczas jeszcze w powijakach, co bynajmniej w tej sytuacji nie pomagało.

Życie pionierów komputerowych stało się łatwiejsze po wynalezieniu diod półprzewodnikowych i tranzystorów, a jeszcze łatwiejsze – po skonstruowaniu układu scalonego. Pomocne było również coraz lepsze rozumienie zawiłości logiki cyfrowej. Kiedy zaczęto budować procesory oparte na półprzewodnikach, ruszył rozwój techniki DSP i jej podobnych. Obecnie możemy produkować układy scalone zawierające setki milionów tranzystorów. Są też układy, które zawierają ich miliardy, a nawet biliony. Przypis redaktora: rekord z 2023 roku należy do pamięci FLASH o pojemności 2 TB, której

eprasa.pl 6fff7859d1

kostka zawiera ponad 5,3 biliona ($5{,}3 \cdot 10^{12}$) tranzystorów. To wyjaśnia, dlaczego obecnie tak wiele operacji przetwarzania wykonujemy w technice cyfrowej.

Zmiana jest przerażająca

Podczas mojej krętej podróży przez życie spotykałem inżynierów, którzy byli mistrzami w projektowaniu układów na lampach elektronowych, ale nie potrafili ogarnąć umysłem przyrządów półprzewodnikowych, na przykład tranzystorów. Spotykałem również projektantów analogowych, którzy z radością tworzyli arcydzieła przy użyciu tranzystorów, rezystorów i kondensatorów, ale nie potrafili pojąć koncepcji funkcji cyfrowych, takich jak prymitywne bramki logiczne (NOT, AND, OR, NAND, NOR...) i elementy pamiętające (przerzutniki, rejestry...) występujące w standardowych układach scalonych ogólnego przeznaczenia, na przykład serii Texas Instruments 7400. Nawet dzisiaj znam inżynierów od techniki cyfrowej, którzy są szczęśliwi jak dzieci, tworząc programy w języku asemblera na mikrokontrolery 8-bitowe, a którzy uciekaliby w popłochu, gdyby poproszono ich o napisanie programu w języku C lub stworzenie aplikacji uruchamianej pod systemem operacyjnym komputera.

Doniesienia o śmierci analogu

Nie jestem w stanie powiedzieć, ile razy słyszałem starą anegdotę o tym, jak pewna gazeta przedwcześnie opublikowała nekrolog Samuela Clemensa – znanego pod pseudonimem Mark Twain – a on powiedział: „Doniesienia o mojej śmierci są mocno przesadzone". Trochę szkoda, że historyjka ta sama w sobie zawiera nieco przesady, ale – jak uczyła mnie moja mama – nigdy nie należy pozwolić, aby fakty przeszkadzały w opowiadaniu dobrej historii.

Myślę, że gdzieś w latach 80. po raz pierwszy zacząłem dostrzegać, iż eksperci branżowi ogłaszają koniec elektroniki analogowej. „Technika cyfrowa zdominuje świat" – głosili. Wielu młodych ludzi niestety im uwierzyło, co spowodowało niedobór studentów chcących uczyć się sztuki analogowej. Wynikające z tego braki wśród inżynierów analogowych w latach 90. sprawiły, że stali się oni cenioną grupą, mogącą żądać wysokich wynagrodzeń. Co ciekawe, obecnie popyt na inżynierów znających się na technice analogowej stale rośnie. Częściowo wynika to z faktu, że – jak z radością powtarzają miłośnicy analogu każdemu, kto chce ich słuchać – analogowe jest wszystko, łącznie z techniką cyfrową, którą uważają oni za dział techniki analogowej (bezczelne łobuzy).

Ciężko mi to przyznać, ale jest to w dużym stopniu prawda. Projektanci cyfrowi lubią myśleć o sygnałach jako o serii błyskawicznych przejść między stanami 0 i 1 z ostrymi jak brzytwa zboczami. W rzeczywistości jednak każda zmiana tych sygnałów zajmuje czas. Weźcie pod uwagę nachylenia zboczy! Ponadto, im szybciej próbujemy przesyłać dane przez ścieżki miedziane na płytkach drukowanych, tym bardziej sygnały ulegają analogowym zniekształceniom, a ich kształty psują się na naszych oczach. Najistotniejsze jest to, że my, projektanci systemów cyfrowych, nie bylibyśmy w stanie dokonywać naszych czarów bez pomocy specjalistów od układów analogowych.

Analogowa sztuczna inteligencja

W chwili, gdy piszę ten artykuł, większość sztucznych sieci neuronowych (ANN) wykorzystywanych do realizacji sztucznej inteligencji (AI) i uczenia maszynowego (ML) jest realizowana przy użyciu techniki cyfrowej. Jednak przez jakiś dziwny zbieg okoliczności obserwuję ostatnio coraz więcej implementacji analogowych. Na przykład pracownicy serwisu www.Aspinity.com wprowadzili niedawno na rynek AML100 – pierwszy produkt z rodziny AnalogML, który opisują jako: „niewielki układ uczenia maszynowego, jako pierwszy i jedyny w branży działający całkowicie w domenie analogowej" (**rysunek 1**).

AML100, mieszczący się w małej 48-pinowej obudowie QFN o wymiarach 7×7 mm, wykrywa zdarzenia i wyciąga wnioski, zużywając prawie zero energii (ściślej mówiąc, w trybie wykrywania ciągłego mniej niż 20 μA). Ma trzy wejścia dla czujników – takich jak mikrofony MEMS lub akcelerometry. Sieć ANN w AML100 może zostać nauczona rozpoznawania takich rzeczy jak dźwięk tłuczonego szkła lub ludzki głos. Dla jasności – nie rozumie ona słów, ale potrafi odróżnić na przykład głos człowieka od miauczenia kota lub szczekania psa.

Weźmy pod uwagę inteligentny głośnik – Amazon Echo, Apple HomePod lub Google Home. Takie urządzenie szczyci się zazwyczaj hierarchiczną strukturą przetwarzania procesów. Ponieważ przez większość czasu nie są wykonywane żadne czynności, główny procesor aplikacji (AP) spędza prawie cały czas w stanie uśpienia. Mniejszy procesor, o niższym poborze mocy, czuwa (nasłuchuje) w nadziei, że usłyszy słowo aktywujące system. W przypadku głośnika Echo słowem aktywującym jest „Alexa". Znam dwie osoby o tym imieniu, których to wcale nie bawi. Procesor rozpoznający słowo aktywujące

Rysunek 1. Czysto analogowa sztuczna sieć neuronowa AML100. Wykrywa zdarzenia, wyciąga wnioski i dokonuje rozstrzygnięć, niemal nie zużywając energii (źródło: Aspinity)

zużywa mniej energii niż AP, lecz mimo wszystko jest cyfrowy. Oznacza to, że prawdopodobnie zużywa więcej energii, niż byśmy chcieli, gdyby to od nas zależało.

Faktem jest też, że wśród wszystkich dźwięków rozlegających się w moim biurze (szum klimatyzacji, stukanie klawiatury, terkot licznika Geigera, walenie głową o ścianę, męski płacz...) głos ludzki pojawia się tylko przez znikomą część czasu, ponieważ jestem w biurze sam jeden i nie rozmawiam ze sobą. Jeśli nawet to robię, to sam siebie nie słucham. Wszelkie wystąpienia ludzkiej mowy ograniczają się głównie do mojego nucenia podczas wideokonferencji lub mówienia „Alexa, ustaw przypomnienie".

Załóżmy teraz, że do systemu dodajemy AML100. W takim przypadku procesor słów aktywujących sam może udać się na drzemkę. Analogowa sztuczna inteligencja w nieustannie działającym AML100 nasłuchuje wszystkiego, co dzieje się wokół niego, budząc procesor słów aktywujących tylko wtedy, gdy ktoś coś zacznie mówić. Całkiem sprytne, prawda?

Kolejny przykład analogowej sztucznej inteligencji zademonstrowali pracownicy firmy www.AIStorm.ai. Są to bardzo mili ludzie, ale trzeba przyznać, że zbyt często powtarzają „sztuczna inteligencja nadchodzi jak burza". Rozważmy tradycyjną konfigurację rozpoznawania obrazu. Sygnał wyjściowy z matrycy CMOS wchodzi do przetwornika analogowo-cyfrowego (ADC) a dalej do procesora obrazu (ISP), który przekazuje swoje dane cyfrowej sztucznej inteligencji w procesorze sygnałowym (DSP), mikrokontrolerze (MCU), procesorze graficznym (GPU) lub układzie logiki programowanej (FPGA). Żaden z tych układów nie jest oszczędny energetycznie.

Dla porównania – system Mantis AI-in-Sensor (AIS) System-on-Chip (SoC) firmy AIStorm przekształca sygnały matrycy obrazu w sygnały wejściowe dla analogowej inteligencji. Mantis (**rysunek 2**) zupełnie

eprasa.pl 6fff7859d1

Rysunek 2. Układ System-on-Chip Mantis AIS obok amerykańskiej jednocentówki o średnicy 19 mm (źródło: AIStorm)

pomija proces digitalizacji sygnału, wykorzystując bezpośrednio ładunki elektryczne z matrycy do połączenia z pierwszą z wielu warstw analogowych neuronów. Najważniejsze jest to, że, zużywając bardzo mało energii, Mantis może ocenić sytuację bieżącą i podjąć odpowiednią decyzję („do pokoju właśnie wszedł człowiek") zanim cyfrowa sztuczna inteligencja zdąży rzucić okiem na pierwszy bajt danych z matrycy.

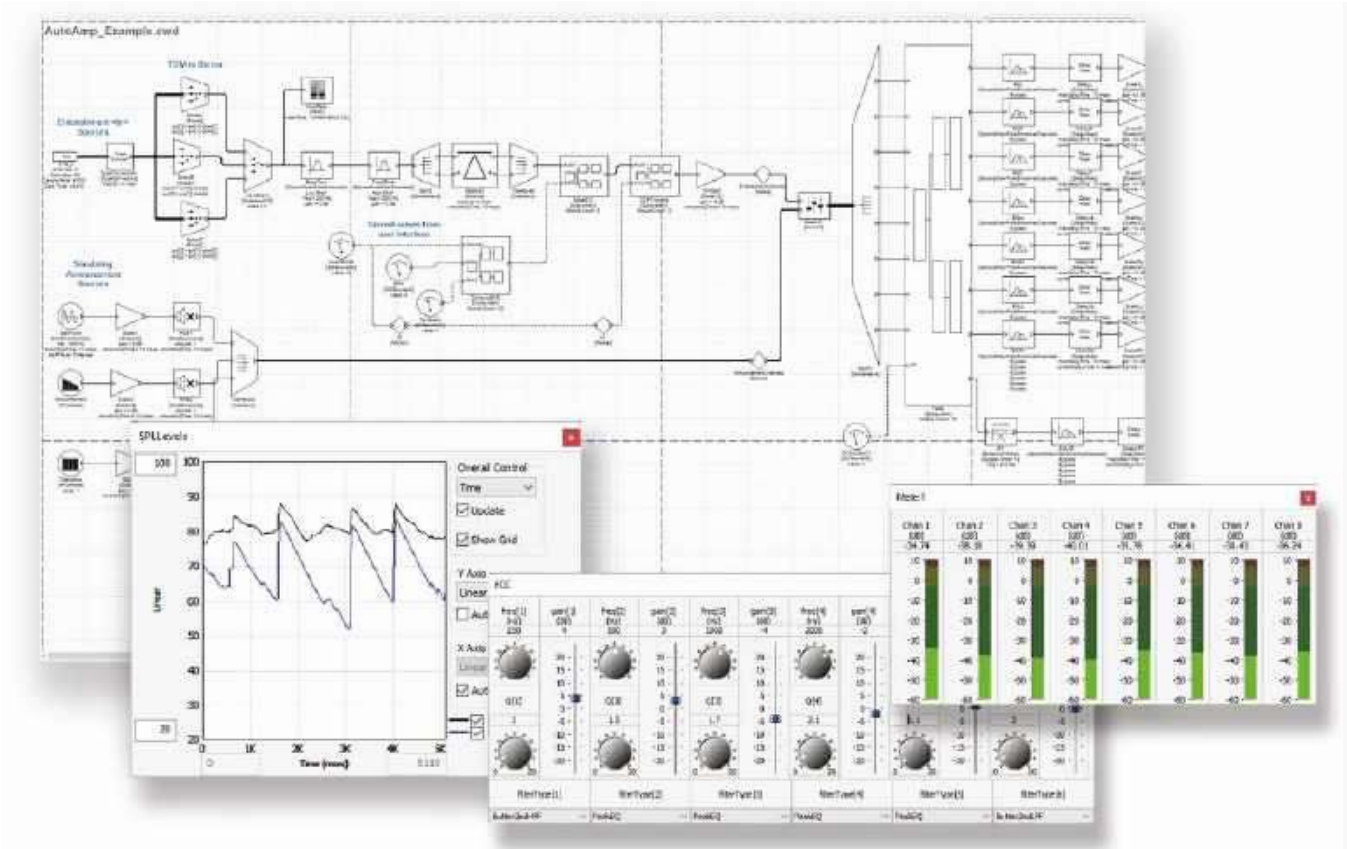
Tworzenie projektów audio

Co? Chcecie jeszcze? No cóż, jestem odpowiednią osobą do spełnienia tej prośby. Przejdźmy od analogu do cyfry. Niedawno spędziłem przyjemne popołudnie, rozmawiając z ludźmi z www.DSPConcepts.com. A oni zwrócili mi uwagę na fakt, że istnieją „szkielety" programistyczne i środowiska projektowe, które pomagają nam wydajnie i produktywnie pracować w prawie każdej dziedzinie inżynierii – poza elektroakustyką. Nie jestem miłośnikiem audio, więc przed naszą rozmową nie zastanawiałem się nad tym. Rzeczywiście! Jeśli chcesz stworzyć stronę internetową, korzystasz z nowoczesnej platformy do tworzenia stron internetowych. Jeśli budujesz panel dotykowy, sięgasz po istniejącą bibliotekę graficzną i zestaw „widgetów". Jeśli pragniesz wdrożyć system sztucznej inteligencji, wykorzystujesz odpowiednią platformę programistyczną. I tak dalej.

A teraz audio. Nie wiem, czy zauważyliście, ale w porównaniu z sytuacją sprzed kilku lat, niesamowite wrażenia akustyczne i bogate krajobrazy dźwiękowe zajmują obecnie ważne miejsce w naszym codziennym życiu. Problem polega na tym, że twórcy systemów elektroakustycznych są zmuszeni do projektowania wszystkiego w dużej mierze od podstaw, co jest sposobem działania w najlepszym wypadku żmudnym i czasochłonnym.

Aby rozwiązać ten problem, pracownicy firmy DSP Concepts stworzyli niesamowity produkt o nazwie Audio Weaver (**rysunek 3**). Mogę tylko powiedzieć, że to, co słyszałem o Audio Weaver i jego intuicyjnym graficznym interfejsie użytkownika (GUI), działającym w myśl zasady „przeciągnij i połóż", było muzyką dla moich uszu (przepraszam, nie mogłem się powstrzymać). Załóżmy, że chcesz utworzyć coś w rodzaju inteligentnego głośnika, zawierającego panel z mikrofonami oraz głośnik lub kilka głośników. W tym miejscu wkracza Audio Weaver. Można tu przeciągać i kłaść bloki funkcjonalne: reduktory szumu, eliminatory echa, korektory, kompresory, skupianie wiązki... (jest ponad 500 modułów stworzonych przez czołowych projektantów audio) i łączyć je ze sobą według własnego uznania. Audio Weaver zawiera również rdzeń wykonawczy, wyposażony w wysoce zoptymalizowane biblioteki przeznaczone do konkretnych zastosowań, mogące być używane z szeroką gamą procesorów ARM, Cadence, CEVA, TI, Qualcomm... (również ta lista jest długa).

Jeśli chcecie dowiedzieć się więcej, możecie na początek obejrzeć film o Audio Weaver z targów CES 2022 (https://bit.ly/3JOEcRI). Jeśli po obejrzeniu filmu zechcecie temat zgłębić, to pracownicy DSP Concepts zapewniają, że Audio Weaver jest przeznaczony



Rysunek 3. Intuicyjny interfejs użytkownika programu Audio Weaver (źródło: DSP Concepts)

eprasa.pl 6fff7859d1

dla wszystkich – od hobbystów po doświadczonych profesjonalistów-elektroakustyków. Dla wszystkich zainteresowanych rozpoczęciem pracy oferowana jest 30-dniowa bezpłatna wersja próbna (https://bit.ly/3M7V5Zf). Ponadto do każdego pobieranego Audio Weaver'a jego twórcy dołączają przykładowe konfiguracje i algorytmy obróbki sygnałów audio (przetwarzanie dźwięku dla głośników, mierniki SPL, sztuczny pogłos...), dzięki czemu nowi użytkownicy nie muszą konstruować torów elektroakustycznych od zera.

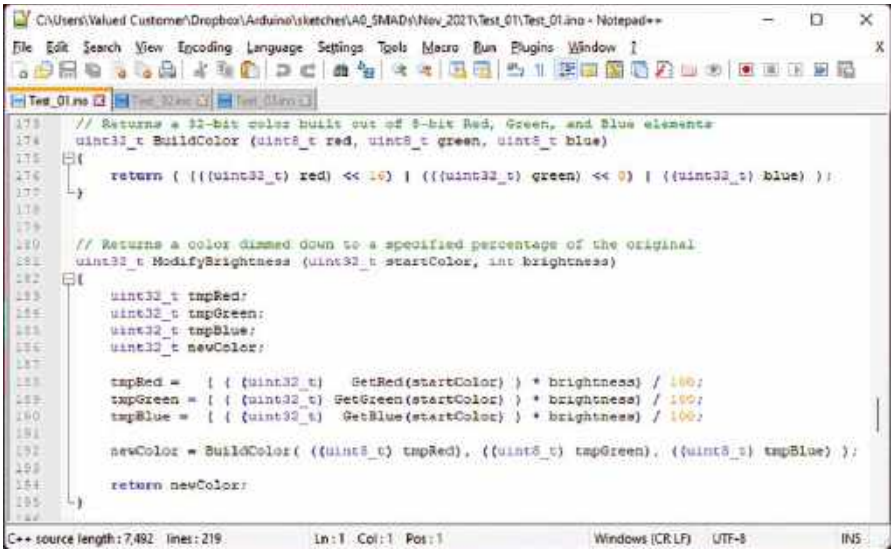
Robicie notatki?

Od wielu lat używam edytora Notatnik, dostarczanego z systemem Windows, do różnych zadań, takich jak na przykład pobieranie tekstu z dokumentu w Wordzie i usuwanie wszystkich ukrytych kodów sterujących.

Notatnik jest bardzo przydatny, choć jest wiele rzeczy, które można by w nim poprawić. Szczerze mówiąc, nie zastanawiałem się nad tym zbytnio, aż kilka dni temu otworzyły mi się oczy na świat nowych możliwości. W jednym z poprzednich artykułów („Practical Electronics", grudzień 2021; EdW 07/2025) przedstawiłem mojego kumpla Guido Bonelli (znanego również jako Dr Duino). Jeśli odwiedzicie stronę internetową Guido (www.DrDuino.com), to zobaczycie jego zestawy Dr. Duino Pioneer i Explorer – niesamowite do tworzenia i uruchamiania projektów opartych na Arduino Uno czy Nano.

Guido zaczął organizować comiesięczne spotkania online dla swoich klientów, podczas których dzieli się z nimi wskazówkami i trikami oraz prezentuje nowe projekty. Następnie jeden z uczestników przedstawia jeden ze swoich projektów opartych na Arduino. Na inauguracyjnym spotkaniu Guido zapytał mnie, czy mógłbym zaprezentować jeden z moich projektów, aby dać klientom wyobrażenie o tym, czego się oczekuje od uczestników. Dla zabawy zaprezentowałem im mój projekt matrycy piłeczek pingpongowych 12×12, o którym po raz pierwszy zaczęliśmy rozmawiać na łamach „Practical Electronics" w marcu 2020 roku (EdW 10/2023).

Rzecz w tym, że w ramach swojej części spotkania Guido wspomniał o darmowym edytorze o nazwie Notepad++ („Notepad-Plus-Plus"), który można pobrać ze strony www.Notepad-Plus-Plus.org. Mała rada: należy kliknąć wyłącznie na przycisk „Pobierz" znajdujący się pod obrazkiem kartonowego pudełka z napisem „Notepad++". Nie należy dać się skusić innym przyciskom „Pobierz" czy „Rozpocznij teraz", które mają jedynie na celu zwabienie nieostrożnych użytkowników.



Rysunek 4. Notepad-Plus-Plus to spełnienie moich marzeń o edytorze tekstu

Mogę tylko powiedzieć, że Notepad++ jest spełnieniem moich marzeń na temat edytora tekstu, zwłaszcza że można otworzyć wiele plików jednocześnie i przełączać się między nimi, klikając po prostu ich zakładki (**rysunek 4**). Ponadto Notepad++ jest edytorem kontekstowym, rozpoznającym języki programowania na przykład BASIC czy C/C++ i używającym różnych kolorów dla elementów składni. Co więcej, umożliwia otwieranie plików szkiców Arduino (.ino) oraz plików bibliotek (.h i.cpp).

Początkowo nie wiedziałem i nie interesowało mnie, że Notepad++ „rozumie" również takie rzeczy jak pliki źródłowe programów na mikrokontrolery PIC (.asm) i pliki kodu wynikowego (.hex).

Zanim przejdziemy dalej, zdradzę Wam małą sztuczkę, która może znacznie ułatwić życie. Jeśli używacie systemu Windows (na komputerach Mac Notepada++ nie ma), to, aby otworzyć plik, można go po prostu przeciągnąć z okna Eksploratora Plików i upuścić do obszaru roboczego Notepada++. Przeprowadziłem szybki test i odkryłem, że to samo można też zrobić w klasycznym Notatniku. Mówię Wam, codziennie uczę się czegoś nowego.

Wspaniały świat mikrokontrolerów PIC

Chyba znacie mikrokontrolery PIC (wymawia się „pik") firmy Microchip Technology? Pochodzą one od 8-bitowego PIC1650, który został pierwotnie opracowany przez General Instruments i wprowadzony na rynek w 1976 roku. Początkowo PIC oznaczało „Peripheral Interface Controller" (sterownik interfejsu peryferyjnego), ale obecnie oznacza „Programmable Intelligent Computer" (inteligentny komputer programowany)... prawdopodobnie... być może... świat nie jest co do tego do końca zgodny. Więc pozostańmy przy nazwie „PIC".

Aktualnie do dyspozycji jest oszałamiająca i dezorientująca paleta mikrokontrolerów PIC 8-, 16- i 32-bitowych, z których każdy oferuje inny zestaw cech i funkcji jak liczba pinów wejścia/wyjścia (GPIO), ilość przetworników analogowo-cyfrowych (ADC), liczniki/timery/PWM oraz... lista jest długa.

Układy PIC mają wiele wspaniałych cech, takich jak szeroki zakres napięć zasilania (2,3...5,5 V w przypadku typów 8-bitowych, z którymi obecnie pracuję) oraz dostępność zarówno w obudowach do montażu powierzchniowego (SMT), jak i dual-in-line (DIP/DIL) do montażu przewlekanego. Istnieją również pewne mniej wspaniałe aspekty tej rodziny układów. Zwłaszcza wcześniejszych 8-bitowych, których bizantyjska architektura pamięci RAM i rejestrów może doprowadzić do łez nawet silnego mężczyznę (pisząc te słowa, ocieram oczy).

W rezultacie – jeśli dopiero zaczynacie przygodę z PIC, to ostatnią rzeczą, jakiej powinniście próbować, jest programowanie ich w języku asemblera. Wszystko to prowadzi nas do faktu, że z powodów zbyt zawiłych, by o nich tutaj mówić, znalazłem się w sytuacji, w której muszę konserwować i ulepszać program, którego przeznaczenia nie mogę ujawnić, dla firmy, której nazwa musi pozostać nieznana... ale obawiam się, że już powiedziałem zbyt wiele.

Wy tego nie wiecie, ale ten program, początki powstania którego sięgają zamierzchłych czasów, został zapisany w języku asemblera PIC przez kogoś, dla kogo programowanie nie było bynajmniej czynnością

eprasa.pl 6fff7859d1

naturalną. Kiedy po raz pierwszy podjąłem się zadania konserwowania tego kodu, informowano mnie, że jest on bogato opatrzony komentarzami. Owszem, w dużym stopniu to prawda. Niestety, z biegiem czasu program ewoluował, natomiast komentarze... niekoniecznie.

Pomyślałem sobie „o rany!" (czy coś w tym rodzaju). Muszę teraz konserwować kod dla wielu członków dynastii PIC. Programowałem już w różnych językach asemblera – zaprojektowałem nawet własny – więc pobrałem 279-stronicową instrukcję do pierwszego mikrokontrolera Microchip. Jeśli można coś powiedzieć o tej firmie, to na pewno to, że mają niesamowite archiwum dokumentacji. Użyłem wcześniej słowa „bizantyjski". Obawiam się, że było to niedopowiedzenie, zupełnie nie oddające złożoności zadania.

Przyznam, że zaczynałem czuć się nieco przytłoczony. „Niestety, niestety, mój koniec jest bliski" – pomyślałem. Ale wtedy przypomniałem sobie o kimś... Joe!

Czy jesteś pozytronem?

Mój stary przyjaciel Joe Farr z Wielkiej Brytanii jest mistrzem w tworzeniu gadżetów i urządzeń opartych na układach PIC. Dla urządzenia sterowanego PIC-em potrafi błyskawicznie zaprojektować płytkę drukowaną, zaprogramować mikrokontroler i uruchomić układ, podczas gdy reszta z nas wciąż grzebie w słowniku, sprawdzając pisownię słowa „jakośtam". Umówiłem się więc z Joe na rozmowę przez Zoom i wyjaśniłem mu moją trudną sytuację. Po zapoznaniu się z treścią programu w asemblerze Joe zasugerował, abyśmy spróbowali innego rozwiązania, polegającego na przepisaniu wszystkiego w języku BASIC. Jestem pewien, że podobnie jak ja, wysoko unosicie brwi ze zdumienia. Joe wyjaśnił jednak, że jeśli chodzi o programowanie układów PIC, jest wielkim fanem kompilatorów Positron PIC BASIC autorstwa Lesa Johnsona (https://bit.ly/3rtDcw8). Jednorazowa płatność przez PayPal w wysokości zaledwie około 200 złotych zapewnia dostęp do najnowszych i najlepszych wersji kompilatorów, a także wszystkich przyszłych aktualizacji i ulepszeń. Natychmiast skontaktowałem się z Lesem i złożyłem zamówienie. Świat jest naprawdę mały, ponieważ Les szybko mi odpowiedział, potwierdził moje zamówienie i poinformował też, że czytał moją książkę „Bebop to the Boolean Boogie" (https://amzn.to/3jIt5PU). Wygląda na to, że Les czytuje również moje felietony w Practical Electronics, co oznacza, że przeczyta również niniejszy – więc lepiej będę mówił o nim tylko miłe rzeczy.

Jedna z rzeczy, która mnie zaintrygowała, było użycie słowa „kompilatory" (w liczbie mnogiej). Les wyjaśnił, że ma oddzielne kompilatory dla układów 8-bitowych i dla 16-bitowych, i że klientowi dostarczane są oba. Zintegrowane środowisko programistyczne (IDE) wchodzące w skład oferty wybiera odpowiedni kompilator na podstawie typu układu zdefiniowanego w programie. Dzieje się to w sposób niewidoczny dla użytkownika, co bardzo mi odpowiada.

W toku dalszej e-mailowej korespondencji Les napisał mi również, jak jego kochany ojciec opowiadał mu o elektronice „od momentu, gdy nauczyłem się chodzić i mówić". W rezultacie Les, gdy miał 3 lata, znał nazwy elementów w telewizorze, a w wieku 7 lat konstruował już radia, wzmacniacze i tym podobne urządzenia.

Historia rozwoju kompilatorów Positron jest fascynująca. Niestety nie mamy czasu, aby się nią tutaj zajmować. Wystarczy powiedzieć, że te wspaniałe cuda zostały od podstaw zaprojektowane tak, by generować najbardziej wydajny kod wynikowy w asemblerze PIC. Właśnie użyłem mojego eleganckiego edytora Notepad++, aby dla przykładu wyświetlić i porównać plik .hex, wygenerowany z oryginalnego pliku napisanego w asemblerze, z plikiem .hex otrzymanym z kompilatora z programu w BASIC-u implementującego ten sam algorytm (**rysunek 5** – pozacierałem szczegóły, aby ukryć fascynującą przebiegłość tego kodu). Jak widać, wersja z kompilatora jest o jakąś połowę mniejsza od oryginalnej – a mniej instrukcji zazwyczaj przekłada się na wyższą wydajność – co sprawiło, że na mojej twarzy pojawił się radosny uśmiech.

Do czego służy ten element?

Mam bardzo dużo do opowiedzenia o moich przygodach z PIC, ale – w przeciwieństwie

Rysunek 5. Porównanie rozmiarów plików .hex. Po lewej: oryginalny, po prawej: nowy

do Doktora Who z brytyjskiego serialu science-fiction – czas i przestrzeń podlegają u mnie pewnym ograniczeniom. Jedną z kwestii do rozważenia był sposób programowania tych scalaków. Zakupiłem w końcu parę programatorów PICkit 3. Zdecydowałem się na PICkit 3 (https://amzn.to/3vm0IMR) a nie na PICkit 4 (https://amzn.to/3jKKwz4), ponieważ (a) były one znacznie tańsze (w przeliczeniu około 100 złotych zamiast około 700 złotych, zarówno w Wielkiej Brytanii jak i w USA, gdzie obecnie mieszkam), (b) obsługują wszystkie układy, z którymi obecnie mam do czynienia, oraz (c) Joe powiedział mi, że będzie to lepszy wybór. Kupiłem dwa programatory dlatego, że, jak twierdzi Joe, mogą się one łatwo popsuć, a w takim przypadku można użyć jednego z nich do flashowania (przeprogramowania) drugiego. Unieruchomienie urządzenia elektronicznego w wyniku nieudanej aktualizacji oprogramowania lub firmware'u jest w języku angielskim określane terminem „bricking". Przypis redaktora: po polsku moglibyśmy powiedzieć, że układ „zamurowało" (tłumacząc dosłownie) albo „sparaliżowało".

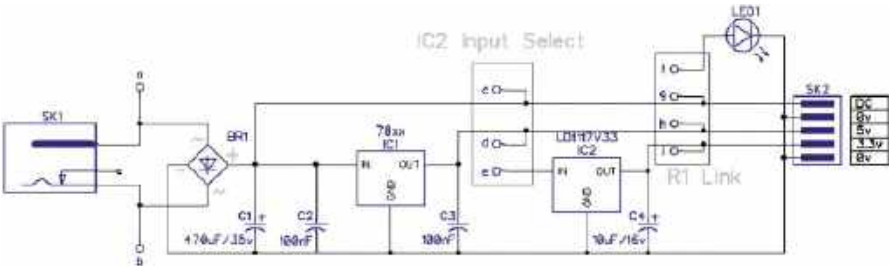
Do programowania i testowania układów PIC jest mi potrzebna płytka rozwojowa. Płytka ta musi umożliwiać weryfikację wymyślnych algorytmów przeznaczonych do konstruowanych urządzeń. Powinna więc być wyposażona we własny generator wzorców testowych. Możemy go zaimplementować w postaci drugiego mikrokontrolera PIC. Mówię wam, moje oczy otworzyły się na wspaniały świat PIC-ów.

Joe i ja wymieniliśmy kilka pomysłów, a potem zakończyliśmy dzień pracy. Możecie sobie tylko wyobrazić moje zaskoczenie i radość, gdy następnego ranka ponownie połączyliśmy się przez Zoom i okazało się, że Joe już zaprojektował płytkę. Więcej o tym małym cudeńku (to znaczy o płytce, nie o Joe) opowiem w kolejnym artykule. Wspominam o tym tutaj, ponieważ kiedy Joe opisywał mi swój projekt, zapytałem: „A ten tutaj element do czego służy?". Joe odpowiedział: „Wstawiłem mój standardowy układ zasilacza".

Kiedy zapytałem o szczegóły, Joe wyjaśnił, że rzadko zasila swoje projekty z interfejsu USB, ponieważ nie można liczyć na to, że USB zapewni stabilne i dokładne zasilanie 5 V. Joe stosuje własny niewielki układ, który może przyjmować napięcie wejściowe od 7 do 25 V, przemienne albo stałe o dowolnej polaryzacji, i wytwarza stabilne napięcia stałe 5 V i 3,3 V do zasilania elektronicznych obwodów.

Fakt, że napięcie stałe może mieć dowolną polaryzację, bardzo mnie zaintrygował.

eprasa.pl 6fff7859d1



Rysunek 6. Schemat wygodnego w użyciu zasilacza Joe Farra

Większość gniazdek zasilających, z którymi mam do czynienia, ma plus wewnątrz i minus na zewnątrz. Kupiłem kiedyś parę używanych głośników komputerowych i podłączyłem je do jednego z moich starych zasilaczy. Niestety, głośniki wymagały minusa wewnątrz i plusa na zewnątrz – z czego zdałem sobie sprawę mniej więcej w tym samym czasie, gdy pojawił się dym.

Podczas rozmowy z Joe na ten temat zdałem sobie sprawę, że taki układ zasilający może się przydać wielu Czytelnikom. Poprosiłem więc go, aby sporządził dla mnie wersję samodzielną, jaką mógłbym przedstawić na łamach czasopisma, a on bezzwłocznie ją przygotował.

Poczuj moc!

Schemat zasilacza Joe widzimy na **rysunku 6**, a projekt płytki – na **rysunku 7**. Waszą pierwszą reakcją może być stwierdzenie, że nie ma tu nic rewelacyjnego. Doświadczeni elektronicy dostrzegą jednak, że ten projekt i jego fizyczna realizacja odzwierciedlają wieloletnie doświadczenie jego Autora.

Zaczynamy od mostka prostowniczego (BR1), który realizuje prostowanie dwupołówkowe wejściowego napięcia przemiennego. Wejście może być również stałoprądowe, z biegunem dodatnim na wewnętrznym lub zewnętrznym styku gniazda. Za mostkiem prostowniczym znajduje się kondensator wygładzający (C1). Wygładzone napięcie z mostka prostowniczego podawane jest do wejścia pierwszego stabilizatora (IC1), a także bezpośrednio do złącza wyjściowego (SK2). Napięcie wyjściowe z pierwszego stabilizatora dochodzi do wejścia drugiego stabilizatora (IC2) oraz do złącza wyjściowego (SK2).

Ja potrzebuję napięć wyjściowych 5 V i 3,3 V, tak jak pokazano na schemacie. Poprzez zmianę typów stabilizatorów można jednak uzyskać inne kombinacje napięć, na przykład 12 V i 5 V.

Lista elementów zasilacza

SK1 Dowolne okrągłe złącze zasilające do płytki drukowanej, o odpowiednim rozmiarze. Złącze można też pominąć i podłączyć się bezpośrednio do padów „a" i „b" na płytce.

SK2 Idealnym rozwiązaniem byłoby 5-pinowe złącze typu Molex, ponieważ umożliwia ono łatwe odłączenie płytki od reszty układu. Można jednak użyć dowolnego złącza 5-pinowego o standardowym rozstawie 2,54 mm, można też przylutować złącze „goldpin" lub nawet lutować przewody bezpośrednio do płytki.

BR1 Dowolny mostek prostowniczy o napięciu pracy co najmniej 50 V i prądzie znamionowym co najmniej 1 A. Prąd znamionowy musi być zawsze nieco większy niż łączne maksymalne obciążenie prądowe płytki.

C1 Kondensator o napięciu znamionowym wyższym niż maksymalne spodziewane napięcie wejściowe płytki (uwaga 1 w dalszej części tekstu).

C2,3 Praktycznie dowolny kondensator 100 nF o napięciu znamionowym nie mniejszym niż 35 V.

C4 Jeśli IC2 jest stabilizatorem LD1117V33, to idealny byłby tutaj kondensator 10 μF/16 V. Jeśli jednak IC2 jest typu 78xx, kondensator ten należy zastąpić typem 100 nF takim samym jak C2 i C3.

R1 Wartość tego rezystora zależy od napięcia, które będzie zasilać diodę LED1 (uwaga 2). Rezystor ten powinien mieć moc znamionową ¼ W.

LED1 Można tu zastosować dowolną diodę LED o średnicy 3 lub 5 mm i napięciu przewodzenia około 2 V.

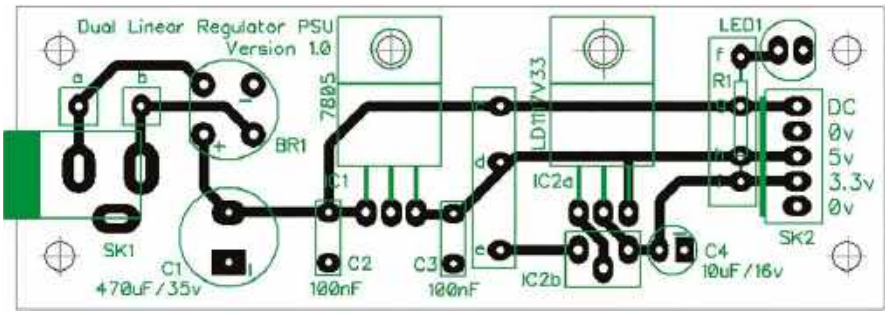
IC1 Można użyć dowolnego stabilizatora 78xx (uwaga 1).

IC2 W oryginalnej wersji projektu przewidziano stabilizator LDO („Low Drop-Out") typu LD1117V33. Należy się upewnić, że napięcie wejściowe tego stabilizatora, pochodzące albo bezpośrednio z mostka prostowniczego albo z IC1, mieści się w dopuszczalnym zakresie (uwaga 1).

Do realizacji tego projektu Joe użył oprogramowania DipTrace służącego do rysowania schematów i projektowania płytek (www.diptrace.com). Joe udostępnił wszystkie swoje pliki projektowe. Ze strony internetowej „Practical Electronics" z czerwca 2022 r. można pobrać plik skompresowany (CB-June22-01.zip), zawierający schemat i projekt PCB (https://bit.ly/3oouhbl). Wszystkie pliki Gerber i inne wymagane do produkcji płytki zawiera plik CB-June22-02.zip. Możecie pobrać bezpłatną wersję DipTrace, która umożliwia otwieranie, modyfikację, drukowanie schematów i projektów płytek oraz generowanie plików Gerber (https://bit.ly/3uQfZ9B).

Joe zaprojektował płytkę jednostronną, więc niektórzy będą w stanie wykonać ją we własnym zakresie. Inni skorzystają z usług jakiegoś producenta PCB.

O ile nie stosujemy radiatorów, stabilizatory napięcia nie muszą być przykręcane do płytki. Przykręcenie ich nie będzie jednak złym pomysłem, ponieważ zwiększy stabilność mechaniczną. Należy jednak bardzo uważać, aby śruby czy radiatory nie miały kontaktu z żadnymi elementami połączonymi elektrycznie z układem. Nie zapominajmy, że metalowy radiator komponentu w niektórych stabilizatorach, na przykład w LD1117V33, jest podłączony do wyjścia stabilizatora, a w innych, na przykład 78xx, do pinu środkowego (masy).



Rysunek 7. Projekt płytki drukowanej zasilacza

Uwagi do konstrukcji

Joe zgłosił następujące uwagi projektowe, które pomogą w pełni wykorzystać możliwości jego zasilacza:

Uwaga 1: Stabilizator IC1 może być dowolnym stabilizatorem typu 78xx. W żadnym miejscu tej płytki nie należy próbować

eprasa.pl 6fff7859d1

używać serii 79xx, ponieważ seria ta ma inny układ wyprowadzeń. Działanie użytych stabilizatorów polega na obniżaniu napięcia wejściowego do określonego napięcia wyjściowego. Różnica między napięciem wejściowym a wyjściowym przekłada się na rozpraszane ciepło, a stabilizator może się bardzo nagrzewać – do tego stopnia, że może poparzyć palce. Aby zminimalizować rozpraszanie ciepła, należy dopasować napięcie wejściowe tak, aby było ono o około 3 V wyższe niż napięcie wyjściowe stabilizatora. Podczas zasilania płytki napięciem stałym należy uwzględnić spadek napięcia o około 1 V spowodowany przez mostek prostowniczy. Należy się upewnić, że napięcie za mostkiem jest wystarczające dla danego stabilizatora. Podczas zasilania płytki napięciem przemiennym należy uważać, ponieważ wyprostowane i wygładzone napięcie stałe na kondensatorze C1 może przekraczać maksymalną wartość napięcia znamionowego kondensatora, zwłaszcza gdy obciążenie wyjścia zasilacza jest niewielkie lub gdy nie ma go wcale. Aby się upewnić, że napięcie na C1 mieści się w zalecanym zakresie napięcia wejściowego stabilizatora, zawsze sprawdzajcie kartę katalogową stabilizatora, którego używacie. Jeśli napięcie wejściowe jednego ze stabilizatorów będzie zbyt wysokie, stabilizator będzie się przegrzewał. Przy wzroście poboru prądu temperatura stabilizatora zwiększy się jeszcze bardziej. Z kolei jeśli napięcie wejściowe będzie zbyt niskie, stabilizator będzie działał niestabilnie i nie dostarczy prawidłowego napięcia.

Uwaga 2: Aby zapewnić prawidłową jasność diody LED, wartość rezystora R1 musi być dopasowana do napięcia zasilającego obwód diody. Aby jej prąd wynosił około 10 mA, co zapewni dobrą jasność bez przeciążania, proponowane wartości rezystora dla różnych napięć wynoszą: 3,3 V=150 Ω, 5 V=330 Ω, 12 V=1 kΩ, 15 V=1,2 kΩ. Dla układu IC2 przewidziano na płytce dwa alternatywne układy padów. Oryginalnie użyto 3,3-woltowego stabilizatora LD1117V33. Stabilizatory z tej serii powinny zajmować pady oznaczone „IC2a". Jeśli chcecie w tym miejscu użyć 78xx, należy wykorzystać pady „IC2b".

Opcje napięciowe: Stabilizator IC1 jest zawsze zasilany bezpośrednio z mostka prostowniczego i kondensatora C1. Istnieją natomiast dwie możliwości zasilenia stabilizatora IC2. Może być on zasilany bezpośrednio z mostka prostowniczego (dajemy zworkę od C do E) albo z wyjścia IC1 (zworka z D do E). Ten drugi wariant jest zalecany, gdy napięcie wyjściowe IC1 jest co najmniej takie jak minimalne napięcie niezbędne na wejściu IC2. W takim wariancie w IC2 zmniejszy się wydzielanie ciepła, aczkolwiek w IC1 straty ciepła odpowiednio wzrosną. Zakłada się też, że IC1, zasilający zarówno układ docelowy jak i IC2, będzie miał wystarczającą wydajność prądową.

Kłopotliwe przyciski

Kiedy byłem jeszcze młodym dorastającym smarkaczem, nie mieliśmy pilota do telewizora. Pomijając fakt, że w Anglii były wtedy tylko dwa kanały telewizyjne: BBC1 i ITV (przynajmniej przed 1964 rokiem, kiedy to pojawił się BBC2) – ludzie uważali za szczyt lenistwa sterowanie urządzeniami z pozycji kanapy zamiast wstawania i przechodzenia przez pokój. Tak samo nie mieliśmy rzeczy typu zmywarka (chyba że liczyć mojego tatę) czy pilot do bramy garażowej (chyba że liczyć mnie). Te zadania los przeznaczył nam do wykonywania w pocie czoła. Nie wiem, co pomyśleliby moi dziadkowie, widząc mnie dzisiaj, siedzącego w fotelu w salonie i używającego poleceń głosowych (dzięki Ci, Alexa) do sterowania oświetleniem, włączania telewizora i wyszukiwania interesujących programów. Myślę, że uznaliby to za znak, że ludzie zamieniają się w „chwasty i mięczaki", jak powiedziałby słynny angielski filozof Nigel Molesworth (https://bit.ly/3hEJnIj) o swoich kolegach z legendarnej angielskiej szkoły przygotowawczej „St Custard's".

Wspominam o tym z powodów sentymentalnych. „To, co było, jest tym, co będzie, a to, co się stało, jest tym, co znowu się stanie: więc nic zgoła nowego nie ma pod słońcem" – napisane jest w Księdze Koheleta 1:9. W moim poprzednim artykule („Practical Electronics", kwiecień 2022 r.; EdW 11/2025) zauważyłem na przykład, że przyciski i przełączniki, jakie znamy, pojawiły się po raz pierwszy około roku odpowiednio 1880 i 1916. Niedawno natknąłem się na interesujący artykuł: „At the Interface: The Case of the Electric Push Button, 1880–1923" („Przypadek elektrycznego przycisku"; przypis redaktora) autorstwa badaczki mediów Rachel Plotnick (https://bit.ly/3I3Nc4y). Z tego artykułu dowiadujemy się, że w 1916 roku reformatorka edukacji, działaczka społeczna i bestsellerowa autorka, amerykanka Dorothy Canfield Fisher ostrzegała: „istnieje wielkie niebezpieczeństwo, że zaczniemy tak całkowicie polegać na przyciskach elektrycznych i ich odbiornikach, że koła napędowe ludzkiej inicjatywy zepsują się lub przynajmniej zardzewieją z powodu długiego nieużywania". Wiem tylko, że ta ciekawa uwaga na długie lata pozostanie w mojej pamięci, ponieważ teraz przypominam ją sobie za każdym razem, gdy używam jakiegoś przycisku. Bóg jeden wie, co Dorothy pomyślałaby o Alexie.

Nie traćmy głowy

Wiem, wiem... Nie wspomniałem jeszcze o animatronicznej głowie robota, zbudowanej przez mojego przyjaciela Steve'a Manleya w oparciu o kilka pomocnych (mam nadzieję) rad od mojej skromnej osoby.

Pamiętam również, że obiecałem poruszyć temat silników krokowych, serwomechanizmów i tym podobnych – i zrobię to, ale nie dzisiaj, ponieważ jestem zmęczony wirującym chaosem zdarzeń i jedyne, co mogę zrobić, to utrzymać się na powierzchni.

Co? 1000001? Ja?

„Eeek alors" – jak mawiał mój drogi przyjaciel Shears. W tym miesiącu – maju 2022 roku – osiągnę sędziwy wiek 65 lat (1000001 w systemie dwójkowym). Shears był moim najlepszym przyjacielem w liceum. Dzieliliśmy wiele doświadczeń życiowych, takich jak obejrzenie koncertu Pink Floyd „Dark Side of the Moon" na festiwalu Knebworth w 1975 roku. Kiedy ja poszedłem na studia, Shears wyruszył w długą podróż po Europie, utrzymując się dzięki wrodzonemu sprytowi, a nie ciężkiej pracy. Jakiś czas po tym jak ukończyłem studia i rozpocząłem pierwszą pracę w Manchesterze, Shears przyjechał do mnie na weekend... i został na dwa lata. To były czasy!

Dlaczego „Shears"? Tak naprawdę nazywał się Mark Burkinshaw. Przyjaciele przemianowali go na „Billy Burkinshaw", co – po wydaniu albumu Beatlesów Sgt. Pepper's Lonely Hearts Club Band w 1967 roku – doprowadziło do utworzenia pseudonimu „Billy Shears", skróconego następnie do „Shears". Mój tata nazywał go „Scissors". Przypis redaktora: oba określenia oznaczają w języku angielskim „nożyce".

Shears i ja skończylibyśmy obaj 65 lat w odstępie kilku tygodni od siebie. Niestety, kiedy doszło do awarii elektrowni jądrowej w Czarnobylu na Ukrainie w 1986 roku, ten głupiec był w pobliżu (jakie były na to szanse?). Mógł jeszcze na szczęście zatańczyć na moim weselu, kiedy poślubiałem moją żonę Ginę Wspaniałą. Niestety, kilka lat później zmarł na rzadki rodzaj agresywnego guza mózgu. Bardzo za nim tęsknię. W moje urodziny wzniosę za nas obu toast. Może nawet trzy. ■

Clive „Max" Maxfield

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

eprasa.pl 6fff7859d1

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

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.

Jednym z najbardziej zaskakujących zjawisk w elektrotechnice jest fakt, że każdy sygnał okresowy można przedstawić jako sumę idealnych składowych sinusoidalnych i kosinusoidalnych. W niniejszym artykule podejmujemy próbę przystępnego wyjaśnienia tej złożonej teorii Fouriera, bez odwoływania się do aparatu matematycznego.

Co odkrył Fourier?

Jean-Baptiste Joseph Fourier był francuskim matematykiem i fizykiem, urodzonym w 1768 roku. Największą sławę przyniosły mu analiza Fouriera oraz transformata Fouriera, które do dziś noszą jego nazwisko.

Gdy słuchamy dźwięku o określonej częstotliwości – na przykład tonu powstającego podczas drgań struny skrzypiec – łatwo zauważyć, że ten sam dźwięk może brzmieć zupełnie inaczej, jeśli zostanie zagrany na innym instrumencie. Skąd bierze się ta różnica? Okazuje się, że dany ton nie jest tworzony wyłącznie przez drgania struny o częstotliwości podstawowej. O jego barwie decyduje przede wszystkim obecność tak zwanych alikwotów, czyli drgań o częstotliwościach będących całkowitymi wielokrotnościami częstotliwości tonu podstawowego. Drgania te nazywa się harmonicznymi.

Przypis redaktora. W artykule celowo zastosowano uproszczoną notację sygnałów sinusoidalnych i kosinusoidalnych, odbiegającą od ścisłego zapisu matematycznego funkcji czasu. Zabieg ten ma charakter dydaktyczny i wynika z chęci przybliżenia idei szeregów Fouriera w sposób intuicyjny, bez odwoływania się do aparatu matematycznego. W prezentowanej konwencji zapisy typu sin(f) i cos(f) należy rozumieć jako skrótowe oznaczenia składowych o określonej częstotliwości, a nie jako formalne wzory matematyczne.

O tym, jak odbieramy brzmienie danego instrumentu, decydują wzajemne proporcje amplitud składowej podstawowej i poszczególnych harmonicznych. Tę charakterystyczną kombinację można obrazowo porównać do swoistego „profilu DNA" instrumentu.

Fourier wykazał – w sposób matematycznie bardzo złożony – że każdy sygnał okresowy można przedstawić jako sumę sygnałów sinusoidalnych lub kosinusoidalnych o częstotliwości podstawowej oraz wielu harmonicznych. Podobnie jak w przypadku instrumentów muzycznych taka struktura decyduje o barwie dźwięku, tak samo określa ona kształt przebiegu sygnału okresowego. Zbiór tych wzajemnych proporcji między składową podstawową a harmonicznymi nazywamy szeregiem Fouriera danego sygnału.

Fourier to bardzo dużo matematyki

Jeśli – nie mając przygotowania matematycznego – próbowaliście kiedyś znaleźć w Internecie przystępne wyjaśnienie zagadnień związanych z Fourierem, analizą Fouriera lub szeregami Fouriera, to niemal na pewno trafiliście na strony wyglądające mniej więcej tak:

Teoria

Pytanie brzmi, czy istnieje systematyczny sposób przybliżania funkcji okresowej f – przyjmujemy tu okres 2π – za pomocą szeregu trygonometrycznego, to znaczy szeregu postaci:

$$\tilde{f}(x) = a_0 \cdot a_1 \cdot \cos(x) + b_1 \sin(x) + a_2 \cdot \cos(2x) + b_2 \cdot \sin(2x) + \ldots$$

eprasa.pl 6fff7859d1

Współczynniki tego szeregu należy dobrać w taki sposób, aby odległość między funkcją f a szeregiem była możliwie najmniejsza, przy czym odległość ta jest zdefiniowana za pomocą formuły:

$$\left|f-\tilde{f}\right| = \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi}\left(f(x)-\tilde{f}(x)\right)^2 dx}$$

Rozważania można uprościć, zauważając, że norma ta jest indukowana przez iloczyn wewnętrzny:

$$<f,g> = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} f(x)\cdot g(x)dx$$

Względem tak zdefiniowanego iloczynu wewnętrznego funkcje sinus i kosinus – przy czym funkcję stałą traktuje się jako cos(0x) – tworzą układ ortogonalny. Dzięki temu poszukiwany szereg otrzymuje się jako rzut ortogonalny funkcji f na przestrzeń rozpiętą przez poszczególne funkcje sinus i kosinus.

Tak właśnie na Wikipedii omawiane jest pojęcie „szeregu Fouriera". Nie jest to lektura szczególnie zachęcająca – ani do czytania, ani tym bardziej do zrozumienia. Dlatego podejmujemy próbę wyjaśnienia tego ważnego pojęcia z zakresu elektroniki w sposób pozbawiony matematycznych formalizmów. Fakt, że Czytelnik lub Czytelniczka z solidnym przygotowaniem matematycznym mogą miejscami łapać się za głowę, przyjmujemy z góry jako nieunikniony koszt takiego podejścia.

Co to jest sygnał okresowy?

Jest to sygnał, który w czasie powtarza się w sposób ciągły i dokładnie identyczny – każdy kolejny fragment przebiegu jest wierną kopią poprzedniego.

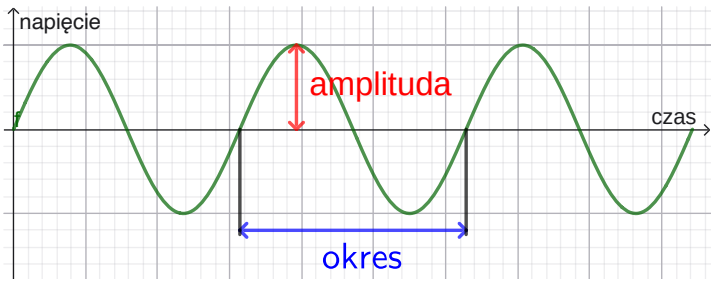
Co to jest napięcie sinusoidalne?

Napięcie sinusoidalne, przedstawione na rysunku poniżej, stanowi najczystszą postać sygnału okresowego. Taki przebieg jest jednoznacznie określony przez dwa parametry: okres oraz amplitudę. Okres to czas trwania jednego pełnego drgania sygnału. Amplituda natomiast jest maksymalną wartością, jaką napięcie osiąga w trakcie jednego okresu.

Na rysunku pokazano trzy kolejne okresy przebiegu. Okres jest wielkością czasową i wyraża się go w sekundach, milisekundach lub mikrosekundach. W praktyce jednak zamiast okresu częściej posługujemy się częstotliwością *f*, która określa liczbę okresów przypadających na jedną sekundę. Jeżeli jeden okres trwa 1 ms, oznacza to, że w ciągu jednej sekundy występuje 1000 okresów, a częstotliwość sygnału wynosi 1000 Hz, czyli 1 kHz.

Amplituda jest wielkością napięciową i wyraża się ją w woltach.

Cechą charakterystyczną napięcia sinusoidalnego jest to, że na początku każdego okresu jego wartość wynosi zero. Następnie napięcie narasta do wartości maksymalnej (amplitudy), po czym maleje, osiągając ponownie wartość zerową dokładnie w połowie okresu. Kolejna część cyklu przebiega analogicznie, lecz dla ujemnych wartości napięcia. Taki przebieg powtarza się cyklicznie w czasie.

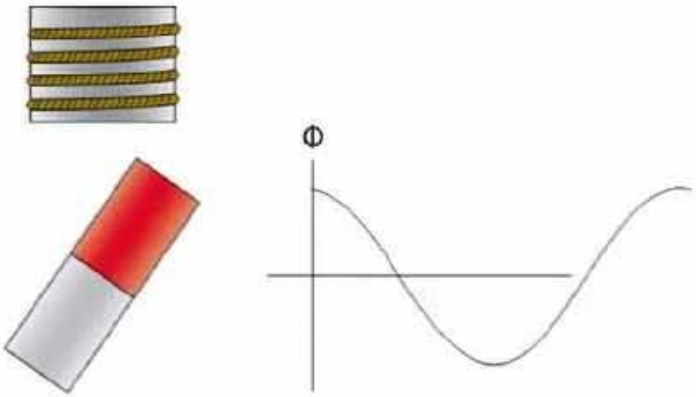


Przedstawienie trzech okresów napięcia sinusoidalnego (rysunek: opracowanie własne na podstawie artykułu J. Verstratena, 2021)

Jak powstaje charakterystyczny kształt napięcia sinusoidalnego?

Na ten temat można by napisać wiele, posługując się aparatem matematycznym, jednak my ograniczymy się do prostej ilustracji w postaci animowanego rysunku poniżej. Jeżeli pod cewką obraca się magnes, to wirujące wraz z nim pole magnetyczne indukuje w tej cewce napięcie. Napięcie to – zgodnie z przewidywaniami – ma przebieg sinusoidalny.

Każdy pełny obrót magnesu powoduje wygenerowanie w cewce jednego pełnego okresu napięcia sinusoidalnego.



Powstawanie napięcia sinusoidalnego (© Ungenergi). Wersja animowana online: http://tiny.cc/wsf002

Co to jest napięcie kosinusoidalne?

Takie napięcie przedstawiono na rysunku poniżej i na pierwszy rzut oka jest ono niemal nie do odróżnienia od napięcia sinusoidalnego. Istnieje jednak jedna zasadnicza różnica. W chwili rozpoczęcia okresu napięcie kosinusoidalne ma wartość maksymalną, równą amplitudzie. Następnie jego wartość maleje do zera, przechodzi w zakres ujemny, ponownie osiąga zero i na końcu okresu wraca do wartości maksymalnej.

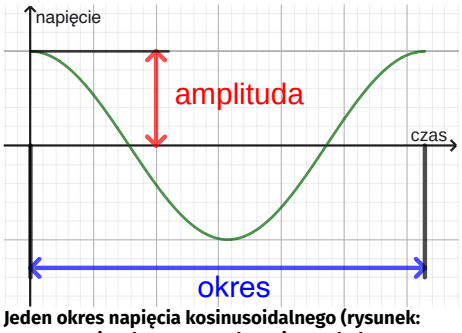
eprasa.pl 6fff7859d1

Oś pozioma w stopniach kątowych

Na poprzednich rysunkach oś pozioma była wyskalowana w jednostkach czasu. Taki zapis pozwala bezpośrednio odczytać z wykresu okres napięcia sinusoidalnego lub kosinusoidalnego, a następnie wyznaczyć częstotliwość sygnału.

Często jednak na osi poziomej spotyka się podziałkę wyrażoną w stopniach (°). W takim przypadku jeden pełny okres sygnału odpowiada 360°. Wynika to bezpośrednio ze sposobu powstawania sinusoidy, zilustrowanego na wcześniejszym rysunku. Pełny obrót magnesu można podzielić na 360 stopni kątowych i każdemu położeniu kątowemu magnesu przypisać odpowiadającą mu wartość napięcia na wykresie.

Na rysunku poniżej przedstawiono na jednym wykresie napięcie sinusoidalne i kosinusoidalne, przy czym oś pozioma jest wyskalowana w stopniach. Widać wyraźnie, że między przebiegami istnieje przesunięcie o 90°. Różnicę tę określa się mianem przesunięcia fazowego lub kąta fazowego.



Jeden okres napięcia kosinusoidalnego (rysunek: opracowanie własne na podstawie artykułu J. Verstratena, 2021)

Sinusoidalne i kosinusoidalne napięcia w postaci wzorów

Z matematycznego punktu widzenia nie stanowi żadnego problemu zapisanie obu napięć w postaci wzorów. Obiecaliśmy jednak w tym artykule, że nie będziemy używać matematyki. Dlatego opracowaliśmy własny sposób przedstawienia dwóch podstawowych postaci napięć w elektrotechnice:

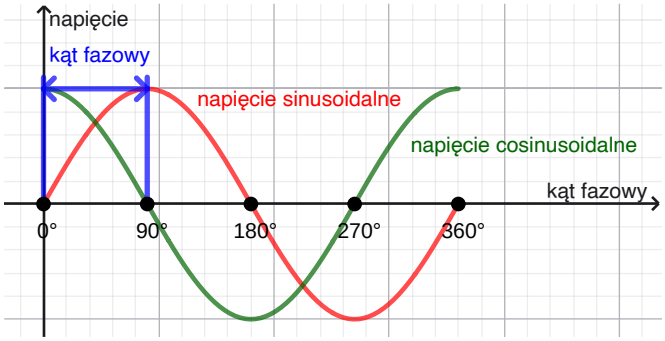
sygnał = amplituda · sin (częstotliwość)

oraz

sygnał = amplituda · cos (częstotliwość)

W takim zapisie zawarte są amplituda, częstotliwość oraz kształt sygnału. Definiuje on więc sygnał w pełni – aby móc go sobie wyobrazić, nie trzeba wiedzieć o nim nic więcej.

Na poniższym rysunku przedstawiono sinus i kosinus o częstotliwościach odpowiednio 1 kHz i 2 kHz oraz amplitudach odpowiednio 1 V i 0,5 V. W naszej notacji sygnały te zapisujemy zatem jako: **sygnał (1) = 1 V · sin (1 kHz)** oraz **sygnał (2) = 0,5 V · cos (2 kHz)**.

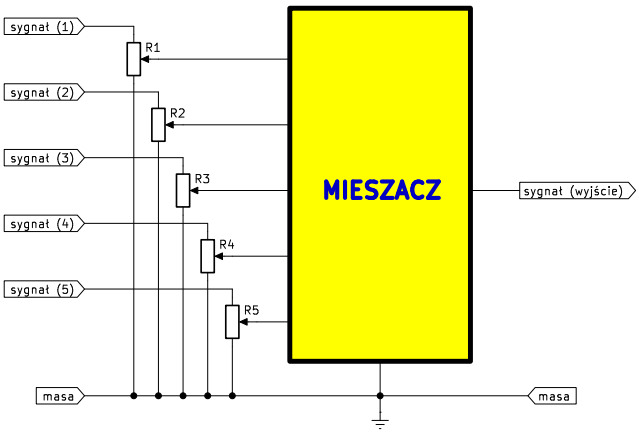


Między sinusoidą a kosinusoidą występuje przesunięcie fazowe o 90° (rysunek: opracowanie własne na podstawie artykułu J. Verstratena, 2021)

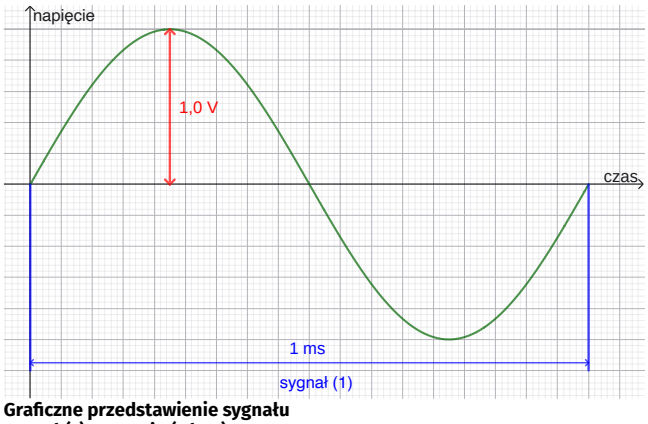
Sumowanie napięć sinusoidalnych i kosinusoidalnych Elektroniczny układ sumujący

Z pewnością potrafisz sobie wyobrazić pokazany poniżej układ. Do kilku jego wejść można doprowadzić zsynchronizowane napięcia sinusoidalne i kosinusoidalne. „Zsynchronizowane" oznacza tutaj, że częstotliwości wszystkich tych sygnałów są dokładnymi wielokrotnościami częstotliwości *sygnału* (1) oraz że wszystkie sygnały rozpoczynają się dokładnie w tym samym momencie w czasie – od zera (sinus) lub od wartości maksymalnej (kosinus).

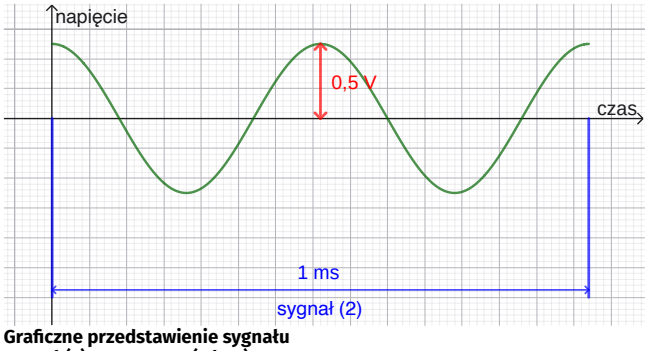
Za pomocą potencjometrów R1…R5 można regulować amplitudy tych sygnałów w zakresie od 0 V do 1 V. Sygnały



Układ umożliwiający sumowanie napięć sinusoidalnych i kosinusoidalnych (rysunek: opracowanie własne na podstawie artykułu J. Verstratena, 2021)



Graficzne przedstawienie sygnału sygnał (1) = 1 V · sin (1 kHz) (rysunek: opracowanie własne na podstawie artykułu J. Verstratena, 2021)



Graficzne przedstawienie sygnału sygnał (2) = 0,5 V · cos (2 kHz) (rysunek: opracowanie własne na podstawie artykułu J. Verstratena, 2021)

eprasa.pl 6fff7859d1

z suwaków trafiają do układu MIESZACZA, w którym są ze sobą sumowane. Na wyjściu tego układu dostępny jest sygnał *sygnał* (*wyjście*).

Przykład

Załóżmy, że do układu doprowadzamy dwa sygnały:

$$\text{sygnał (1)} = 0{,}7\ \text{V} \cdot \sin(1\ \text{kHz})$$

oraz

$$\text{sygnał (2)} = 0{,}3\ \text{V} \cdot \cos(10\ \text{kHz})$$

Z układu sumującego otrzymujemy wówczas sygnał:

$$\text{sygnał (wyjście)} = \text{sygnał (1)} + \text{sygnał (2)}$$

czyli:

$$\text{sygnał (wyjście)} = [0{,}7\ \text{V} \cdot \sin(1\ \text{kHz})] + [0{,}3\ \text{V} \cdot \cos(10\ \text{kHz})]$$

Na poniższym rysunku graficznie przedstawiono sumowanie obu sygnałów – widać na nim od razu, jak wygląda taki sygnał złożony.

Uproszczenia

Można jeszcze nieco uprościć zaproponowaną przez nas „formułę". Częstotliwość 1 kHz można po prostu oznaczyć symbolem f. Wówczas częstotliwość 10 kHz będzie oczywiście opisana symbolem 10f.

„Formuła" sygnału wyjściowego przyjmuje wtedy postać:

$$\text{sygnał (wyjście)} = [0{,}7\ \text{V} \cdot \sin(f)] + [0{,}3\ \text{V} \cdot \cos(10f)]$$

Ponadto napięcie 1 V można zapisać po prostu jako 1,0, a napięcia 0,3 V i 0,7 V odpowiednio jako 0,3 i 0,7. W rezultacie „formuła" zostaje jeszcze bardziej uproszczona do postaci:

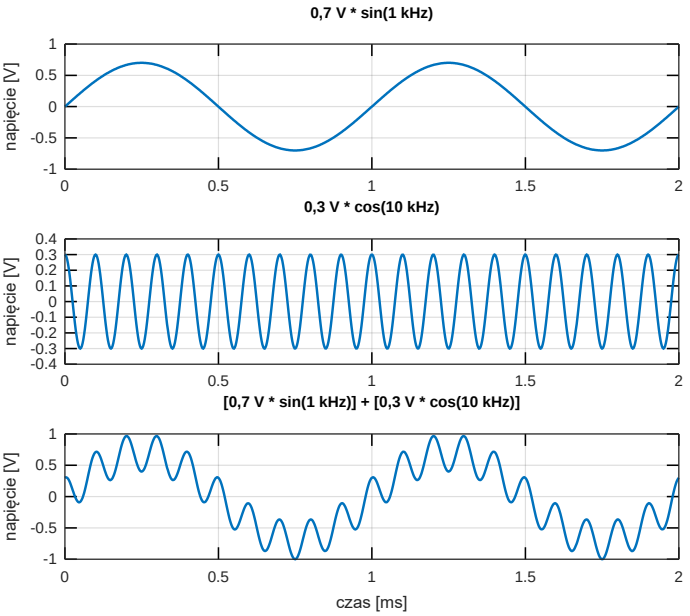
$$\text{sygnał (wyjście)} = [0{,}7 \cdot \sin(f)] + [0{,}3 \cdot \cos(10f)]$$

Pierwszy szereg Fouriera!

Za pomocą tego prostego przykładu zapoznaliśmy Cię z pierwszym szeregiem Fouriera omawianym w tym artykule. Szereg Fouriera:

$$\text{sygnał (wyjście)} = [0{,}7 \cdot \sin(f)] + [0{,}3 \cdot \cos(10f)]$$

w pełni opisuje sygnał wyjściowy z przedstawionego wcześniej przykładu. Do odtworzenia tego sygnału nie są potrzebne żadne dodatkowe informacje.

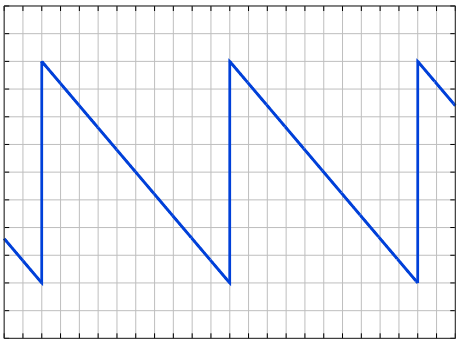


Dodawanie dwóch sygnałów (rysunek: opracowanie własne na podstawie artykułu J. Verstratena, 2021)

Szereg Fouriera napięcia piłokształtnego

Wstęp

Wiesz, jak wygląda napięcie piłokształtne. Trudno uwierzyć, że taki sygnał – przedstawiony na poniższym rysunku – można uzyskać, mieszając ze sobą wyłącznie napięcia sinusoidalne i kosinusoidalne. A jednak jest to możliwe i pokażemy to krok po kroku.



Ten przebieg piłokształtny zbudujemy z wykorzystaniem teorii Fouriera (rysunek: opracowanie własne na podstawie artykułu J. Verstratena, 2021)

Krok 1: sygnał podstawowy

Zaczynamy od składowej podstawowej, czyli sinusa. Załóżmy, że chcemy otrzymać przebieg piłokształtny o częstotliwości 1 kHz. Podstawą naszej syntezy Fouriera jest więc napięcie sinusoidalne o amplitudzie 1 V i częstotliwości 1 kHz. Jak już wiadomo, sygnał ten – będący jednocześnie sygnałem wyjściowym naszego układu sumującego – możemy zapisać w postaci:

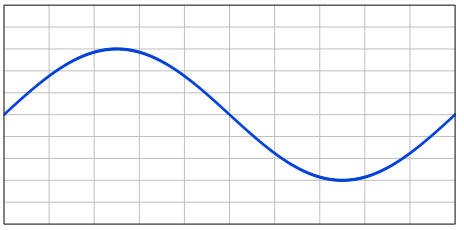
$$\text{sygnał (piła–1)} = 1{,}0 \cdot \sin(f)$$

Krok 2: dodanie drugiej harmonicznej

W istocie jest to pierwsza harmoniczna, jednak ponieważ sygnał ten ma dwukrotnie wyższą częstotliwość niż sygnał podstawowy, nazywa się go drugą harmoniczną. Z teorii matematycznej syntezy Fouriera można obliczyć, że ta druga harmoniczna (2 kHz) powinna mieć amplitudę 0,5 V i przebieg sinusoidalny:

$$\text{sygnał (piła–2)} = 1{,}0 \cdot \sin(f) + 0{,}5 \cdot \sin(2f)$$

Wynik pokazano po lewej stronie na kolejnej ilustracji.



Sygnał podstawowy do tworzenia przebiegu piłokształtnego (rysunek: opracowanie własne na podstawie artykułu J. Verstratena, 2021)

Krok 3: dodanie trzeciej harmonicznej

Fourier wskazuje, że trzecia harmoniczna (3 kHz) jest sinusoidą o amplitudzie 0,333 V:

$$\text{sygnał (piła–3)} = 1{,}0 \cdot \sin(f) + 0{,}5 \cdot \sin(2f) + 0{,}333 \cdot \sin(3f)$$

Wynik przedstawiono w środkowej części kolejnej ilustracji.

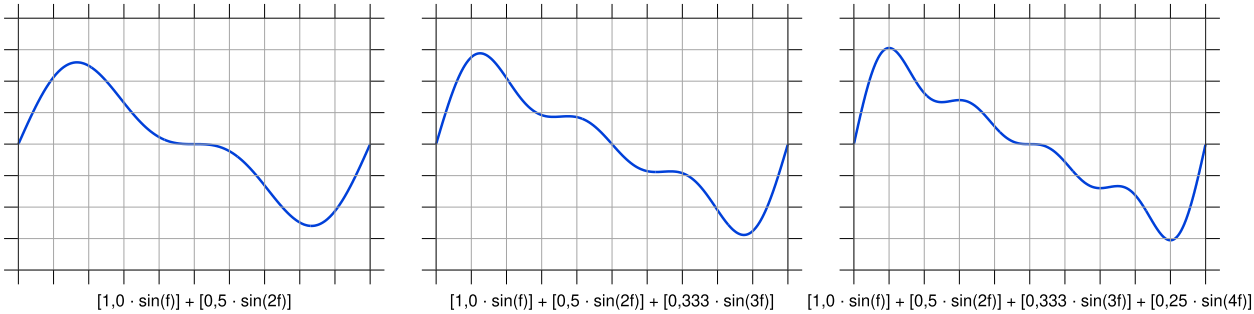
eprasa.pl 6fff7859d1

Krok 4: dodanie czwartej harmonicznej

Można obliczyć, że czwarta harmoniczna (4 kHz) powinna mieć amplitudę 0,25 V i – podobnie jak poprzednie – przebieg sinusoidalny:

$$\text{sygnał (piła–4)} = 1{,}0 \cdot \sin(f) + 0{,}5 \cdot \sin(2f) + 0{,}333 \cdot \sin(3f) + 0{,}25 \cdot \sin(4f)$$

Wynik pokazano po prawej stronie na kolejnej ilustracji.



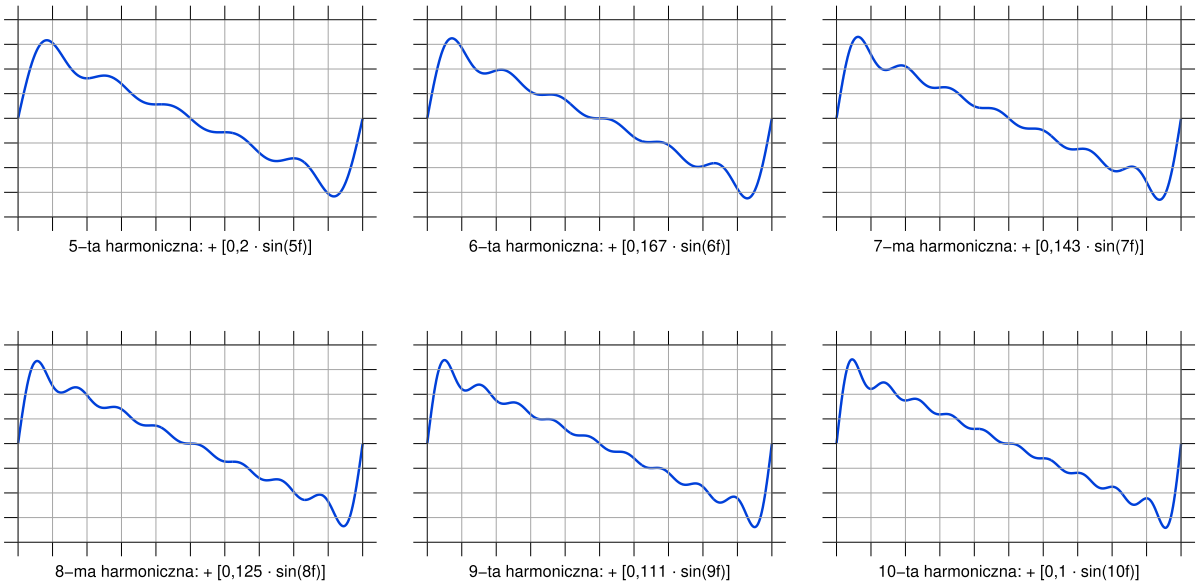
Dodanie pierwszych trzech harmonicznych (rysunek: opracowanie własne na podstawie artykułu J. Verstratena, 2021)

Krok 5: domieszanie wyższych harmonicznych

W ten sam sposób możesz teraz, kręcąc potencjometrami w wirtualnym mikserze, domieszać do sygnału wyjściowego wyższe harmoniczne:

- Piąta harmoniczna: + [0,2 · sin(5f)]
- Szósta harmoniczna: + [0,167 · sin(6f)]
- Siódma harmoniczna: + [0,143 · sin(7f)]
- Ósma harmoniczna: + [0,125 · sin(8f)]
- Dziewiąta harmoniczna: + [0,111 · sin(9f)]
- Dziesiąta harmoniczna: + [0,1 · sin(10f)]

Są to więc harmoniczne będące samymi sinusoidami. Wyniki, krok po kroku, przedstawiono na poniższym rysunku.



Dodawanie harmonicznych wyższego rzędu (rysunek: opracowanie własne na podstawie artykułu J. Verstratena, 2021)

Szereg Fouriera napięcia piłokształtnego

Szereg Fouriera napięcia piłokształtnego, uwzględniający harmoniczne do dziesiątej włącznie, można więc zapisać jako:

$$\text{sygnał (piła-10)} = [1{,}0 \cdot \sin(f)] + [0{,}5 \cdot \sin(2f)] + [0{,}333 \cdot \sin(3f)] + [0{,}25 \cdot \sin(4f)] + [0{,}2 \cdot \sin(5f)] + [0{,}167 \cdot \sin(6f)] + [0{,}143 \cdot \sin(7f)] + [0{,}125 \cdot \sin(8f)] + [0{,}111 \cdot \sin(9f)] + [0{,}1 \cdot \sin(10f)]$$

Wnioski

Na podstawie rysunków oraz naszej „formuły” można wyciągnąć kilka wniosków.

Z oscylogramów wyraźnie wynika, że aby złożony sygnał rzeczywiście przypominał przebieg piłokształtny, potrzeba więcej niż dziesięciu harmonicznych. W większości przypadków przyjmuje się, że do uzyskania dobrze wyglądającej syntezy Fouriera konieczne jest około dwudziestu harmonicznych.

Przebieg piłokształtny składa się wyłącznie z harmonicznych sinusoidalnych.

Z naszej „formuły” wynika również, że udział amplitudowy kolejnych harmonicznych systematycznie maleje.

eprasa.pl 6fff7859d1

Szereg współczynników

Jeżeli dokładnie przyjrzymy się dziesięciu wartościom amplitud (nazywanym „współczynnikami") harmonicznych, zauważymy, że można je zapisać w postaci następującego szeregu:

0,5 = 1/2
0,333 = 1/3
0,25 = 1/4
0,2 = 1/5
0,167 = 1/6
0,143 = 1/7
0,125 = 1/8
0,111 = 1/9
0,1 = 1/10

Na tej podstawie łatwo wywnioskować, jak będą wyglądały współczynniki wyższych harmonicznych: 1/11, 1/12, 1/13 itd.

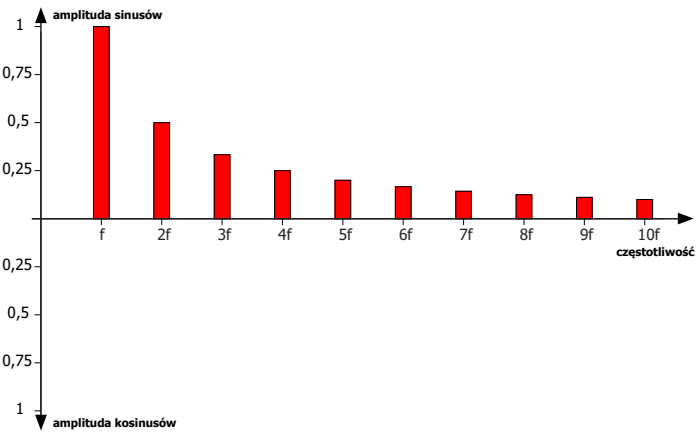
Dziedzina czasu a dziedzina częstotliwości
Dziedzina czasu? To już znasz!

Każdy elektronik obserwuje sygnały na oscyloskopie. Taki oscylogram jest w istocie wykresem, na którym oś pozioma przedstawia czas, a oś pionowa – napięcie. Praca z taką postacią prezentacji sygnału nazywana jest „pracą w dziedzinie czasu". Nazwa ta wynika oczywiście ze sposobu wyskalowania osi poziomej.

Praca w dziedzinie częstotliwości

Dzięki teorii Fouriera sygnał okresowy można jednak przedstawić w zupełnie inny sposób, który również w pełni go opisuje. Na rysunku pokazano wykres z pionową osią napięcia oraz poziomą osią częstotliwości. W pionie znajdują się dwie skale: górna, przeznaczona dla harmonicznych o przebiegu sinusoidalnym, oraz dolna – dla harmonicznych o przebiegu kosinusoidalnym.

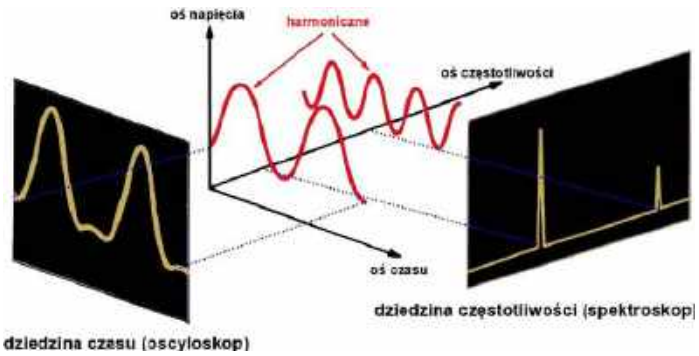
Na takim wykresie nanosi się wszystkie współczynniki częstotliwości podstawowej oraz harmonicznych, przy czym należy pamiętać, że składowe sinusoidalne umieszcza się w górnej części wykresu, a kosinusoidalne – w dolnej. Ponieważ rozpatrywany szereg piłokształtny zawiera wyłącznie harmoniczne sinusoidalne, w tym przykładzie dolna połowa wykresu pozostaje pusta. Pracę z taką postacią prezentacji sygnału nazywa się „pracą w dziedzinie częstotliwości".



Przedstawienie napięcia piłokształtnego w dziedzinie częstotliwości (rysunek: opracowanie własne na podstawie artykułu J. Verstratena, 2021)

Dziedziny czasu i częstotliwości na jednym rysunku

Na podstawie poniższego rysunku, posługując się prostym przykładem, można wyraźnie dostrzec różnice między podejściem polegającym na pracy w dziedzinie czasu a podejściem opartym na pracy w dziedzinie częstotliwości. W dziedzinie czasu sygnały mierzy się za pomocą oscyloskopu, natomiast w dziedzinie częstotliwości – za pomocą spektroskopu.



Różnica między dziedziną czasu a dziedziną częstotliwości (© 2021 Jos Verstraten)

FFT – szybka transformata Fouriera

Niemal wszystkie nowoczesne cyfrowe oscyloskopy mają opcję oznaczoną jako FFT – skrót od *Fast Fourier Transform* (szybka transformata Fouriera). Jest to algorytm programowy, który na podstawie zdyskretyzowanych próbek sygnału wejściowego oscyloskopu oblicza **szereg Fouriera** i wyświetla go na ekranie. Dzięki tej opcji oscyloskop może więc **jednym naciśnięciem przycisku** przejść z **dziedziny czasu** do **dziedziny częstotliwości**.

Nie należy jednak oczekiwać zbyt wiele od tanich przyrządów. Dopiero **naprawdę profesjonalne oscyloskopy**, kosztujące ponad tysiąc euro, potrafią wyświetlić szereg Fouriera w formie rzeczywiście użytecznej analitycznie. Dla ilustracji na poniższym rysunku pokazano obraz ekranu po włączeniu opcji **FFT** w naszym oscyloskopie klasy średniej **XDS2102A** firmy OWON. Żółty przebieg przedstawia sygnał w **dziedzinie czasu**, natomiast fioletowy – jego obraz w **dziedzinie częstotliwości** dla okresowego, wąskiego impulsu.

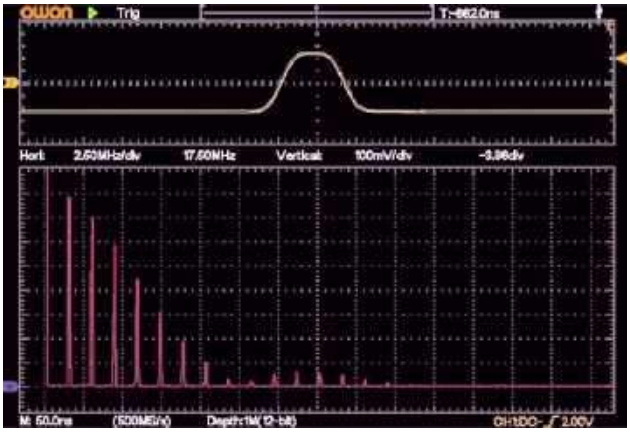
eprasa.pl 6fff7859d1

Szereg Fouriera przebiegu prostokątnego Współczynniki harmonicznych

Można obliczyć, że szereg Fouriera przebiegu prostokątnego składa się z następujących składników:

- pierwsza harmoniczna: [1,0 · sin(f)]
- trzecia harmoniczna: [0,333 · sin(3f)]
- piąta harmoniczna: [0,2 · sin(5f)]
- siódma harmoniczna: [0,143 · sin(7f)]
- dziewiąta harmoniczna: [0,111 · sin(9f)]
- jedenasta harmoniczna: [0,091 · sin(11f)]

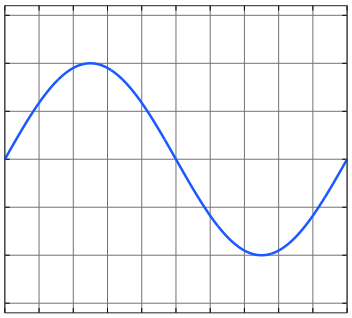
W przypadku tego kształtu sygnału istotną rolę odgrywają wyłącznie harmoniczne nieparzyste. Zwróć również uwagę na to, że współczynniki tych harmonicznych są dokładnie takie same jak w przypadku omawianego wcześniej przebiegu piłokształtnego. Zadziwiające!



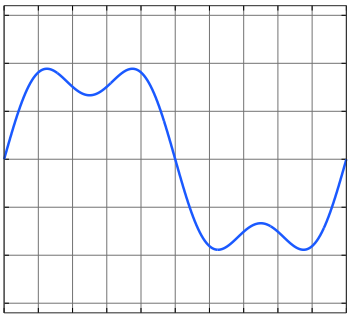
Szereg Fouriera wąskiego impulsu widocznego na ekranie oscyloskopu (© 2021 Jos Verstraten)

Dziedzina czasu przebiegu prostokątnego

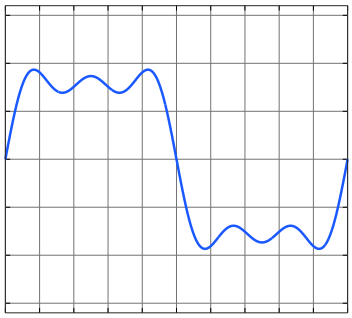
Na poniższym rysunku ponownie podawaliśmy do naszego wyobrażonego mieszacza sinusoidy o odpowiednich amplitudach i częstotliwościach, dodając je jedna po drugiej, a za każdym razem obserwowaliśmy wynik na ekranie oscyloskopu.



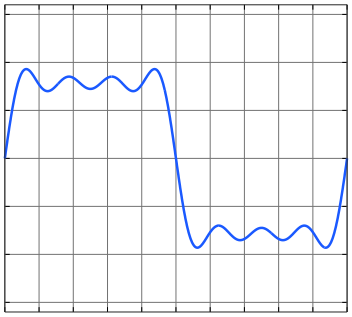
fala podstawowa: [1,0 · sin(f)]



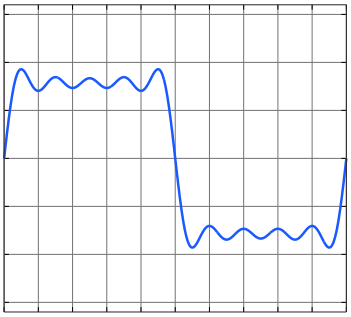
3–cia harmoniczna: + [0,333 · sin(3f)]



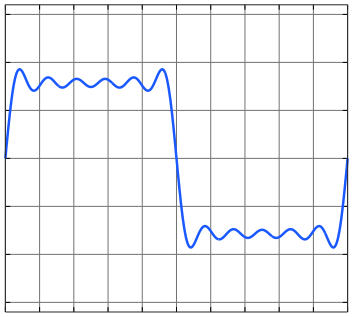
5–ta harmoniczna: + [0,2 · sin(5f)]



7–ma harmoniczna: + [0,143 · sin(7f)]



9–ta harmoniczna: + [0,111 · sin(9f)]



11–ta harmoniczna: + [0,091 · sin(11f)]

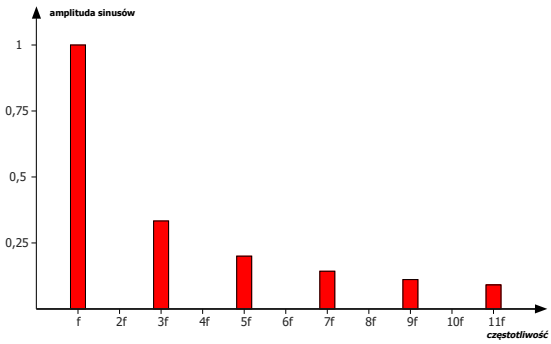
Ewolucja sinusa w przebieg prostokątny (rysunek: opracowanie własne na podstawie artykułu J. Verstratena, 2021)

Dziedzina częstotliwości przebiegu prostokątnego

Wykres w dziedzinie częstotliwości można wyprowadzić z wykresu dla przebiegu piłokształtnego, usuwając harmoniczne parzyste.

Szereg Fouriera okresowego wąskiego impulsu Wprowadzenie

Na poniższym rysunku widać impuls o współczynniku wypełnienia 10%. Oznacza to, że przez 10% okresu napięcie jest w stanie wysokim, a przez pozostałe 90% okresu ma stan niski. Czy taki okresowy impuls da się również zbudować z sinusów i kosinusów? Spróbujmy!



Przedstawienie napięcia prostokątnego w dziedzinie częstotliwości (rysunek: opracowanie własne na podstawie artykułu J. Verstratena, 2021)

eprasa.pl 6fff7859d1

Współczynniki harmonicznych

Można obliczyć, że szereg Fouriera takiego wąskiego impulsu okresowego składa się z następujących składników:

- **pierwsza harmoniczna:** [1,0 · sin(f)]
- **druga harmoniczna:** [0,9 · cos(2f)]
- **trzecia harmoniczna:** [0,8 · sin(3f)]
- **czwarta harmoniczna:** [0,7 · cos(4f)]
- **piąta harmoniczna:** [0,6 · sin(5f)]
- **szósta harmoniczna:** [0,5 · cos(6f)]
- **siódma harmoniczna:** [0,4 · sin(7f)]
- **ósma harmoniczna:** [0,3 · cos(8f)]
- **dziewiąta harmoniczna:** [0,2 · sin(9f)]
- **dziesiąta harmoniczna:** [0,1 · cos(10f)]

Zależność arytmetyczna pomiędzy współczynnikami – jeśli chwilę się nad nią zastanowić – jest naprawdę zaskakująca. Zwróćmy uwagę, że w tym szeregu Fouriera występują również sygnały kosinusowe.

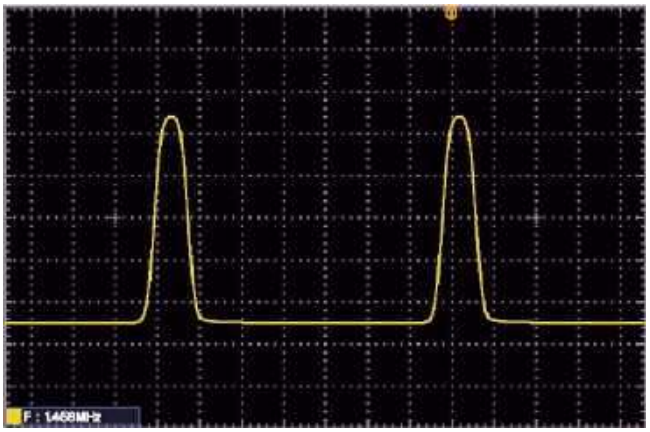
Dziedzina czasu okresowego wąskiego impulsu

Na poniższym rysunku ponownie „podajemy" do naszego wyobrażonego mieszacza sinusy i kosinusy o odpowiedniej amplitudzie oraz częstotliwości, jeden po drugim, i za każdym razem obserwujemy wynik na oscyloskopie.

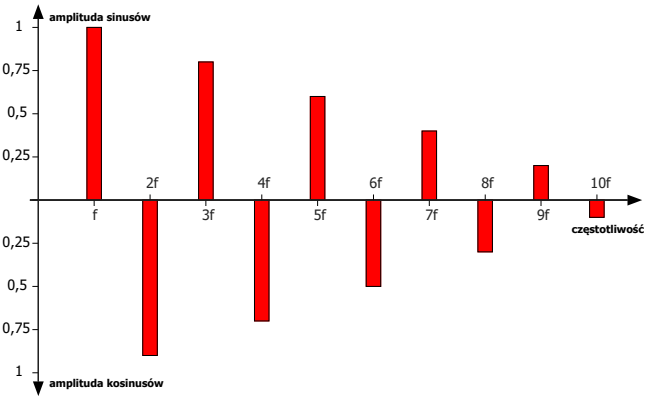
Dziedzina częstotliwości okresowego wąskiego impulsu

Na powyższym wykresie pokazano, w jaki sposób taki wąski impuls okresowy jest przedstawiany w dziedzinie częstotliwości. ■

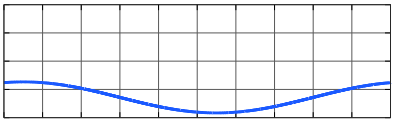
Jos Verstraten



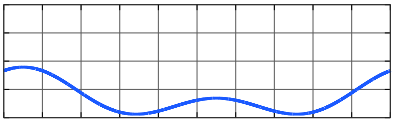
Okresowy impuls o współczynniku wypełnienia 10% jest ostatnim przykładem, który omawiamy (© 2021 Jos Verstraten)



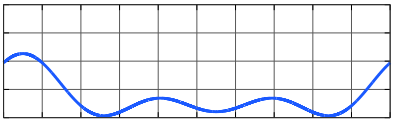
Przedstawienie wąskiego impulsu okresowego w dziedzinie częstotliwości (rysunek: opracowanie własne na podstawie artykułu J. Verstratena, 2021)



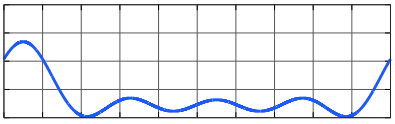
składowa podstawowa: [1,0 · sin(f)]



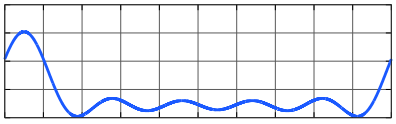
2–ga harmoniczna: + [0,9 · cos(2f)]



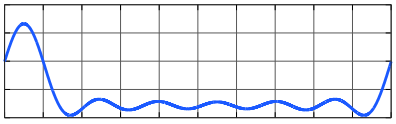
3–cia harmoniczna: + [0,8 · sin(3f)]



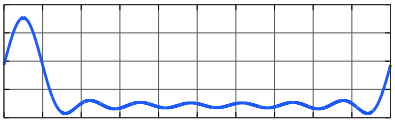
4–ta harmoniczna: + [0,7 · cos(4f)]



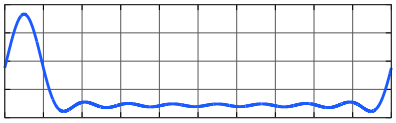
5–ta harmoniczna: + [0,6 · sin(5f)]



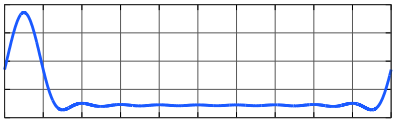
6–ta harmoniczna: + [0,5 · cos(6f)]



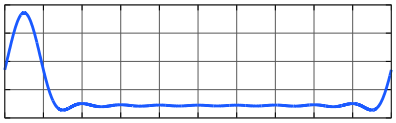
7–ma harmoniczna: + [0,4 · sin(7f)]



8–ma harmoniczna: + [0,3 · cos(8f)]



9–ta harmoniczna: + [0,2 · sin(9f)]



10–ta harmoniczna: + [0,1 · cos(10f)]

Ewolucja sinusoidy w okresowy wąski impuls (rysunek: opracowanie własne na podstawie artykułu J. Verstratena, 2021)

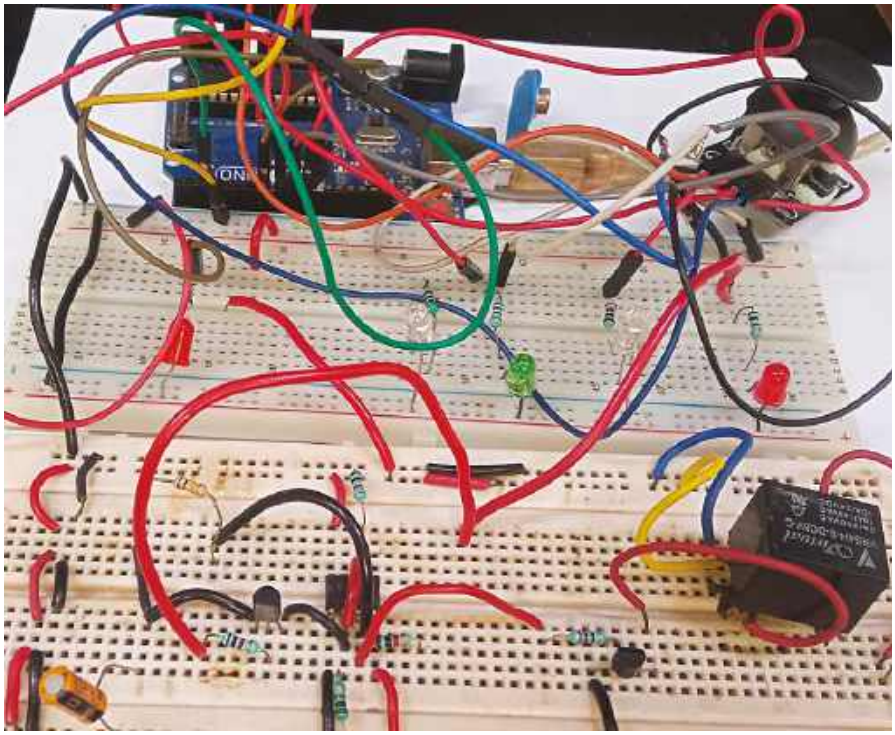
eprasa.pl 6fff7859d1

Sterowanie domowych urządzeń joystickiem dla osób niepełnosprawnych

Elektronika przychodzi z pomocą osobom z niepełnosprawnościami. Opisywany tu system, składający się z płytki Arduino Uno i joysticka, daje niepełnosprawnym bez rąk możliwość sterowania pięcioma różnymi urządzeniami. Układ pozwoli obsługiwać różne domowe urządzenia i systemy. Użytkownik porusza joystick łokciem, podbródkiem, stopą czy inną częścią ciała. Joystick wysyła sygnały do Arduino, które załącza lub wyłącza sterowane urządzenia.

System pozwala na zmianę parametrów sterowania, dzięki czemu można go dostosować do konkretnych potrzeb i preferencji użytkownika. Zapewni kontrolę nad najważniejszymi urządzeniami w domu. Można go rozszerzyć, sterując nim szeroką gamą inteligentnych urządzeń domowych, co uczyni z niego centrum sterowania dla wielu aplikacji.

Prototyp układu z joystickiem pokazano na **rysunku 1**.



Rysunek 1. Prototyp Autora na płytkach stykowych

Układ i działanie

Rysunek 2 przedstawia schemat systemu umożliwiającego sterowanie przez osoby niepełnosprawne pięciu urządzeń. Układ składa się z transformatora sieciowego 230 V na 9 V/500 mA (X1), mostka prostowniczego (BR1), płytki Arduino Uno (Board1), modułu joysticka (podłączonego przez CON6), stabilizatora napięcia 5 V LM7805 (IC1), pięciu układów czasowych (timerów) LM555 (IC2...IC6), pięciu tranzystorów BC547 (T3...T7), pięciu tranzystorów 2N2219 (T1, T2, T8...T10), pięciu przekaźników SPDT 5 V (RL1...RL5) i kilku innych elementów. Sterowaniu podlega pięć urządzeń, przystosowanych do zasilania z sieci 230V (APPL.1...APPL.5).

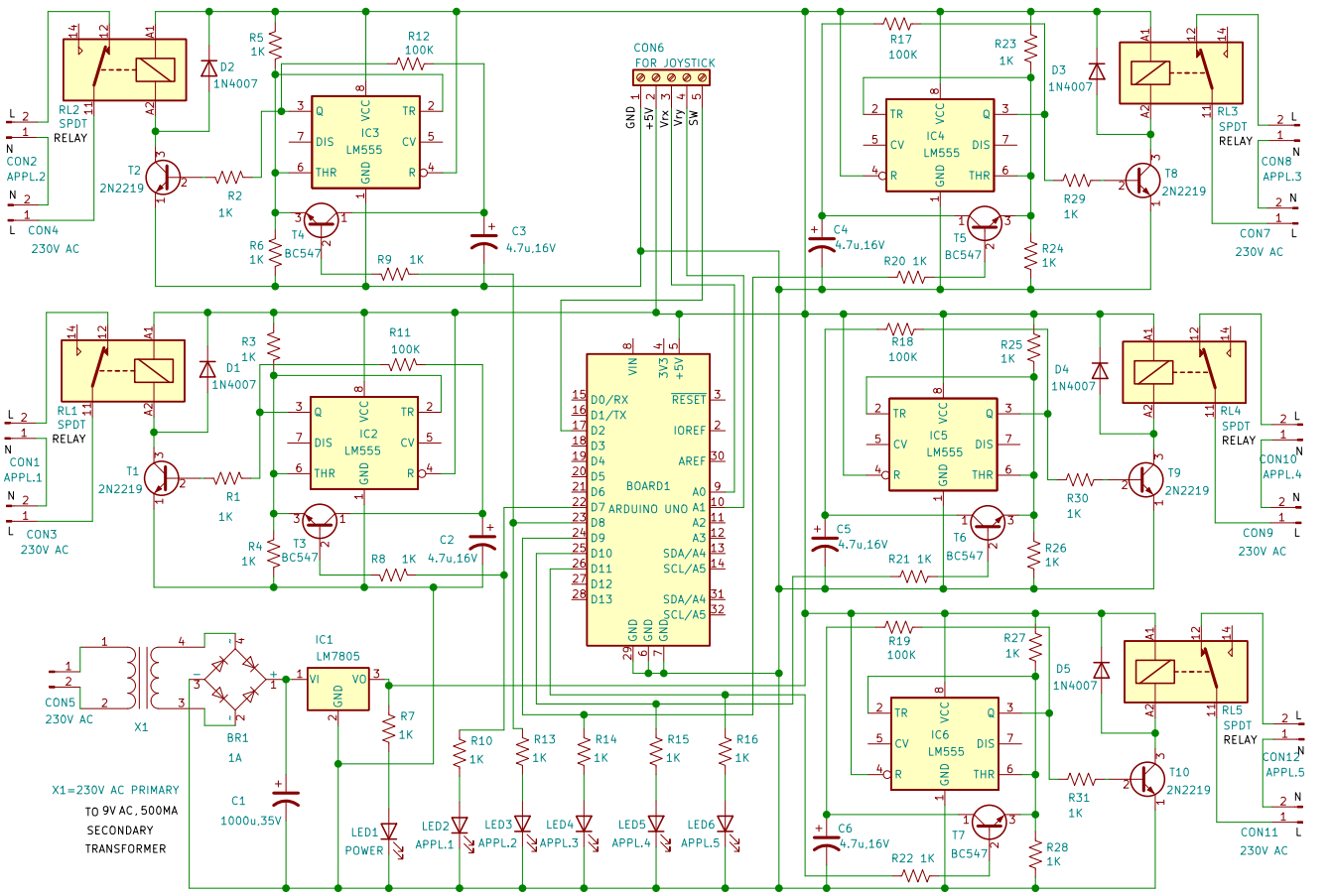
Joystick jest zasadniczo kombinacją dwóch potencjometrów, obracających się w płaszczyznach X i Y. Napięcia z obu potencjometrów, zmieniające się zgodnie z ruchem wałka joysticka, są mierzone przez Arduino. Ruch joysticka powoduje zapalanie czterech diod LED (LED3...LED6), wskazujących kierunek ruchu wałka. Joystick zawiera przycisk, który aktywuje piątą diodę (LED2). Jeszcze jedna dioda (LED1) sygnalizuje załączone zasilanie systemu.

Joysticki są dostępne w różnych kształtach i rozmiarach, a typ użyty w tym projekcie jest pokazany na **rysunku 3**. Większość joysticków ma wyjścia analogowe. Składowe wychylenia wałka w osi X i Y są reprezentowane przez stany odpowiednich potencjometrów. Gdy joystick jest przesuwany, napięcie z każdego potencjometru zmienia się w zależności od kierunku przesunięcia. Dwa wejścia przetwornika ADC pozwalają mierzyć napięcia potencjometrów i wykrywać jeden z czterech kierunków ruchu joysticka.

Joystick zastosowany tutaj również ma dwa potencjometry. Są one zasilane napięciem 5 V z Arduino. Gdy ruszamy joystickiem, zmienia się wartość napięcia z potencjometrów, a tym samym wartość analogowa na stykach A0 i A1. Arduino odczytuje te wartości i odpowiednio załącza diody LED3...LED6. Przycisk joysticka steruje diodą LED2.

Jest pięć jednakowych bloków przełączających, zbudowanych na LM555 (IC2...IC6). Przyjrzyjmy się jak działa układ IC2, który steruje przekaźnikiem RL1. Piny 2 i 6 – wejście progowe i wyzwalające – są utrzymywane na poziomie równym połowie napięcia zasilania przez dwa rezystory 1 kΩ (R3 i R4). Kondensator C2 ładuje się przez rezystor 100 kΩ (R11), gdy wyjście LM555 (pin 3) jest w stanie wysokim, i rozładowuje się, gdy wyjście to jest w stanie niskim. Po wykryciu przesunięcia joysticka, napięcie z kondensatora C2

eprasa.pl 6fff7859d1



Rysunek 2. Schemat układu

jest podawane na piny 2 i 6 przez tranzystor T3, powodując cykliczną zmianę stanu wyjścia na przeciwny. Po zwolnieniu joysticka aktualny stan wyjścia LM555 jest utrzymywany na stałe, a kondensator jest stale ładowany lub rozładowywany, zależnie od tego stanu.

Działanie układu jest proste. Po doprowadzeniu napięcia sieci do złącza CON5 system załącza się, a dioda LED1 świeci. Aby uruchomić pierwsze urządzenie zewnętrzne (APPL.1), należy pchnąć joystick. Po ponownym pchnięciu joysticka, APPL.1 wyłączy się, a dioda LED2 zacznie krótko migać. Aby uruchomić drugie urządzenie (APPL.2), przesuwamy joystick w lewo. Ponowne przesunięcie joysticka w lewo wyłączy APPL.2, a migać zacznie dioda LED3. Ten sam mechanizm dotyczy urządzenia trzeciego, czwartego i piątego, sterowanych ruchami joysticka

Wykaz elementów:

Półprzewodniki:
IC1: stabilizator 5 V LM7805
IC2...IC6: układ czasowy LM555
T1, T2, T8...T10: tranzystor NPN 2N2219
T3...T7: tranzystor NPN BC547
BR1: mostek prostowniczy 1 A
D1...D6: dioda prostownicza 1N4007
LED1...LED6: dioda LED 5 mm

Rezystory: (wszystkie 1/4W, ±5%, węglowe)
R1...R10, R13...R16, R20...R31: 1 kΩ
R11, R12, R17...R19: 100 kΩ

Kondensatory:
C1: 1000 µF/35 V, elektrolityczny
C2...C6: 4,7 µF/16 V, elektrolityczny

Pozostałe:
CON1...CON5, CON7...CON12: złącza 2-pinowe na 230 V napięcia zmiennego
CON6: złącze 5-pinowe
BOARD1: Arduino Uno
RL1...RL5: przekaźnik SPDT, cewka na 5 V
APPL.1...APPL.5: sterowane urządzenia, zasilane z sieci 230 V
X1: transformator sieciowy, 230 V na 9 V/500 mA
moduł joysticka

Rysunek 3. Joystick

Joycon | Arduino 1.8.19

File Edit Sketch Tools Help

Joycon

```
#define joyX A0
#define joyY A1
int button=2;
int buttonState = 0;
int buttonState1 = 0;
void setup()
{
pinMode(7,OUTPUT);
pinMode(8,OUTPUT);
pinMode(9,OUTPUT);
pinMode(10,OUTPUT);
pinMode(11,OUTPUT);
pinMode(button,INPUT);
digitalWrite(button, HIGH);
Serial.begin(9600);
}
void loop() {
int xValue = analogRead(joyX);
int yValue = analogRead(joyY);
Serial.print(xValue);
Serial.print("\t");
Serial.println(yValue);
Serial.print("\t");
buttonState = digitalRead(button);
```

Rysunek 4. Kod źródłowy

eprasa.pl 6fff7859d1

w innych kierunkach. Każdy kierunek jest powiązany z odpowiednią diodą LED.

Oprogramowanie

Kod źródłowy powstał na platformie Arduino IDE w wersji 1.8.5. Przed wgraniem szkicu do płytki Arduino Uno należy upewnić się, że wybrano właściwy typ płytki oraz port. Następnie należy wgrać do płytki plik szkicu Joycon.ino. **Rysunek 4** przedstawia zrzut ekranu z kodem źródłowym.

Budowa i testowanie

Po wgraniu programu do Arduino i podłączeniu elementów zgodnie ze schematem daje się joystickiem sterować LEDami. Można uruchomić chwilowe miganie pięciu LEDów zgodnie z kierunkiem ruchu wałka joysticka. Projekt jednostronnej płytki drukowanej w skali 1:1 pokazano na **rysunku 5**, a rozmieszczenie elementów – na **rysunku 6**.

Montujemy układ na płytce drukowanej i umieszczamy go w obudowie. Wszystkie złącza (CON1...CON6) powinny być z tyłu obudowy, a diody LED1...LED6 – z przodu. LED1 sygnalizuje zasilanie, a LED2 wskazuje na sterowanie urządzeniem pierwszym (APPL.1). LED3...LED6 odpowiadają urządzeniom APPL.2...APPL.5. Podłączamy przewodami moduł joysticka do złącza CON6. Doprowadzamy napięcie sieci do złącza CON5.

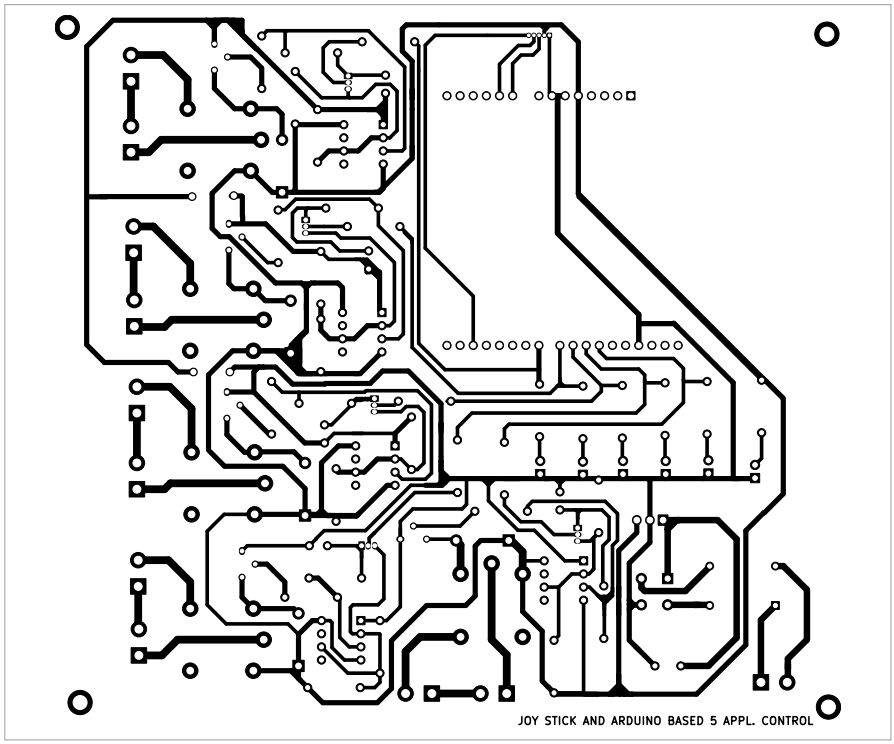
Po ukończeniu montażu włączamy zasilanie. Dioda LED1 powinna się zapalić. Dioda LED2 powinna migać po każdym naciśnięciu przycisku joysticka. Wykonujemy ruchy joystickiem w różnych kierunkach – w lewo, w prawo, w górę i w dół – i sprawdzamy, czy migają pozostałe diody LED. Jeśli wszystkie reagują na ruchy joysticka prawidłowo, to znaczy, że większość układu działa zgodnie z oczekiwaniami. Podłączamy następnie do odpowiednich przekaźników urządzenia zewnętrzne oraz napięcie sieci i sprawdzamy ich sterowanie.

Suresh Dwivedi

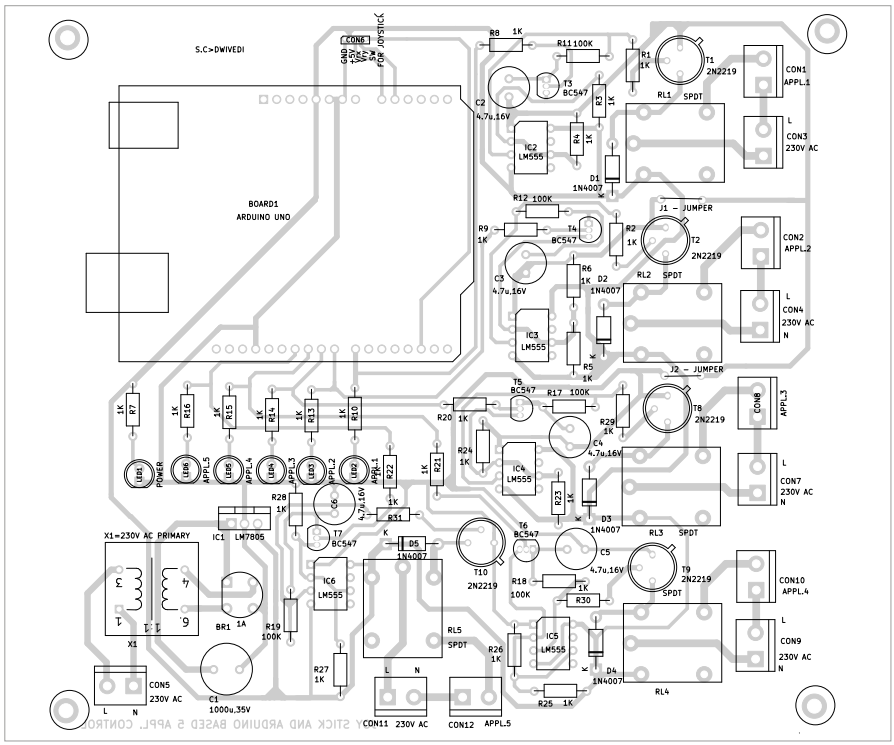
Materiał filmowy do artykułu:
https://youtu.be/YJRihlAqelA

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

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



Rysunek 5. Projekt płytki drukowanej



Rysunek 6. Układ elementów na płytce

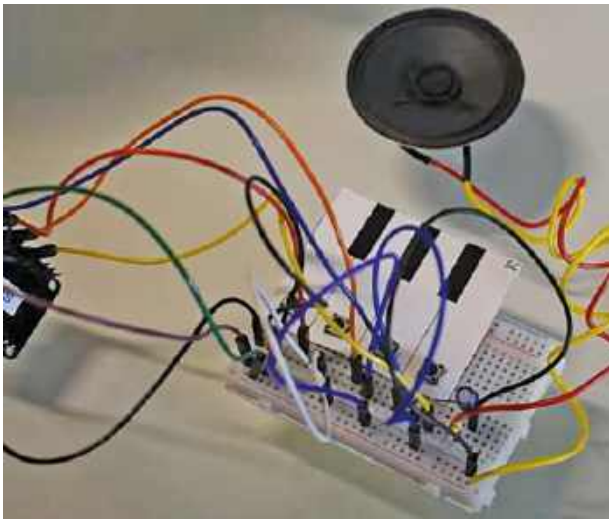
Od Redakcji EdW: uważamy, że warto rozwinąć ten temat. Może ktoś z Czytelników zaproponuje np. układ, którym osoba niepełnosprawna bez rąk będzie mogła zastąpić pilota zdalnego sterowania? Czekamy na propozycje!

eprasa.pl 6fff7859d1

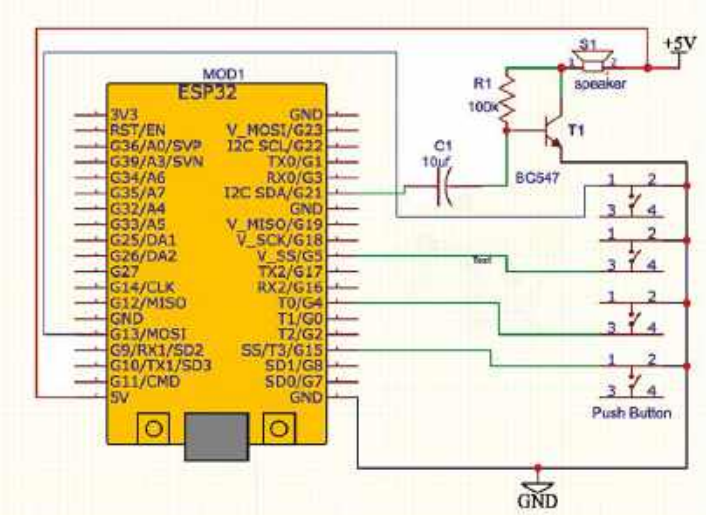
Elektroniczne pianino cyfrowe

Dźwięki pianina i wielu innych instrumentów muzycznych zostały przetworzone i zapisane w postaci cyfrowej. Można teraz replikować te instrumenty za pomocą układów elektronicznych. Opisywany układ przekształca tradycyjne pianina lub inne instrumenty na postać cyfrową przy użyciu komponentów elektronicznych. Kod źródłowy może być modyfikowany w celu stworzenia różnych instrumentów cyfrowych, takich jak bębny lub flety. Odbywa się to poprzez modyfikację dźwięku wyjściowego, jego barwy i częstotliwości.

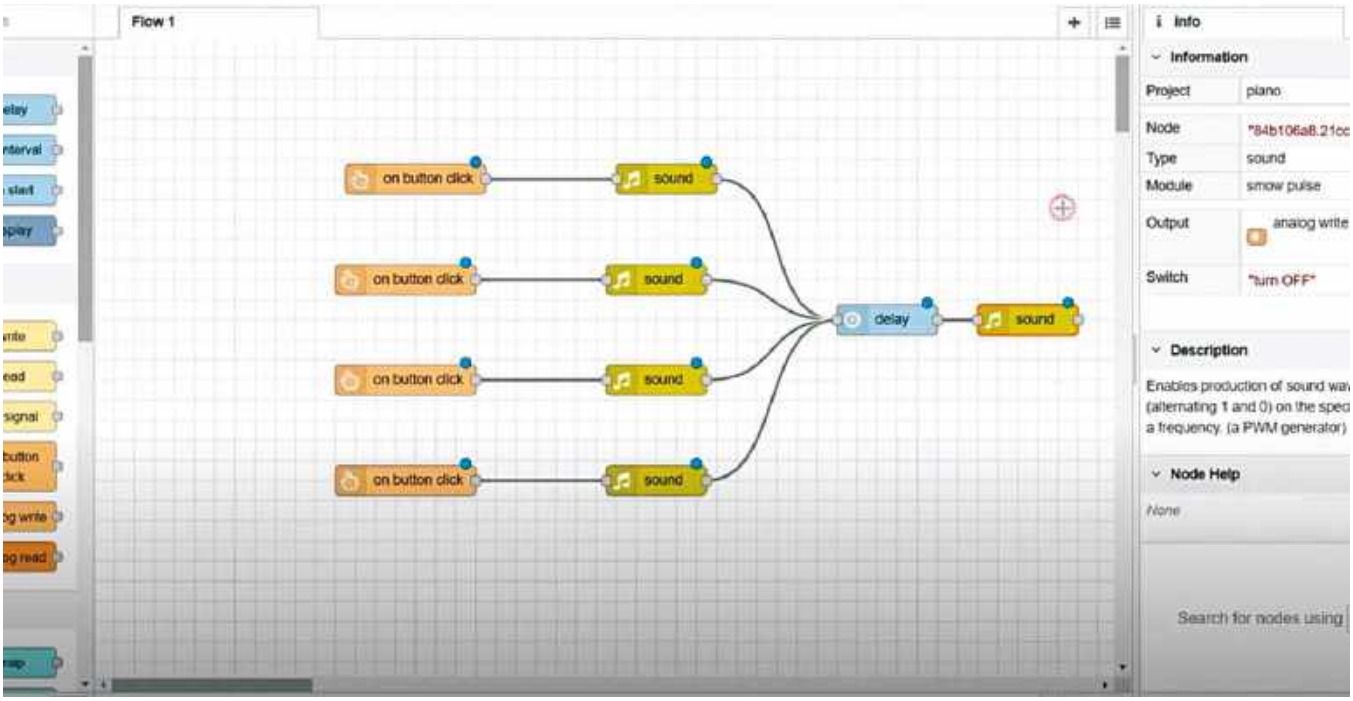
W tym urządzeniu płytka ESP32 służy do przetwarzania dźwięków zaś tranzystor typu BC547 pełni rolę prostego wzmacniacza wyjściowego. Kod można utworzyć samemu lub modyfikować w dowolnym IDE, takim jak Arduino IDE, ESP IDF, lub skorzystać z pakietów MicroPython lub SmowCode. Ten ostatni znacznie przyspiesza proces kodowania. Na **rysunku 1** przedstawiony jest prototyp autora wykonany na płytce stykowej. Wymagane komponenty są wymienione w zestawieniu materiałów.



Rysunek 1. Autorski prototyp na płytce stykowej



Rysunek 2. Schemat układu



Rysunek 3. Tworzenie kodu metodą graficzną przy użyciu IDE SmowCode

eprasa.pl 6fff7859d1

Opis układu i jego działanie

Na **rysunku 2** przedstawiony jest schemat układu pianina elektronicznego, zbudowanego w oparciu o płytkę ESP32, tranzystor BC547, głośnik i inne komponenty.

Do okablowania użyta jest stykowa płytka prototypowa. Rezystor o wartości 100 kiloomów jest włączony między bazę a kolektor tranzystora T1. Przewód ujemny kondensatora C1 łączy się z bazą tranzystora T1, a przewód dodatni z pinem G21 płytki ESP32 (MOD1). Głośnik jest włączony między kolektor tranzystora T1 a pin 5 V modułu ESP32.

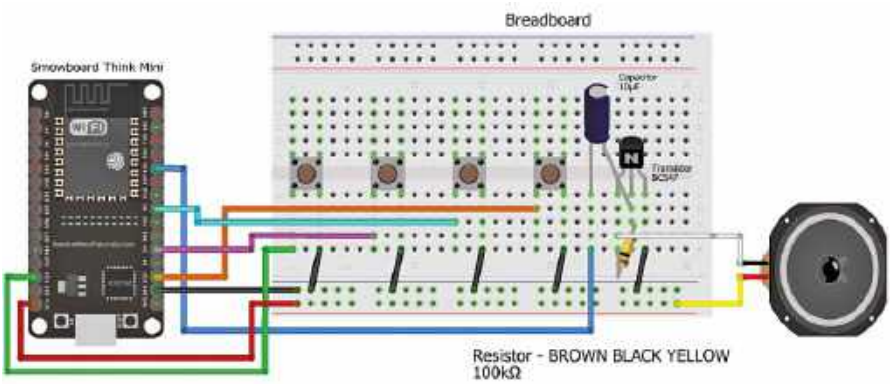
W układzie są zastosowane cztery przyciski połączone z jednej strony do masy, a z drugiej do pinów G13, G4, G5 i G15 płytki ESP32. Procesor mieszczący się na płytce ESP32 wytwarza różne dźwięki w zależności od tego, które z przycisków są wciśnięte.

Montaż i testowanie urządzenia

Gotowe oprogramowanie układowe w można pobrać ze strony internetowej projektu i wgrać na płytkę ESP32, wybierając przedtem odpowiedni port COM i typ płytki. Oprogramowanie można też modyfikować, na przykład przez łączenie węzłów w aplikacji graficznej SmowCode IDE. Po odpowiednim ustawieniu bloków (**rysunek 3**), zmodyfikowany kod należy wgrać na płytkę.

Po wgraniu kodu na płytkę ESP32 należy zmontować układ zgodnie ze schematem połączeń, pokazanym na **rysunku 4**. Po włączeniu zasilania można przystąpić do testowania urządzenia. Wciskanie przycisków spowoduje odtwarzanie różnych dźwięków, które można dowolnie modyfikować.

Faiza Shaikh



Rysunek 4. Schemat połączeń na płytce prototypowej

Wykaz elementów:
Płytka ESP32: 1 szt.
Głośnik: 1 szt.
Kondensator 10 µF: 1 szt.
Rezystor 100 kΩ: 1 szt.
Tranzystor BC547: 1 szt.
Przyciski: 4 szt.

Materiał filmowy do artykułu: https://youtu.be/MHoL0NVrsVo

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

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

REKLAMA

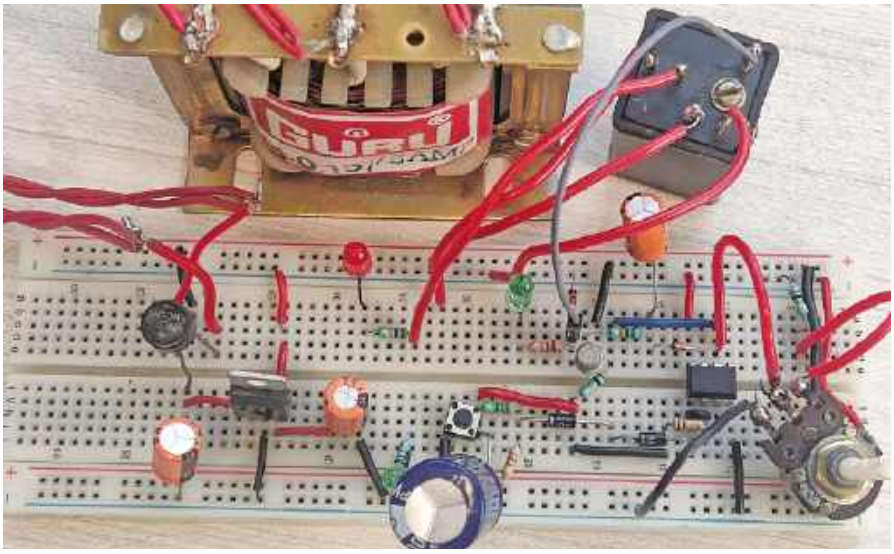
eprasa.pl 6fff7859d1

Prosty timer długich czasów

Wyobraź sobie, że wracasz do domu wieczorem po całodniowej nieobecności, a w kuchence czeka na Ciebie świeżo ugotowany, ciepły ryż. Albo że wychodząc z domu, zostawiłeś włączoną ładowarkę, aby po powrocie mieć w pełni naładowany telefon lub inne urządzenie. Równocześnie nie musisz się martwić, o której godzinie wrócisz, mając pewność, że gniazdko zasilające wyłączy się po z góry określonym czasie. Urządzenie zdąży się naładować, nie grozi mu przeładowanie akumulatora, a względy bezpieczeństwa związane z pozostawieniem ładowarki pod napięciem nie będą powodem Twojego niepokoju, jeśli czas nieobecności się przedłuży.

Taki komfort zapewni prosty timer, który jest tematem bieżącego projektu. Prostota proponowanego układu pozwoli Ci wykonać go samodzielnie w domu, a oferowane czasy działania sprawiają, że nadaje się on do opisanych wyżej zastosowań. Timer pozwala na włączenie lub wyłączenie praktycznie dowolnego urządzenia elektrycznego po z góry zaprogramowanym czasie. Nasz projekt to układ w pełni analogowy – nie potrzebujesz mikrokontrolera ani żadnych innych scalonych układów cyfrowych. Równocześnie uzyskiwane czasy są naprawdę imponujące, jak na tak proste rozwiązanie.

Jeśli zajdzie potrzeba kontrolowania urządzenia o dużej mocy, np. kuchenki elektrycznej, wystarczy zastosować przekaźnik o odpowiedniej obciążalności styków oraz przewody o właściwym przekroju po stronie wykonawczej timera. W laboratorium EFY (Electronics For You) przetestowano prototyp zmontowany na uniwersalnej płytce stykowej, którego zdjęcie pokazano na **rysunku 1**.



Rysunek 1. Prototyp timera na płytce uniwersalnej

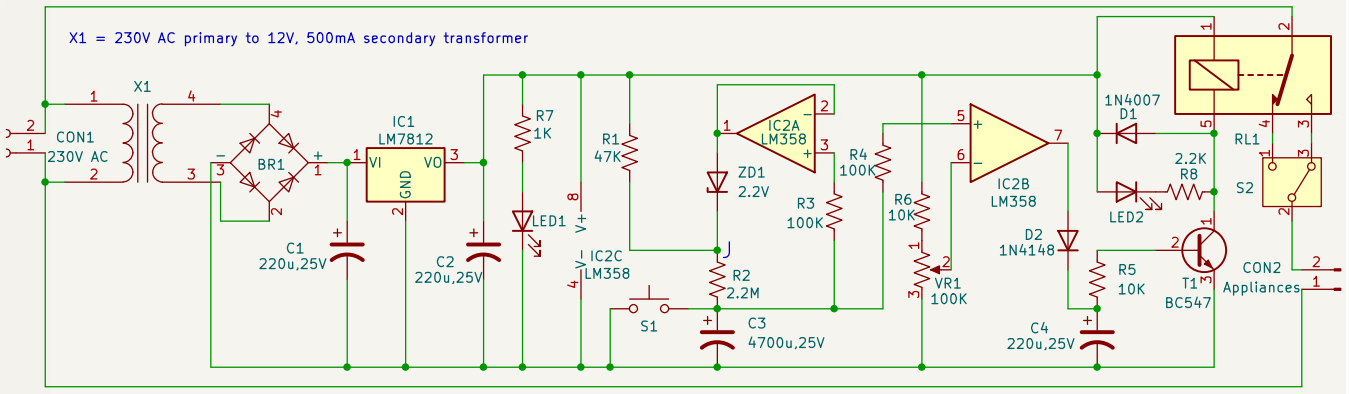
Budowa układu i jego działanie

Schemat ideowy układu timera pokazano na **rysunku 2**.

Dla naszego układu wykorzystano: transformator sieciowy X1, mostek prostowniczy BR1, scalony stabilizator napięcia 12 V typu LM7812 (IC1), podwójny wzmacniacz operacyjny LM358 (IC2), tranzystor BC547 (T1), przekaźnik ze stykami SPDT z cewką na 12 V, jedną diodę typu 1N4007 (D1), diodę sygnałową 1N4148 (D2), dwie diody LED (LED1 i LED2) oraz kilka tanich rezystorów i kondensatorów.

Kluczowym elementem timera jest wzmacniacz operacyjny LM358. Wykorzystano w nim obydwa wzmacniacze: jeden pracuje w układzie źródła prądowego, a drugi jako analogowy komparator. Odmierzanie czasu odbywa się w obwodzie kondensatora o dużej pojemności, ładowanego stałym prądem. Kondensator pełni rolę elementu całkującego ładunek, na którym napięcie narasta liniowo wraz z upływem czasu.

Układ zasilany jest napięciem 12 V DC, pozyskiwanym z tradycyjnego zasilacza liniowego. Napięcie sieciowe AC obniżane jest transformatorem X1, następnie prostowane mostkiem BR1 złożonym z czterech diod i filtrowane kondensatorem C1. Wyprostowane, aczkolwiek jeszcze tętniące napięcie DC doprowadzone jest do scalonego stabilizatora LM7812, na którego wyjściu otrzymujemy



Rysunek 2. Schemat ideowy układu

eprasa.pl 6fff7859d1

Wykaz elementów:

Półprzewodniki:
IC1: LM7812, liniowy stabilizator napięcia +12 V
IC2 (IC2A, IC2B): LM358, wzmacniacz operacyjny
T1: BC547, tranzystor NPN
BR1: DB107, mostek prostowniczy 1 A
D1: 1N4007, dioda prostownicza
D2: 1N4148, dioda sygnałowa
ZD1: dioda Zenera 2,2 V
LED1, LED2: diody LED 5 mm

Rezystory: (wszystkie 0,25 W, ±5%, węglowe)
R1: 47 kΩ
R2: 2,2 MΩ
R3, R4: 100 kΩ
R5, R6: 10 kΩ
R7: 1 kΩ
R8: 2,2 kΩ
VR1: 100 kΩ, potencjometr

Kondensatory:
C1, C2, C4: 220 μF/25 V, elektrolityczne
C3: 4700 μF/25 V, elektrolityczny

Pozostałe:
X1: transformator 230 V AC, uzwojenie wtórne 12 V AC/500 mA
RL1: przekaźnik SPDT, 10 A, cewka 12 V
S1: przycisk chwilowy (push-to-on)
S2: przełącznik SPDT, 10 A
CON1: złącze sieciowe 230 V AC/6 A
CON2: złącze obciążenia 230 V AC/6 A
obudowa: odpowiedniej wielkości, z tworzywa PVC
płytka PCB: Veroboard, 10,2×7,6 cm (4"×3")

czyste i dobrze stabilizowane napięcie stałe. Niewielka sprawność tak wykonanego zasilacza nie stanowi problemu, ponieważ timer pobiera jedynie niewielki prąd.

Wzmacniacz operacyjny IC2A skonfigurowany jest do wzmocnienia jednostkowego, czyli pracuje w charakterze wtórnika napięciowego. Taki tryb pracy zapewnia silne, ujemne sprzężenie zwrotne w obrębie tego wzmacniacza. Jego zadaniem nie jest wzmacnianie sygnału, lecz pełnienie roli „transformatora impedancji" – obwodu o bardzo dużej impedancji wejściowej i niskiej wyjściowej. W ten sposób powiela wartość kontrolowanego napięcia, nie obciążając wysokoimpedancyjnego źródła. Bufor odtwarza na wyjściu IC2A napięcie z kondensatora C3, zachowując możliwość zarówno dostarczania (source), jak i „wchłaniania" (sink) prądu.

Między wyjściem tego wzmacniacza a węzłem oznaczonym na schemacie (rysunek 2) jako J wpięto diodę Zenera o napięciu progowym 2,2 V. Równocześnie rezystor R1 ma znacznie mniejszą rezystancję niż R2. W efekcie tylko część prądu z R1 płynie do R2, a jego nadmiar pochłaniany jest przez wyjście IC2A. W ten sposób realizowane jest źródło prądowe – napięcie na R2 utrzymywane jest na stałym poziomie, równym napięciu ZD1. Kondensator C3 ładowany jest powoli prądem płynącym przez R2, dzięki czemu narastanie napięcia na C3 ma charakter liniowy. Nachylenie tego zbocza wyznaczają pojemność C3 i wydajność źródła prądowego, którą można łatwo obliczyć jako stosunek napięcia ZD1 do rezystancji R2, czyli 2,2 V:2,2 MΩ=1 μA.

Napięcie z C3 jest kontrolowane i porównywane ze stałym poziomem ustawionym potencjometrem VR1. Ponieważ prąd ładowania C3 jest bardzo mały, kontrola napięcia musi odbywać się w obwodzie o bardzo dużej impedancji wejściowej – taką zapewnia wejście nieodwracające wzmacniacza LM358. Dodatkowo na tym wejściu zastosowano rezystor R4 (100 kΩ), którego wpływ na działanie układu jest jednak marginalny.

Wzmacniacz IC2B pracuje jako komparator w standardowej konfiguracji. Gdy napięcie na jego wejściu nieodwracającym przekroczy poziom ustawiony potencjometrem VR1, wyjście zmienia stan z niskiego na wysoki, co uruchamia tranzystor T1, a ten z kolei załącza przekaźnik RL1. Czas opóźnienia między wyzerowaniem napięcia na C3 a włączeniem przekaźnika jest proporcjonalny do napięcia ustawionego potencjometrem, dzięki czemu skalę VR1 można opisać w jednostkach czasu.

W układzie zastosowano także dwie diody LED pełniące funkcję wskaźników. LED1 sygnalizuje obecność zasilania, natomiast LED2 – aktywny stan przekaźnika RL1. Między wyjściem komparatora IC2B a bazą tranzystora T1 włączono dodatkowy obwód z diodą D2 i kondensatorem C4. Jego zadaniem jest wygładzanie napięcia sterującego tranzystorem w sytuacji niestabilnego przełączania wyjścia komparatora, co może wystąpić z uwagi na bardzo wolne zbocze napięcia na kondensatorze C3.

Konstrukcja i testowanie pracy timera

Całość układu zmontowano na uniwersalnej płytce Veroboard o wymiarach 10,2 cm × 7,6 cm (4×3 cale). Do tego rozmiaru dopasowano plastikową obudowę z materiału PVC. W obudowie należy przewidzieć złącze CON2 do podłączenia obciążenia oraz CON1 dla napięcia 230 V AC zasilającego timer i urządzenie wykonawcze (włączane bądź wyłączane po zadanym czasie).

Dodatkowy przełącznik S2 (typu SPDT) umożliwia wybór trybu pracy: „włącz" lub „wyłącz" po zadanym czasie opóźnienia. Uruchomienie timera odbywa się za pomocą przycisku S1, który rozładowuje kondensator czasowy C3 i zapewnia start odmierzania czasu od wartości zerowej.

Budowa układu pozwala na wyskalowanie potencjometru VR1 w przedziale od 0 do 12 godzin. Skala tego potencjometru powinna być w przybliżeniu liniowa. W razie potrzeby uzyskania innego zakresu odmierzania czasu układ można łatwo dostosować do indywidualnych wymagań, modyfikując wartości C3, R2 oraz ewentualnie diody Zenera ZD1.

Obecność diody D1 w kolektorze tranzystora T1 jest konieczna ze względu na indukcyjny charakter obciążenia, jakim jest cewka przekaźnika RL1. Pominięcie tej diody nieuchronnie prowadziłoby do uszkodzenia tranzystora na skutek przepięcia powstającego podczas wyłączania przekaźnika.

Uwaga: Układ można uczynić bardziej kompaktowym i jednocześnie tańszym, zastępując elementy o większych gabarytach – transformator X1, prostownik BR1, kondensatory C1 i C2 oraz stabilizator LM7812 – obwodem zasilacza-przetwornicy impulsowej.

Dodatkowa modyfikacja obwodu z rysunku 2 może polegać na zastąpieniu diody Zenera ZD1 dwiema szeregowo połączonymi diodami, np. typu 1N4007. Może to nieco pogorszyć liniowość narastania napięcia na kondensatorze czasowym C3, co w wielu zastosowaniach nie będzie miało istotnego znaczenia. Równocześnie obniżenie napięcia progowego z 2,2 V do około 1,4 V spowoduje dalsze zmniejszenie prądu ładującego C3 i wydłużenie czasu odmierzanego przez timer – nawet do około 20 godzin. ■

Pankaj Datta Choudhury

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

Od Redakcji EdW:

Autor zaproponował pomysłowe źródło prądowe o wydajności jednego mikroampera. W tym zastosowaniu taka konstrukcja jest jak najbardziej uzasadniona. W roli źródła pracuje wzmacniacz operacyjny IC1A, jednak działanie tego obwodu różni się od tradycyjnych układów źródeł prądowych.

Lokalna pętla ujemnego sprzężenia zwrotnego utrzymuje stałe napięcie (2,2 V) na rezystorze R2 o wartości 2,2 MΩ. Teoretycznie powinno to dawać prąd dokładnie 1 μA. Należy jednak pamiętać, że w początkowej fazie ładowania kondensatora C3 wartość ta jest obarczona dość dużym błędem.

Wzmacniacz operacyjny LM358 jest typu zbliżonego do rail-to-rail, lecz dotyczy to wejścia, ale nie wyjścia WO. Potrafi pracować przy napięciu wspólnym wejść na poziomie dolnego zasilania, ale stan niski wyjścia nie potrafi zejść tak nisko. Należy przyjąć, że napięcie na pinie 1 IC2 A będzie utrzymywało się w okolicy 1 V, zanim C3 naładuje się do około 1 V, a dopiero potem będzie podążało za napięciem kondensatora C3 utrzymując stałą „wydolność" źródła prądowego.

eprasa.pl 6fff7859d1

Uwzględnienie tej poprawki jest konieczne, jeśli oczekujemy większej precyzji w szacowaniu czasu działania timera. Należy ją również brać pod uwagę przy właściwej kalibracji położenia suwaka potencjometru VR1.

Oczywiście wartość prądu źródła można modyfikować, dobierając odpowiednio rezystor R2 i/lub kondensator C3. Wartość 1 μA jest jednak w tym projekcie w pełni uzasadniona. Chcąc przeliczyć zakres czasów opóźnienia, jakie może generować timer, wystarczy wykonać proste obliczenia.

Dla naładowania pojemności 4700 μF do napięcia 1 V potrzeba ładunku 4700 μC. Dysponując prądem 1 μA, wymaga to czasu 4700 sekund, czyli około 1 godziny i 18 minut. Przy zakresie napięcia na poziomie 10 V czasy opóźnienia rzędu 12 godzin są więc jak najbardziej realne.

Warto zauważyć, że w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych XX wieku wykonanie timerów o długich czasach było znacznie trudniejsze. W blokach mieszkalnych w PRL popularne były timery do wyłączania oświetlenia klatek schodowych po ustalonym czasie opóźnienia. Czas ten musiał być tak dobrany, aby użytkownik spokojnie zdążył wejść na najwyższe piętro i nie musiał pamiętać o gaszeniu światła. Oświetlenie włączało się przyciskiem niestabilnym, umieszczonym przy wejściu do budynku, a układ musiał zapewniać opóźnienie co najmniej kilku-kilkunastu minut.

Tamte timery były skomplikowanymi urządzeniami mechanicznymi – zawierały silniczek, przekładnie i krzywki włączające styki wykonawcze. Wspominamy o tym, ponieważ interesujące jest porównanie dawnych rozwiązań z tym, co oferuje prosty timer przedstawiony w niniejszym projekcie.

Wracając do uwag i refleksji nad schematem z rysunku 2, warto zwrócić uwagę na kilka szczegółów. Przede wszystkim w szereg ze stykiem S1 należałoby dodać rezystor o niewielkiej wartości. Rozładowywanie kondensatora C3 „na zwarcie" jest niekorzystne zarówno dla kondensatora, jak i dla styków (zapewne niewielkiego) przycisku S1. Rezystor o wartości około 20 Ω dałby z C3 stałą czasową na poziomie 0,1 s, co byłoby rozwiązaniem rozsądnym. Można by zejść nawet do 10 Ω, jednak zastosowanie rezystora w tym miejscu należy uznać za obowiązkowe.

Drugą kwestią jest praca komparatora na wzmacniaczu operacyjnym LM358 (IC2B). Zbocze sygnału na wejściu nieodwracającym tego komparatora jest wyjątkowo powolne. Autor zwrócił uwagę na zagrożenie wynikające z tego faktu i zastosował na wyjściu obwód złożony z D2, C4 i R5. Stała czasowa C4 z R5 wynosi około 2 s i obwód ten powinien chronić timer przed niestabilnością, polegającą na wielokrotnym, fałszywym przełączaniu w okolicy progu komparacji IC2B. Lepszym rozwiązaniem byłoby jednak wprowadzenie niewielkiej histerezy przełączania – jest to metoda pewniejsza i prostsza. Wystarczyłby jeden rezystor w lokalnej pętli dodatniego sprzężenia zwrotnego pomiędzy pinami 7 i 5 IC2B.

Można oszacować, jaka wartość rezystora byłaby odpowiednia. Gdyby wstawić rezystor 4,7 MΩ, szerokość histerezy wyniosłaby około 0,2 V – to nieco za dużo. Aby zmniejszyć ją do poziomu około 50 mV, należałoby używać rezystorów o wartościach rzędu kilkunastu MΩ i więcej. Mogłoby się pojawić pokuszenie obniżenia wartości R4, jednak w tym przypadku byłoby to nieuzasadnione. Wejście nieodwracające IC2B powinno zachować bardzo dużą impedancję, dlatego zmniejszanie R4 należy uznać za niedopuszczalne. W praktyce więc trzeba pozostać przy dodatkowym rezystorze o bardzo dużej wartości, co może być niepraktyczne. Z tego względu zastosowany przez autora sposób – z diodą D2, kondensatorem C4 i rezystorem R5 – należy uznać za w pełni usprawiedliwiony. Tak zaprojektowany timer powinien być niezawodny, a jednocześnie prosty i niewielki, zwłaszcza jeśli tradycyjny zasilacz z transformatorem zostanie zastąpiony przetwornicą impulsową 12 V. Wymagany prąd jest niewielki, a tego typu adaptery 12 V/ około 1 A są powszechnie dostępne. Poziom obciążenia, jakie timer może przełączać, zależy praktycznie tylko od użytego przekaźnika. Jeśli zastosujemy przekaźnik o większej cewce, może zajść potrzeba użycia „mocniejszego" tranzystora T1, a w skrajnym przypadku dodania drugiego tranzystora.

Zastosowanie przekaźnika ze stykami NO i NC zdecydowanie poszerza funkcjonalność timera i daje wiele możliwości jego wykorzystania. Może on pełnić podobną rolę jak wspomniane wcześniej mechaniczne timery w blokach mieszkalnych z czasów PRL-u, sterujące oświetleniem klatek schodowych. W razie potrzeby wykonania timera o regulowanym czasie potencjometr VR1 można wyskalować – np. w minutach albo godzinach i minutach – co znacznie ułatwi jego praktyczne użycie.

Jeśli jednak wymagana dokładność i precyzja uzyskiwanych opóźnień byłaby duża, to proponowana tu konstrukcja timera mogłaby okazać się niewystarczająca. W takim przypadku należałoby sięgnąć po stabilny generator, dzielnik częstotliwości oparty na wielobitowym liczniku binarnym oraz prosty obwód wykonawczy sterujący przekaźnikiem. Oznaczałoby to konieczność użycia kilku układów scalonych. Zamiast potencjometru czas należałoby ustawiać np. przełącznikami w kodzie binarnym, a dla bardziej czytelnej obsługi – zastosować dodatkowy układ kodera.

Zaproponowane w bieżącym projekcie rozwiązanie „pachnie" raczej XX niż XXI wiekiem. Obecnie niemal każdy konstruktor sięgnąłby np. po płytkę Arduino, realizując funkcję timera programowo i dodając jedynie wysokonapięciowy stopień wykonawczy – prawdopodobnie nie na przekaźniku, lecz na triaku. Niemniej, przedstawiony projekt DIY pozostaje sensowny także dziś, o ile nie oczekujemy dużej dokładności i powtarzalności czasów.

Trzeba jednak zauważyć, że przy bardzo długich czasach (rzędu 12 h, a nawet – jak pisze autor – 20 h) mimo pomysłowości i prostoty tej koncepcji napotkamy pewne ograniczenia. Dlatego prądu źródła prądowego nie należy już zmniejszać poniżej przyjętej w projekcie wartości 1 μA. Można ewentualnie zwiększyć pojemność kondensatora C3. W każdym razie, przy czasach wielogodzinnych należałoby sięgnąć po inną koncepcję pracy układu, opartą na cyfrowym zliczaniu okresów generatora o rozsądnej częstotliwości – np. sekundowej lub rzędu ułamków herca.

REKLAMA

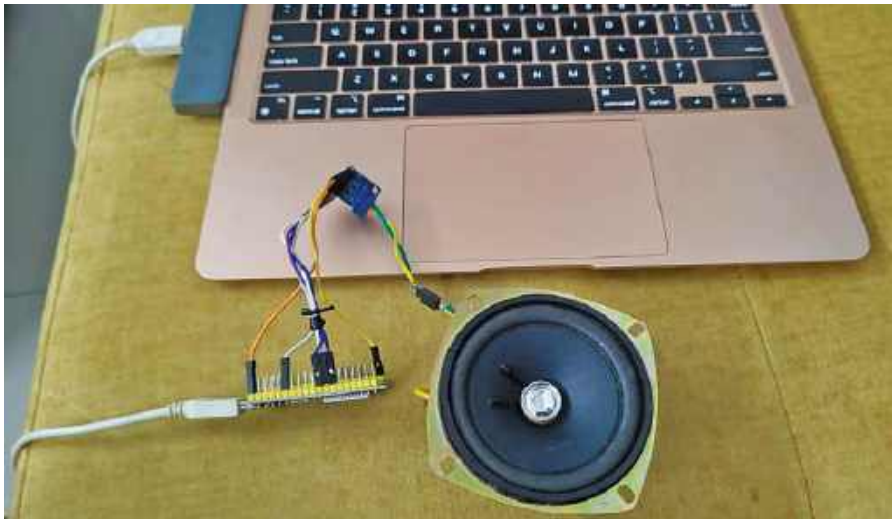
Znajdziesz nas również na Facebooku:
facebook.com/ElportalPL

eprasa.pl 6fff7859d1

Przetwarzanie mowy z użyciem modułu ESP32: zamiana tekstu na mowę

Możliwości wykorzystania mowy w technice sprowadzają się do dwóch przypadków: zamiany tekstu na mowę (TTS) i zamiany mowy na tekst (STT). Opisywane urządzenie realizuje wariant TTS. W modelu użyty został wzmacniacz typu MAX98357A, połączony z płytką ewaluacyjną typu MCU ESP32, a interfejs API Google służy do konwersji tekstu na mowę.

W układzie użyty został monofoniczny wzmacniacz MAX98357A z interfejsem I²S. Pomimo, że dostępne są wzmacniacze stereofoniczne, takie jak UDA1334A. Jednak dla uproszczenia wybrano wersję monofoniczną. Interfejs I²S wykorzystuje trzy piny GPIO modułu ESP32, które mogą być dowolnie wybrane (za wyjątkiem pinów wejściowych 34 i 35). Do wyjścia wzmacniacza podłączony jest 4-omowy głośnik, dlatego ważne jest zapoznanie się z opisem płytki i prawidłowe podłączenie zacisków „+" i „–" aby uniknąć zniekształceń. Autorski prototyp pokazano na **rysunku 1**, a wszystkie niezbędne komponenty wymieniono w zestawieniu materiałów.



Rysunek 1. Autorski prototyp

Schemat połączeń

Schemat systemu do konwersji tekstu na mowę pokazano na **rysunku 2**. Jest on zbudowany w oparciu o moduł ESP32 Node MCU, ponadto zawiera wzmacniacz klasy D typu MAX98357A z interfejsem I²S, trzywatowy głośnik i kilka innych komponentów.

Jak wynika z **rysunku 3** stanowiącego wydruk fragmentu kodu źródłowego, najpierw konfigurowane są dane uwierzytelniające, a następnie definiowane są piny I²S dla interfejsu wzmacniacza.

Układ łączy się z Internetem za pomocą interfejsu Wi-Fi, z wykorzystaniem wcześniej wprowadzonych danych uwierzytelniających. Następnie układ wysyła ciąg znaków do witryny Google TTS, aby przetworzyć go na mowę.

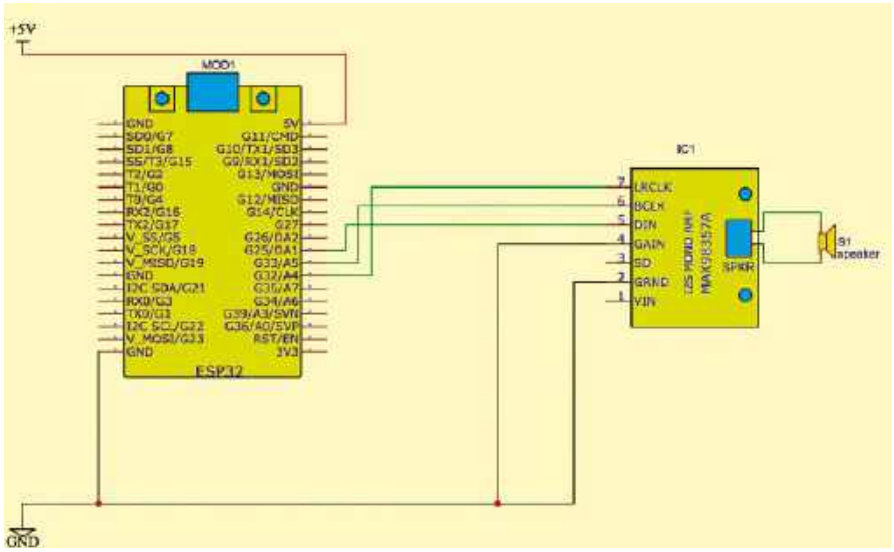
Na **rysunku 4** przedstawiona jest zasadnicza część kodu konfigurującego witrynę Google TTS. Jak wynika z jego analizy, maksymalna długość ciągu znaków przeznaczonych do wymówienia wynosi 200, aczkolwiek można podjąć próby z ciągiem o długości do 265 znaków.

Wykaz elementów:

Moduł MCU węzła ESP32 (MOD1)
3-watowy głośnik
MAX98357A I²S 3-watowy wzmacniacz klasy D
Kabel zasilający USB 5 V

Budowa i testowanie

Najpierw należy wgrać kod wynikowy na płytkę ESP32. Następnie należy podłączyć wzmacniacz do pinów I²S na płytce ESP32,



Rysunek 2. Schemat połączeń funkcji ESP32

eprasa.pl 6fff7859d1

ESP32_google_TTS_short.ino

```
#include "WiFi.h"
#include "HTTPClient.h"
#include "Audio.h"

// WiFi credentials
const char* ssid = "beral";
const char* password = "xxxxxxxxxx";

// I2S Pin Definitions
#define I2S_DOUT  25  // Data Out Pin
#define I2S_BCLK  33 //27  // Bit Clock Pin
#define I2S_LRC   32 //26  // Left Right Clock Pin

Audio audio;

void setup() {
  Serial.begin(115200);

  // Connect to WiFi
  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(1000);
    Serial.println("Connecting to WiFi...");
  }
  Serial.println("Connected to WiFi");
```

Rysunek 3. Ustawianie poświadczeń

```
void playLongText(String text) {
  int maxChunkSize = 200; // can try with 265, Google TTS max length 200
  int startPos = 0;

  while (startPos < text.length()) {
    int endPos = min(startPos + maxChunkSize, (int)text.length()); // Cast text.length() to int
    String chunk = text.substring(startPos, endPos);

    // URL encode the text chunk
    chunk.replace(" ", "%20");

    // Construct the URL for Google TTS
    String tts_url = "http://translate.google.com/translate_tts?ie=UTF-8&q=" + chunk + "&tl=en&client=tw-ob";
    // Play the audio
    audio.connecttohost(tts_url.c_str());

    // Wait for the chunk to finish playing
    while (audio.isRunning()) {
      audio.loop();
    }
```

Rysunek 4. Ustawianie adresu URL Google TTS

zgodnie ze schematem. Do wyjścia wzmacniacza należy podłączyć głośnik. Układ może być zasilany ze złącza USB komputera. Takie połączenie i tak jest niezbędne do transmisji ciągów znaków przeznaczonych do zamiany na mowę, więc użycie dodatkowego zasilacza jest zbędne.

Teraz na konsoli szeregowej należy wprowadzić zdanie o długości nie przekraczającej 200 znaków, które zostanie odczytane przez głośnik. Nie oznacza to, że układ wypowie tak długą sekwencję w sposób ciągły. Niektóre fragmenty mogą być stracone ze względu na ograniczoną pojemność pamięci na płytce ESP32. Jednak pierwszy tekst zawsze jest odtwarzany poprawnie.

W przypadku mowy na tekst opartej na wejściu szeregowym, podobny zmodyfikowany szkic jest również tworzony w tym urządzeniu. Pobiera on ciąg znaków z konsoli szeregowej i konwertuje go na mowę. Jednak małe zdania składające się z 3 do 4 słów mogą być wypowiadane w sposób ciągły. W drugim szkicu można eksperymentować z różnymi kombinacjami.

W przypadku konwersji tekstu na mowę z wykorzystaniem transmisji szeregowej możliwe jest użycie podobnego, zmodyfikowanego kodu źródłowego. Pobiera on ciąg znaków z konsoli szeregowej i konwertuje go na mowę. Krótkie zdania składające się z trzech do czterech słów mogą być wypowiadane w sposób ciągły. Można eksperymentować z różnymi ustawieniami tego programu. ■

Somnath Bera

Materiał filmowy do artykułu: https://youtu.be/I8DOqX1lUGI

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

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

REKLAMA

Publikujemy dla projektantów
i programistów elektroniki

ELPORTAL.pl

eprasa.pl 6fff7859d1

ELEKTRONIKA dla wszystkich
nr 01/2025 (19)
JUNIOR

Krystian – Młodzi Entuzjaści Elektroniki, Szkoła Podstawowa nr 86, Wrocław

Witam wszystkich Czytelników, a szczególnie Juniorów EdW, na pierwszym spotkaniu w nowym 2026 roku. Sylwester często kojarzy się z pirotechniką, lecz jej hałas bywa uciążliwy dla dzieci, osób starszych i zwierząt – w gruncie rzeczy trudno znaleźć kogoś, komu naprawdę służy. Dzisiejsza konstrukcja pozwala cieszyć się kolorową „adrenaliną" w sposób w pełni bezpieczny, bez huku, strachu i ryzyka także w warunkach domowych. Pozostając w klimacie świetlnych rozbłysków, zbudujemy policyjny stroboskop LED.

Sylwester skłania do przemyśleń i planów na najbliższą przyszłość. W tym okresie wielu z nas ma szczególną skłonność do czegoś, co zwykło się nazywać noworocznymi postanowieniami. Ile z nich doczekuje końca roku – wszyscy dobrze wiemy – ale mimo to początek roku rzeczywiście sprzyja zmianom. A te bywają potrzebne, choćby po to, by unikać nudy, stagnacji i zrobić krok naprzód. Dlatego kilka zmian wprowadzimy również w formule naszych juniorskich spotkań.

Po pierwsze, większość klasycznych fotografii zastąpimy rysunkami 3D. Przygotowanie modelu dla każdego omawianego zestawu wymaga trochę inżynierskiej pracy, ale równocześnie pozwala uniknąć wielogodzinnego sporządzania i selekcjonowania zdjęć spośród setek ujęć szczegółów. Rysunki wygenerowane z modelu 3D są znacznie czytelniejsze, a możliwość dowolnego obracania bryły i ustawiania zbliżeń pozwala przygotować ilustracje idealnie oddające omawiany detal. Co więcej, można łatwo ukrywać lub wygaszać elementy sąsiadujące z danym fragmentem układu, co w świecie rzeczywistym wymagałoby każdorazowego wylutowywania elementów przed wykonaniem klasycznej fotografii. Warto dodać, że do przygotowywania modeli korzystamy z dwóch narzędzi: KiCad-a, który pozwala wygenerować model 3D bezpośrednio z projektu PCB, oraz FreeCAD-a, wykorzystywanego wtedy, gdy trzeba narysować jakiś element od podstaw albo edytować istniejący model.

Kolejną zmianą, którą wprowadzamy w naszych juniorskich spotkaniach, jest przeniesienie części teoretycznej do osobnej sekcji „Ale właściwie… dlaczego to działa?" umieszczonej na końcu każdego odcinka. W szkołach obowiązuje kierunek „od teorii do praktyki", ale dobrze wiemy, że dla wielu młodych ludzi teoria na początku bywa jak lekarstwo do przełknięcia – takie, którym za młodu często krztusimy się i dławimy, czasem wyłącznie ze strachu, powodującego panikę i odbierającego szansę poczuć, że w istocie… ma ono smak truskawkowy.

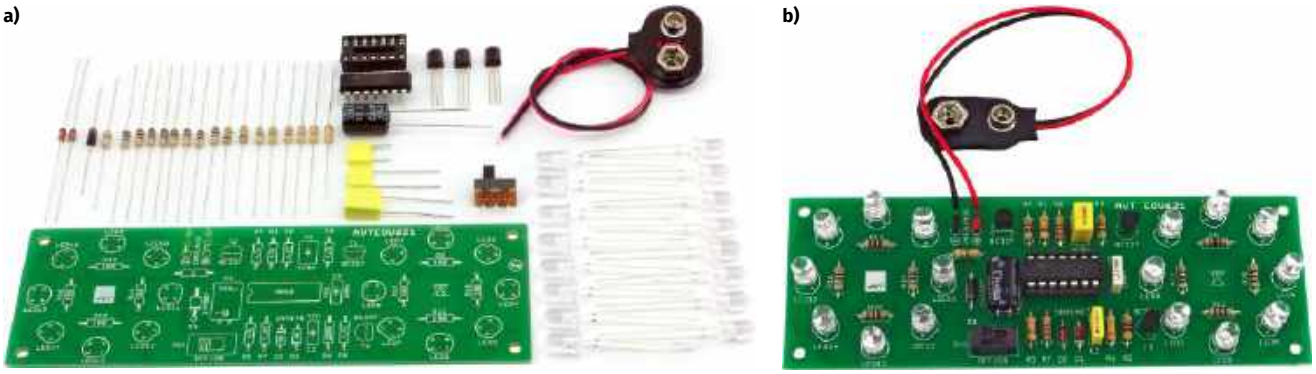
Tymczasem do EdW Junior trafiają nierzadko bardzo młodzi ludzie, którzy zauważyli, że ciągłe scrollowanie smartfona czy kolejne gierki nie dają już takiej frajdy jak dawniej, a czasem wręcz podkradają kawałek życia. Kiedyś posiadanie smartfona to było coś. Dziś ma go już w zasadzie każdy, więc… Chcą czasem spróbować czegoś nowego, prawdziwego i namacalnego – a przy okazji zabłysnąć czymś, czego ekran telefonu nigdy nie odda.

Dlatego świadomie stosujemy od tej chwili podejście odwrotne: od praktyki do teorii. Najpierw budujemy, lutujemy, uruchamiamy i cieszymy się efektem „tu i teraz". Z tej namacalnej praktyki ma szansę zrodzić się autentyczna ciekawość: „Ale właściwie… dlaczego to działa?". Wtedy teoria przestaje być przeszkodą u podstaw, stając się naturalnym kolejnym krokiem – narzędziem, które pozwala tworzyć więcej, lepiej i bardziej świadomie. Kreować, zamiast tylko odtwarzać.

Mówi się żartem, że teoria to stan, w którym nic nie działa, ale wiadomo dlaczego, a praktyka – że wszystko działa, choć nie wiadomo czemu. Najlepsze efekty pojawiają się wtedy, gdy jedno spotyka drugie: gdy działa i wiadomo dlaczego. Gorzej, gdy połączymy teorię z praktyką w taki

Fotografia 1. Od lewej: Oskar, Kornel, Mateusz, Przemek, Marcin, Piotr, Krystian i Natan podczas montażu zestawu *Stroboskop policyjny LED* (AVTEDU621). Młodzi Entuzjaści Elektroniki, Szkoła Podstawowa nr 86, Wrocław

eprasa.pl 6fff7859d1



Fotografia 2. Stroboskop policyjny LED (kod AVTEDU621), a) Zestaw do samodzielnego montażu, b) Zmontowany układ

sposób, że nic nie działa… i nie wiadomo dlaczego. Na szczęście w takich chwilach można sięgnąć po obecne i archiwalne części naszego cyklu EdW Junior – i konsekwentnie odczarować tę rzeczywistość.

W miejscu dotychczasowego opisu teoretycznego znajdzie się teraz wyłącznie kilka zdań odnośnie tego, co aktualnie budujemy, lista elementów wraz z ewentualnymi komentarzami dotyczącymi prawidłowego odczytu wartości z ich obudowy, a także schemat montażowy, ułatwiający samodzielne składanie zestawu. Tuż po nich pojawi się przystępny opis montażu komponentów na płytce. Schemat ideowy oraz szerszy opis działania układu trafią dopiero do wspomnianej sekcji teoretycznej umieszczonej na samym końcu spotkania.

Co zbudujemy tym razem?

Tym razem zbudujemy zestaw **AVTEDU621 – *Stroboskop policyjny LED***, który mruga dokładnie tak, jak robią to lampy wozów ratunkowych. Po jego włączeniu diody zaczynają wysyłać serie błysków, raz w kolorze niebieskim, raz w czerwonym i tak na zmianę, tworząc efekt, którego po prostu nie da się przeoczyć!

Kiedy stroboskop działa, wygląda jak mała świetlna „belka" – taka, jaką widzi się na dachu radiowozów czy karetek – tylko w wersji kieszonkowej i dużo bardziej przyjaznej do zabawy. Możesz ustawić urządzenie na biurku, wykorzystać w swoich zabawkowych pojazdach albo zrobić z niego super efekt specjalny do filmiku czy zdjęć.

To projekt, który buduje się łatwo, ale po uruchomieniu daje prawdziwy efekt „wow!". Idealny dla wszystkich, którzy lubią efekty świetlne i chcą samodzielnie zbudować własne migające światła (tak zwane „koguty") charakterystyczne dla służb uprzywilejowanych.

Zestaw do samodzielnego złożenia pokazano na **fotografii 2a**. Na **fotografii 2b** pokazano zmontowany układ.

Interpretacja oznaczeń komponentów

Komponenty elektroniczne mogą być znakowane w różny sposób, w zależności od producenta. Poniżej zamieszczono komentarz do wybranych, potencjalnie mniej oczywistych nadruków na komponentach odnalezionych w zestawie.

- Rezystory (kod paskowy)
  - żółty (4) – fioletowy (7) – pomarańczowy (3) – złoty (±5%) → 47 000 Ω ±5% → 47 kΩ ±5%
  - brązowy (1) – czerwony (2) – zielony (5) – złoty (±5%) → 12 00000 Ω ±5% → 1200 kΩ ±5% → 1,2 MΩ ±5%
  - pomarańczowy (3) – biały (9) – żółty (4) – złoty (±5%) → 39 0000 Ω ±5% → 390 kΩ ±5%
  - żółty (4) – fioletowy (7) – czerwony (2) – złoty (±5%) → 47 00 Ω ±5% → 4,7 kΩ ±5%
  - brązowy (1) – czarny (0) – brązowy (1) – złoty (±5%)
  - → 10 0 Ω ±5% → 100 Ω ±5%
  - jeden czarny pasek: 0 Ω (zwora)
- Kondensatory foliowe (MKT)
  - 47nK63 → 47 nF ±10%/63 V (litera K oznacza tolerancję ±10%)
  - .1J100 → 0,1 μF ±5%/100 V → 100 nF ±5%/100 V (litera J oznacza tolerancję ±5%)
  - 474J63 → 47 0000 pF ±5%/63 V → 470 nF ±5%/63 V (litera J oznacza tolerancję ±5%)

Schemat montażowy

Schemat montażowy to rysunek, który pokazuje, gdzie dokładnie na płytce drukowanej należy umieścić każdy z elementów zestawu. Dzięki niemu łatwo odnaleźć właściwe miejsce dla rezystorów, kondensatorów, diod czy układów scalonych i innych podzespołów, ponieważ wszystkie komponenty są oznaczone takimi samymi desygnatorami, zarówno na schemacie montażowym, liście elementów jak i na schemacie ideowym. Ułatwia to bezbłędne i szybkie składanie układu, nawet osobom początkującym. Schemat montażowy pomaga również uniknąć pomyłek, takich jak wlutowanie elementu w niewłaściwe miejsce lub ustawienie go w złej orientacji. Schemat montażowy, który dodatkowo pokazuje układ ścieżek i padów, bardzo pomaga w kontroli poprawności wykonanych połączeń lutowanych. Dzięki temu łatwo ustalić, czy połączenia pomiędzy sąsiednimi polami są przewidziane w projekcie, czy też powstały przez pomyłkę, na przykład na skutek przypadkowego zwarcia ich cyną podczas nieostrożnego lutowania. Taki podgląd znacząco ułatwia wykrywanie błędów i zwiększa pewność, że układ został zmontowany prawidłowo. Schemat montażowy pokazano na **rysunku 1**.

Wykaz elementów:

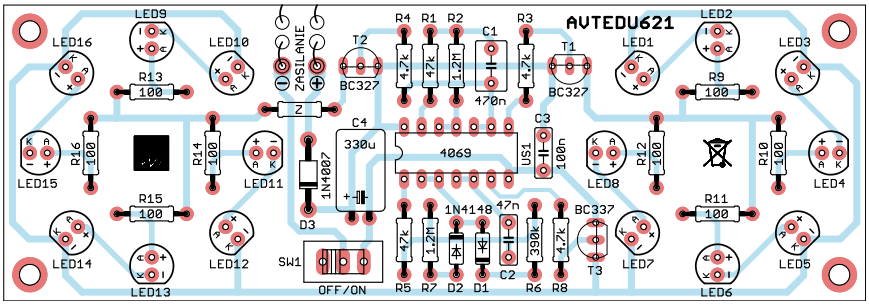
R1, R5:	rezystor 47 kΩ
R2, R7:	rezystor 1,2 MΩ
R6:	rezystor 390 kΩ
R3, R4, R8:	rezystor 4,7 kΩ
R9...R16:	rezystor 100 Ω
Z:	rezystor 0 Ω
D1, D2:	dioda 1N4148
D3:	dioda 1N4007
US1:	układ scalony 4069 + podstawka
T1, T2:	tranzystor BC327
T3:	tranzystor BC337
C2:	kondensator 47 nF
C3:	kondensator 100 nF
C1:	kondensator 470 nF
C4:	kondensator 330 μF
LED1...LED8:	dioda LED 5 mm niebieska
LED9...LED16:	dioda LED 5 mm czerwona
SW1:	włącznik
złączka do baterii	czerwony +, czarny –

Montaż rezystorów

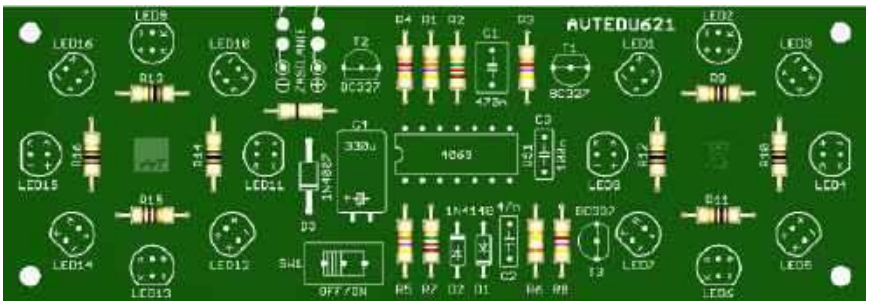
Zgodnie z informacjami z listy elementów przylutuj rezystory o określonych wartościach rezystancji na odpowiednich pozycjach na płytce drukowanej. Przed przystąpieniem do tej czynności zapoznaj się ze wskazówkami poniżej.

- Rezystor jest elementem, który ogranicza przepływ prądu w obwodzie elektrycznym. Dzieje się tak dlatego, że ma

eprasa.pl 6fff7859d1



Rysunek 1. Schemat montażowy układu



Rysunek 2. Rezystory o odpowiednich wartościach, oznaczone za pomocą kodu kolorowych pasków, zamontowane na właściwych pozycjach, zgodnie z listą elementów

on określoną rezystancję – właściwość materiału wywołującą spadek napięcia podczas przepływu prądu. Energia elektryczna zamienia się w nim na ciepło, co jest naturalnym skutkiem przepływu prądu przez rezystancję.

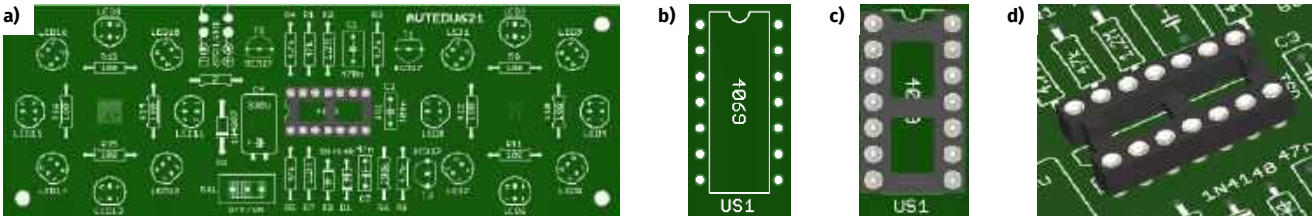
- Rezystor nie ma biegunowości – działa tak samo niezależnie od kierunku przepływu prądu. Dlatego jego montaż na płytce nie wymaga uwzględniania orientacji. Ważne jest jedynie, aby w danym miejscu umieścić właściwy rezystor o odpowiedniej wartości. Sam kierunek montażu pozostaje dowolny.
- Rezystory są zazwyczaj jednymi z najniższych elementów montowanych na płytce drukowanej. Ich przylutowanie nie utrudnia późniejszego montażu wyższych komponentów, dlatego lutuje się je zazwyczaj w pierwszej kolejności.
- Spośród wszystkich komponentów znajdujących się w zestawie wyodrębnij rezystory i odłóż je na osobną stertę.
- Pozostałe elementy odłóż na bok, a podczas montażu sięgaj wyłącznie po kolejne rezystory z wcześniej przygotowanej sterty.
- Za każdym razem, gdy weźmiesz do ręki kolejny rezystor, zmierz jego wartość za pomocą multimetru ustawionego w tryb omomierza. Odczytaną rezystancję zapamiętaj.
- Jeśli pomiar rezystorów sprawia Ci trudność, poproś o pomoc kolegę lub osobę prowadzącą zajęcia. Gdy masz dostęp do internetu, możesz też skorzystać 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.
- Na dołączonej do zestawu liście elementów odszukaj zmierzoną wcześniej wartość rezystancji (w Ω, kΩ lub MΩ), a następnie odczytaj desygnator lub desygnatory przypisane do tej wartości.
- Zegnij wyprowadzenia rezystora i umieść go w płytce (patrz rysunek) w miejscu oznaczonym właściwym desygnatorem.
- Zadbaj o to, aby każdy rezystor był włożony do płytki do końca i dobrze do niej przylegał. Estetyczny montaż nie tylko poprawia wygląd gotowego urządzenia, lecz także stabilizuje element w płytce, chroniąc go przed uszkodzeniami mechanicznymi, oraz ułatwia późniejszą diagnostykę i ewentualne naprawy.
- Przylutuj element do płytki. Jeśli nie wiesz, jak to zrobić, albo chcesz upewnić się, że wykonujesz to prawidłowo, przeczytaj sekcję *Lutowanie komponentów przewlekanych do płytki drukowanej*. Nieco poniżej znajdziesz również informacje, jak wykonać tę czynność w sposób bezpieczny dla siebie i pozostałych uczestników zajęć.
- Usuń nadmiar wyprowadzeń za pomocą obcinaczek. Jeśli nie wiesz, jak to zrobić, albo chcesz upewnić się, że wykonujesz to prawidłowo, przeczytaj sekcję *Przycinanie nadmiaru wyprowadzeń*. Nieco poniżej znajdziesz również informacje, jak wykonać tę czynność w sposób bezpieczny dla siebie i pozostałych uczestników zajęć.

Montaż podstawki pod układ scalony

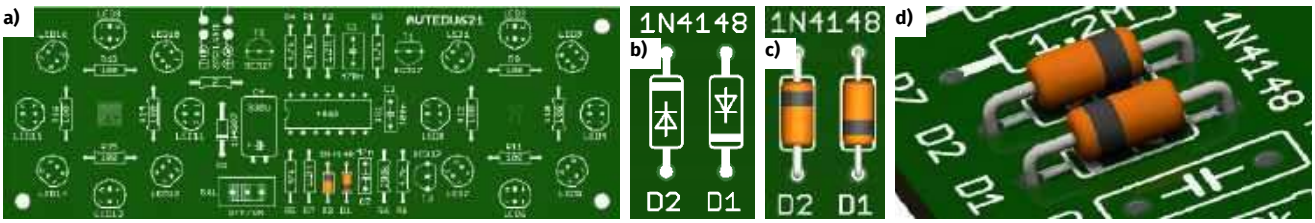
Przylutuj do płytki podstawkę pod układ US1. Przed przystąpieniem do tej czynności zapoznaj się ze wskazówkami poniżej.

- Podstawka pod układ scalony przewodzi prąd pomiędzy wyprowadzeniami układu a ścieżkami na płytce, ale sama w sobie nie pełni żadnej aktywnej funkcji elektrycznej – nie zmienia sygnałów, nie wzmacnia ich ani nie ogranicza. Jej głównym zadaniem jest zapewnienie wygodnego, bezpiecznego i wielokrotnego montażu układu scalonego bez ryzyka uszkodzenia jego wyprowadzeń lub pól lutowniczych na płytce. Podstawka umożliwia między innymi łatwą wymianę układu scalonego w razie jego uszkodzenia lub pomyłki podczas montażu.
- Podstawka pod układ scalony nie ma biegunowości w sensie elektrycznym, ale ma określoną orientację montażową. W jej obudowie znajduje się znacznik (najczęściej wycięcie lub kropka), który musi być ustawiony zgodnie ze znakiem na płytce drukowanej (**rysunek 3**). Prawidłowa orientacja podstawki jest konieczna, aby później poprawnie włożyć do niej układ scalony.
- Podstawki pod układy scalone należą do elementów o średniej wysokości, dlatego zazwyczaj montuje się je po przylutowaniu najniższych komponentów, takich jak rezystory. Dzięki temu płytka pozostaje stabilna, a podstawka nie zasłania dostępu do miejsc montażowych przeznaczonych dla pozostałych elementów.
- Przylutuj element do płytki. Jeśli nie wiesz, jak to zrobić, albo chcesz upewnić się, że wykonujesz to prawidłowo, przeczytaj sekcję *Lutowanie komponentów przewlekanych do płytki drukowanej*. Nieco poniżej znajdziesz również informacje, jak wykonać tę czynność w sposób bezpieczny dla siebie i pozostałych uczestników zajęć.
- Podczas lutowania pinów do płytki staraj się, by pomiędzy lutowanymi wyprowadzeniami nie powstały niechciane połączenia, czyli zwarcia, zwane również mostkami lutowniczymi. Jeśli podczas

eprasa.pl 6fff7859d1



Rysunek 3. a) lokalizacja podstawki pod układ scalony na płytce; b), c), d) poprawny montaż tego elementu z uwzględnieniem kierunku



Rysunek 4. a) lokalizacja diod sygnałowych na płytce; b), c), d) poprawny montaż tych elementów z uwzględnieniem kierunku

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.

- W przypadku podstawek nie ma potrzeby przycinania wyprowadzeń. Po przylutowaniu pozostaw je w oryginalnej długości.

Montaż diod sygnałowych

Zgodnie z informacjami z listy elementów przylutuj diody sygnałowe D1 i D2 we wskazanych lokalizacjach. Przed przystąpieniem do tej czynności zapoznaj się ze wskazówkami poniżej.

- Dioda sygnałowa jest elementem, który przewodzi prąd głównie w jednym kierunku, a blokuje jego przepływ w kierunku przeciwnym. Wynika to z właściwości złącza półprzewodnikowego, które przy odpowiedniej polaryzacji przewodzi, a przy odwrotnej – pozostaje zamknięte. Dzięki temu diody sygnałowe umożliwiają sterowanie kierunkiem przepływu prądu, ochronę układów oraz przetwarzanie sygnałów elektrycznych.
- Dioda ma biegunowość – przewodzi prąd tylko w jednym kierunku. Dlatego jej montaż na płytce wymaga zachowania właściwej orientacji. Na obudowie diody znajduje się pasek oznaczający katodę, który musi być ustawiony zgodnie ze znakiem na płytce drukowanej. Umieszczenie diody w złym kierunku spowoduje, że nie będzie działała prawidłowo w układzie.
- Diody sygnałowe są elementami o niewielkiej wysokości, dlatego również montuje się je we wczesnym etapie lutowania – zwykle tuż po rezystorach lub podstawkach. Dzięki temu płytka pozostaje stabilna, a diody nie utrudniają późniejszego montażu wyższych komponentów.
- Za każdym razem, gdy weźmiesz do ręki kolejną diodę, odczytaj jej oznaczenie na obudowie i porównaj je z informacją w liście elementów. Diody różnią się między sobą typami i parametrami, dlatego ważne jest, aby upewnić się, że właściwa dioda zostanie zamontowana we właściwym miejscu na płytce.
- Warto zadbać o to, aby każda dioda była włożona do płytki do końca i dobrze do niej przylegała. Estetyczny montaż nie tylko poprawia wygląd gotowego urządzenia, lecz także stabilizuje element w płytce, chroniąc go przed uszkodzeniami mechanicznymi, oraz ułatwia późniejszą diagnostykę i ewentualne naprawy.
- Jeśli rozpoznawanie typów diod sprawia Ci trudność, poproś o pomoc kolegę lub osobę prowadzącą zajęcia. Możesz też spróbować poszukać informacji na ten temat w internecie, w książkach lub u agentów AI – pod warunkiem, że masz taką możliwość i potrafisz zweryfikować wiarygodność informacji z tych źródeł.
- Zegnij wyprowadzenia diody i umieść ją w płytce (**rysunek 4**) w miejscu oznaczonym właściwym desygnatorem, pamiętając o zachowaniu jej orientacji (patrz wyżej).
- Przylutuj element do płytki. Jeśli nie wiesz, jak to zrobić, albo chcesz upewnić się, że wykonujesz to prawidłowo, przeczytaj sekcję *Lutowanie komponentów przewlekanych do płytki drukowanej*. Nieco poniżej znajdziesz również informacje, jak wykonać tę czynność w sposób bezpieczny dla siebie i pozostałych uczestników zajęć.
- Usuń nadmiar wyprowadzeń za pomocą obcinaczek. Jeśli nie wiesz, jak to zrobić, albo chcesz upewnić się, że wykonujesz to prawidłowo, przeczytaj sekcję *Przycinanie nadmiaru wyprowadzeń*. Nieco poniżej znajdziesz również informacje, jak wykonać tę czynność w sposób bezpieczny dla siebie i pozostałych uczestników zajęć.

Montaż diody prostowniczej

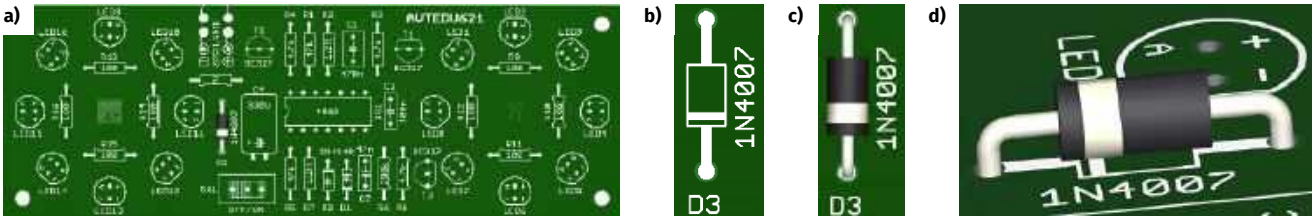
Kolejnym elementem do zamontowania jest dioda prostownicza 1N4007 (**rysunek 5**). Należy zastosować sposób postępowania jak dla diod D1 i D2, opisany powyżej.

Montaż niebieskich diod LED

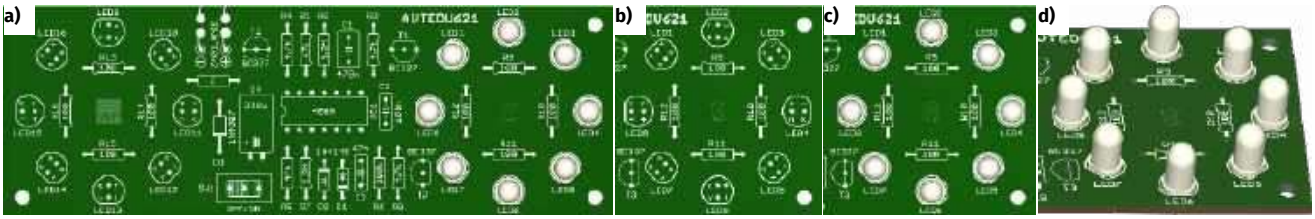
Zgodnie z informacjami z listy elementów na odpowiednich pozycjach przylutuj niebieskie diody LED: LED1...LED8 (**rysunek 6**). Przed przystąpieniem do tej czynności zapoznaj się ze wskazówkami poniżej.

- Dioda LED to element elektroniczny, który świeci, gdy płynie przez niego prąd w odpowiednim kierunku. Łączy w sobie działanie zwykłej diody – przewodzi prąd tylko w jedną stronę – oraz funkcję źródła światła. Dzięki temu LED-y mogą sygnalizować działanie układu, informować o stanie pracy urządzenia lub pracować w układach generujących efekty świetlne.
- Tak jak każda dioda, LED ma biegunowość. Oznacza to, że musi być podłączona we właściwym kierunku, inaczej nie zaświeci, a w szczególnym przypadku ulegnie uszkodzeniu. Jej katodę

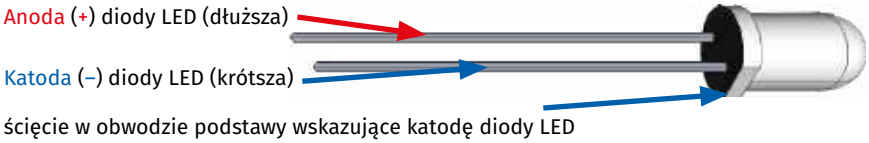
eprasa.pl 6fff7859d1



Rysunek 5. a) lokalizacja diody prostowniczej na płytce; b), c), d) poprawny montaż tego elementu z uwzględnieniem kierunku



Rysunek 6. a) lokalizacja niebieskich diod LED na płytce; b), c), d) poprawny montaż tych elementów z uwzględnieniem kierunku



Rysunek 7. Opis wyprowadzeń diody LED („plusowe" wyprowadzenie dłuższe, „minusowe" krótsze)

najczęściej oznacza ścięcie na obudowie oraz krótsza nóżka (**rysunek 7**). Przed montażem sprawdź, gdzie na PCB znajduje się oznaczenie katody, i ustaw diodę zgodnie z nim.

- Dioda LED jest elementem, który od razu przyciąga wzrok obserwatora, dlatego estetyka jej montażu ma duży wpływ na końcowy wygląd budowanego urządzenia. Warto zadbać o to, aby LED była ustawiona prostopadle do płytki i równo do niej przylegała – nawet drobne odchylenia mogą być widoczne po uruchomieniu układu, szczególnie gdy diod jest więcej.
- Z uwagi na powyższe LED-y najlepiej montować na stosunkowo wczesnym etapie lutowania. Rezystory, podstawki pod układy scalone oraz diody prostownicze i sygnałowe są zazwyczaj nieco niższe, ale zaraz po nich warto umieścić na płytce diody LED. W tym momencie pole lutownicze jest wciąż dobrze dostępne, i nic nie zasłania miejsca montażu, co ułatwia przylutowanie LED-ów równo i estetycznie.
- Zanim włożysz diodę LED do płytki, sprawdź w liście elementów, jaki kolor LED-a powinien zostać zamontowany w danej lokalizacji. Same diody – zwłaszcza w bezbarwnych obudowach – mogą wyglądać bardzo podobnie lub wręcz identycznie, dlatego warto upewnić się, jaki kolor świecenia ma LED, który trzymasz w ręku.
- Jeśli w projekcie występuje kilka kolorów diod LED w bezbarwnych obudowach, zasadne jest ich wcześniejsze posegregowanie. Najprościej zrobić to za pomocą multimetru ustawionego w tryb badania diod lub ciągłości obwodu. Przyłożenie sond – czerwonej do anody diody LED i czarnej do jej katody (**fotografia 3**) – spowoduje lekkie świecenie diody LED, co pozwoli od razu ustalić jej kolor. Dzięki temu można przyporządkować poszczególne LED-y do właściwych grup i ułożyć je na osobnych stertach. Takie przygotowanie znacząco zmniejsza ryzyko pomyłek podczas montażu i gwarantuje prawidłowy efekt wizualny w gotowym urządzeniu.
- Jeśli upewniłeś się co do odpowiedniej polaryzacji i kolorów, przylutuj wcześniej włożone diody LED (lub każdą z osobna) do płytki drukowanej. Jeśli nie wiesz, jak to zrobić, albo chcesz upewnić się, że wykonujesz to prawidłowo, przeczytaj sekcję *Lutowanie komponentów przewlekanych do płytki drukowanej*. Nieco poniżej znajdziesz również informacje, jak wykonać tę czynność w sposób bezpieczny dla siebie i pozostałych uczestników zajęć.
- Usuń nadmiar wyprowadzeń za pomocą obcinaczek. Jeśli nie wiesz, jak to zrobić, albo chcesz upewnić się, że wykonujesz to prawidłowo, przeczytaj sekcję *Przycinanie nadmiaru wyprowadzeń*. Nieco poniżej znajdziesz również informacje, jak wykonać tę czynność w sposób bezpieczny dla siebie i pozostałych uczestników zajęć.

Fotografia 3. Sprawdzanie diody LED za pomocą multimetru ustawionego na funkcję testowania diod. Po przyłożeniu sondy czerwonej do anody, a czarnej do katody, sprawna dioda LED powinna się zaświecić. Jeśli dioda ma odpowiednio długie (jeszcze nie przycięte) wyprowadzenia można się wspomóc krokodylkami

Montaż czerwonych diod LED

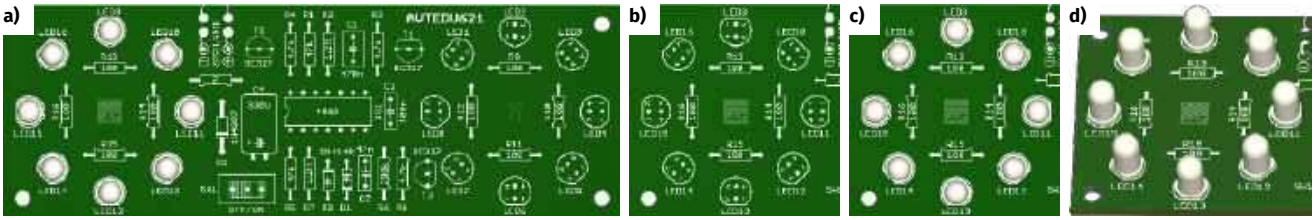
Zgodnie z informacjami z listy elementów przylutuj czerwone diody LED: LED9... LED16 we wskazanych lokalizacjach (**rysunek 8**). Sposób postępowania z diodami LED jest zgodny z opisem w sekcji powyżej.

Montaż tranzystorów PNP

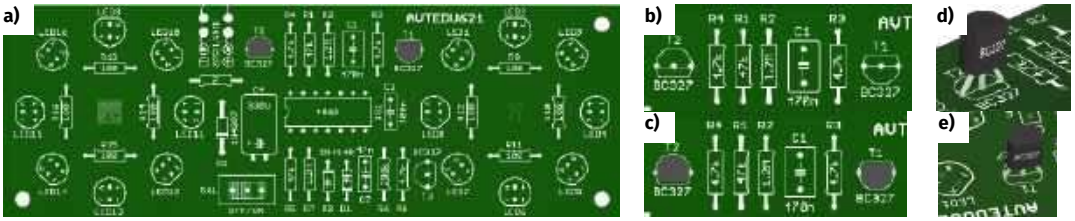
Zgodnie z informacjami z listy elementów przylutuj tranzystory PNP, T1 i T2 we wskazanych lokalizacjach (**rysunek 9**). Przed przystąpieniem do tej czynności zapoznaj się ze wskazówkami poniżej.

- Tranzystor bipolarny (BJT) to element elektroniczny, który umożliwia sterowanie przepływem prądu. Może wzmacniać sygnały, włączać lub wyłączać

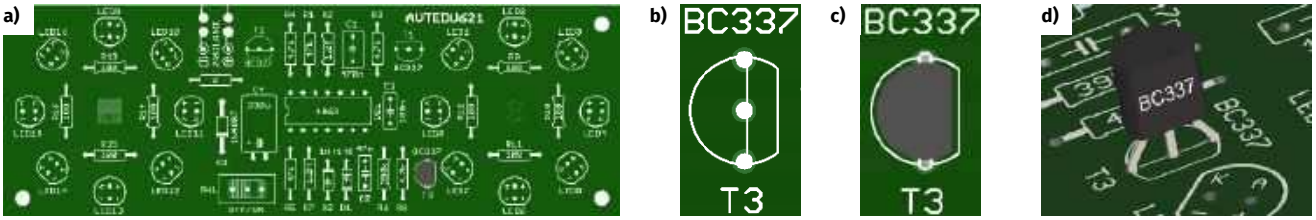
eprasa.pl 6fff7859d1



Rysunek 8. a) lokalizacja czerwonych diod LED na płytce; b), c), d) poprawny montaż tych elementów z uwzględnieniem kierunku



Rysunek 9. a) lokalizacja tranzystorów PNP na płytce; b), c), d), e) poprawny montaż tych elementów z uwzględnieniem kierunku



Rysunek 10. a) lokalizacja tranzystora NPN na płytce; b), c), d) poprawny montaż tego elementu z uwzględnieniem kierunku

obwody, a także pełnić rolę klucza sterującego innymi elementami, takimi jak diody LED, przekaźniki czy brzęczyki.

- Istnieją dwa podstawowe typy tranzystorów: NPN i PNP. Choć na pierwszy rzut oka mogą wyglądać identycznie, nie są zamienne. Każdy z nich pracuje w inny sposób i wymaga innego sposobu podłączenia. Montaż tranzystora PNP w miejscu przewidzianym dla NPN (lub odwrotnie) spowoduje, że układ nie zadziała, a w najgorszym wypadku element ulegnie uszkodzeniu. Zawsze sprawdź w liście elementów, jaki typ tranzystora ma znaleźć się w danej lokalizacji.
- Tranzystor ma trzy wyprowadzenia: bazę, kolektor i emiter. Ich rozmieszczenie zależy od typu i producenta, dlatego przed montażem koniecznie porównaj układ nóżek z oznaczeniem na płytce oraz z dokumentacją elementu. Włożenie tranzystora w niewłaściwej orientacji uniemożliwi jego poprawne działanie. Jeśli chcesz zastosować zamiennik zachowaj szczególną ostrożność.
- Ponieważ tranzystory mają określony kształt obudowy (najczęściej półokrągły z jednej strony), ważne jest ich prawidłowe ustawienie. Należy włożyć je do płytki tak, aby płaska i zaokrąglona część obudowy dokładnie odpowiadała oznaczeniu na PCB. Niesymetryczny kształt obudowy wraz z odpowiednim obrysem komponentu na płytce pozwala uniknąć pomyłek oraz ułatwia montaż i późniejsze serwisowanie układu.
- Tranzystory należy montować po elementach najniższych, takich jak rezystory i diody, ale przed komponentami wysokimi (np. elektrolitami czy złączami). Dzięki temu ich nóżki będą łatwo dostępne do lutowania, a obudowa będzie stabilna podczas ustawiania w odpowiedniej pozycji.
- Zadbaj o estetyczny montaż tranzystora. Jego obudowa powinna być pionowa, a wyprowadzenia równomiernie dociśnięte do płytki. Przechylony tranzystor nie tylko wygląda nieestetycznie, ale też jest bardziej narażony na uszkodzenia mechaniczne.
- Po umieszczeniu tranzystora w płytce delikatnie odegnij jego dwie skrajne nóżki, aby nie wypadł podczas lutowania. Następnie przylutuj środkową nóżkę, ustaw do pionu dwie skrajne i je również przylutuj. Lutując, pamiętaj, aby nie przegrzewać wyprowadzeń – nadmierna temperatura może skrócić żywotność elementu.
- Jeśli chcesz upewnić się, że czynność lutowania wykonujesz prawidłowo, przeczytaj sekcję *Lutowanie komponentów przewlekanych do płytki drukowanej*. Nieco poniżej znajdziesz również informacje, jak wykonać tę czynność w sposób bezpieczny dla siebie i pozostałych uczestników zajęć.
- Usuń nadmiar wyprowadzeń za pomocą obcinaczek. Jeśli nie wiesz, jak to zrobić, albo chcesz upewnić się, że wykonujesz to prawidłowo, przeczytaj sekcję *Przycinanie nadmiaru wyprowadzeń*. Nieco poniżej znajdziesz również informacje, jak wykonać tę czynność w sposób bezpieczny dla siebie i pozostałych uczestników zajęć.

Montaż tranzystora NPN

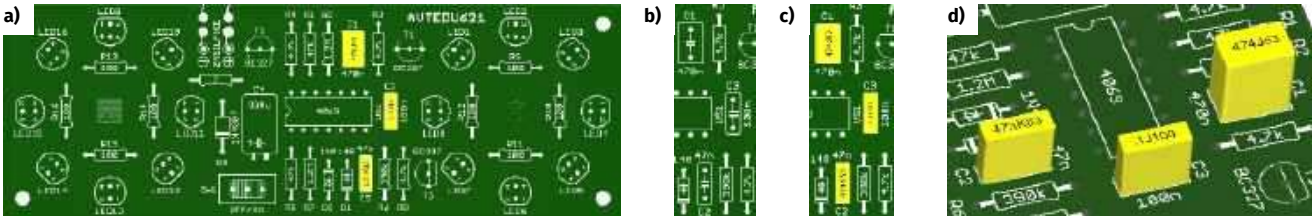
Zgodnie z informacjami z listy elementów przylutuj tranzystor NPN, T3 na wskazanej lokalizacji (**rysunek 10**). Sposób postępowania z tranzystorem NPN jest zgodny z opisem w sekcji powyżej.

Montaż kondensatorów foliowych (MKT)

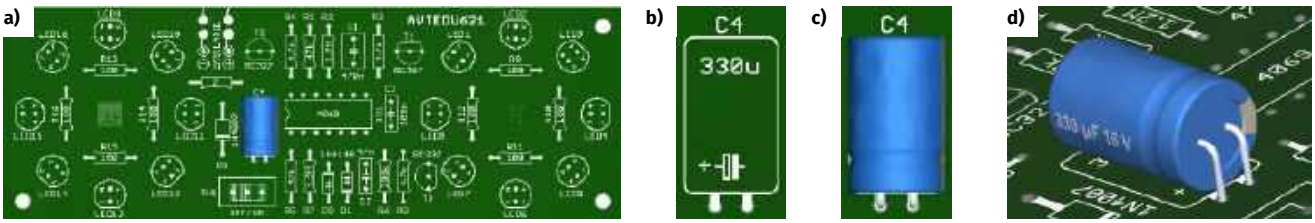
Zgodnie z informacjami z listy elementów przylutuj kondensatory foliowe C1, C2 i C3 we wskazanych lokalizacjach. Przed przystąpieniem do tej czynności zapoznaj się ze wskazówkami poniżej.

- Kondensator foliowy to element elektroniczny służący do magazynowania ładunku elektrycznego. W układach może pełnić wiele funkcji: filtrować zakłócenia, stabilizować pracę obwodów, blokować składową stałą lub współpracować z rezystorami w układach czasowych. Kondensatory foliowe

eprasa.pl 6fff7859d1



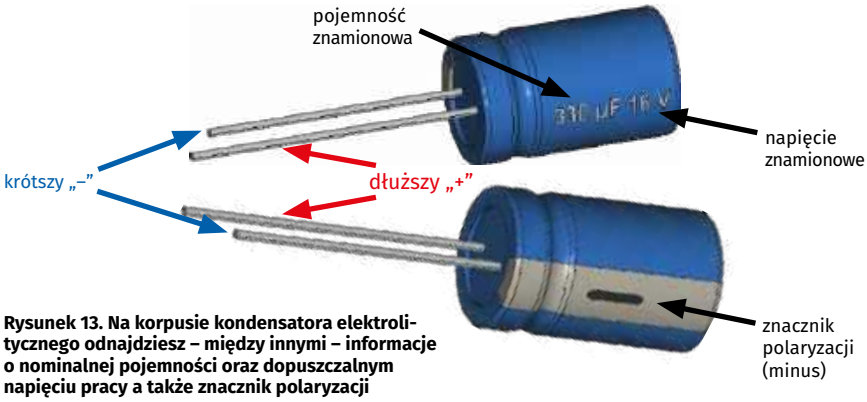
Rysunek 11. a) lokalizacja kondensatorów MKT na płytce; b), c), d) poprawny montaż tych elementów



Rysunek 12. a) lokalizacja kondensatora elektrolitycznego na płytce; b), c), d) poprawny montaż tego elementu z uwzględnieniem kierunku

wyróżniają się stabilnymi parametrami oraz niewielkimi stratami, dzięki czemu są chętnie stosowane zazwyczaj w precyzyjnych fragmentach układu.

- Kondensatory foliowe w większości przypadków nie mają biegunowości, co oznacza, że można je montować w dowolną stronę. Wyjątkiem są rzadko spotykane konstrukcje oznaczone dodatkowym paskiem lub symbolem elektrody zewnętrznej – jeśli takie oznaczenie występuje, należy postępować zgodnie z opisem w dokumentacji. W typowych projektach edukacyjnych kondensatory foliowe można traktować jako elementy niepolaryzowane.
- Przed montażem sprawdź zgodność pojemności kondensatora z miejscem, w którym ma zostać zamontowany. Odczytaj oznaczenie z jego obudowy i porównaj je z informacją w liście elementów. Zapoznaj się także z komentarzem dotyczącym sposobów oznaczania pojemności kondensatorów, zamieszczonym w sekcji *Interpretacja oznaczeń komponentów* zaraz pod listą elementów – ułatwi to prawidłową identyfikację każdego elementu.
- Kondensatory foliowe mają zwykle dość sztywną obudowę i proste wyprowadzenia, dlatego łatwo je ustawić w odpowiedniej pozycji. Warto dopilnować, aby były ustawione prostopadle do płytki i dobrze do niej przylegały. Estetyczny montaż nie tylko poprawia wygląd gotowego urządzenia, ale również ułatwia późniejszą diagnostykę i ewentualne naprawy.
- Kondensatory foliowe zalicza się do elementów średniej wysokości, dlatego montuje się je po elementach najniższych (rezystorach, diodach) i tranzystorach, a przed wysokimi kondensatorami elektrolitycznymi, przekaźnikami czy złączami. Taka kolejność zapewnia stabilne ułożenie płytki oraz dobry dostęp podczas wkładania komponentów do płytki i ich lutowania.
- Po włożeniu kondensatora do odpowiednich otworów delikatnie odchyl jego wyprowadzenia, aby nie wypadł przy odwracaniu płytki. Jeśli wyprowadzenia są odpowiednio sztywne, wystarczy niewielkie zagięcie pod kątem kilku stopni.
- Przylutuj element do płytki. Jeśli nie wiesz, jak to zrobić, albo chcesz upewnić się, że wykonujesz to prawidłowo, przeczytaj sekcję *Lutowanie komponentów przewlekanych do płytki drukowanej*. Nieco poniżej znajdziesz również informacje, jak wykonać tę czynność w sposób bezpieczny dla siebie i pozostałych uczestników zajęć.
- Usuń nadmiar wyprowadzeń za pomocą obcinaczek. Jeśli nie wiesz, jak to zrobić, albo chcesz upewnić się, że wykonujesz to prawidłowo, przeczytaj sekcję Przycinanie nadmiaru wyprowadzeń. Nieco poniżej znajdziesz również informacje, jak wykonać tę czynność w sposób bezpieczny dla siebie i pozostałych uczestników zajęć.



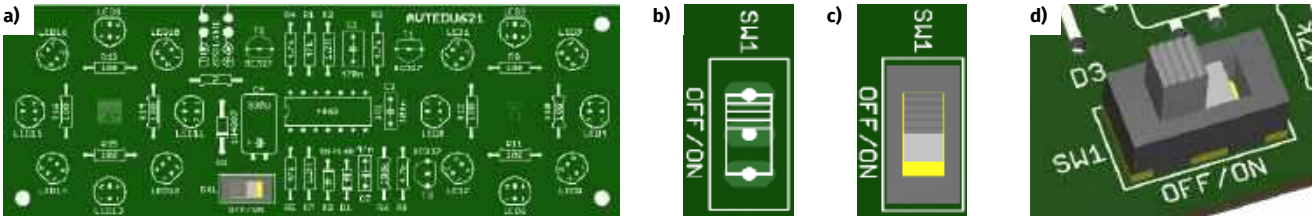
Rysunek 13. Na korpusie kondensatora elektrolitycznego odnajdziesz – między innymi – informacje o nominalnej pojemności oraz dopuszczalnym napięciu pracy a także znacznik polaryzacji

Montaż kondensatora elektrolitycznego

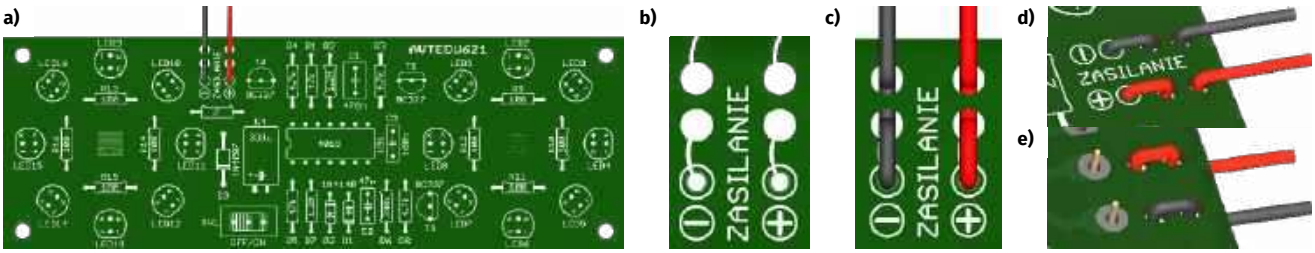
Zgodnie z informacjami z listy elementów przylutuj kondensator elektrolityczny C4 na wskazanej lokalizacji (**rysunek 12**). Przed przystąpieniem do tej czynności zapoznaj się ze wskazówkami poniżej.

- Kondensator elektrolityczny to element spolaryzowany, który może magazynować stosunkowo duży ładunek elektryczny i pełnić w układzie różne funkcje: stabilizować napięcie, wygładzać tętnienia, filtrować zakłócenia lub dostarczać krótkotrwałych impulsów prądowych. Dzięki dużej pojemności w niewielkiej obudowie jest często stosowany w zasilaczach i układach energoelektronicznych.
- Kondensatory elektrolityczne mają zawsze określoną biegunowość. Na obudowie znajduje się wyraźne oznaczenie minusa (zwykle biały pasek), a dłuższa noga oznacza plus zasilania. Montaż odwrotny grozi

eprasa.pl 6fff7859d1



Rysunek 14. a) lokalizacja przełącznika na płytce; b), c), d) poprawny montaż tego elementu



Rysunek 15. a) lokalizacja przewodów złącza baterii na płytce; b), c), d), e) poprawny montaż tych przewodów

uszkodzeniem kondensatora, a w skrajnych przypadkach nawet jego rozerwaniem (rozszczelnieniem i dezintegracją). Zawsze upewnij się, że plus i minus znajdują się we właściwych otworach na płytce.

- Przed montażem sprawdź zgodność pojemności i napięcia kondensatora z miejscem, w którym ma zostać umieszczony. Odczytaj nadruk z obudowy (np. „330 µF 16 V") i porównaj go z informacją w liście elementów.
- Kondensatory elektrolityczne są wysokimi elementami, dlatego montuje się je dopiero po wlutowaniu wszystkich niższych komponentów, takich jak rezystory, diody, tranzystory czy kondensatory foliowe. Taka kolejność ułatwia pracę oraz zapewnia stabilne oparcie płytki podczas lutowania.
- Po umieszczeniu kondensatora w otworach sprawdź jeszcze raz jego orientację. W przypadku elementów polaryzowanych warto wyrobić sobie nawyk podwójnego sprawdzania przed przylutowaniem – to pozwala uniknąć potencjalnie niebezpiecznych błędów.
- Aby kondensator nie wypadł podczas obracania płytki, delikatnie odchyl jego wyprowadzenia na zewnątrz. Wystarczy niewielkie odgięcie pod kątem kilku stopni. Zbyt silne zaginanie może utrudnić przycinanie nadmiaru wyprowadzeń, a także przyszły ewentualny demontaż kondensatora.
- Przylutuj kondensator elektrolityczny do płytki, dbając o solidne, czyste punkty lutownicze. W razie wątpliwości zajrzyj do sekcji *Lutowanie komponentów przewlekanych do płytki drukowanej*, gdzie opisano właściwą technikę lutowania i zasady bezpieczeństwa.
- Po zakończeniu lutowania odetnij nadmiar wyprowadzeń obcinaczkami. Wskazówki dotyczące bezpiecznego przycinania znajdziesz w sekcji *Przycinanie nadmiaru wyprowadzeń*.
- Pamiętaj o bezpieczeństwie. Kondensator elektrolityczny zamontowany odwrotnie lub podłączony do wyższego niż znamionowe napięcie może ulec uszkodzeniu, a nawet gwałtownie wybuchnąć. Dlatego przed pierwszym podłączeniem zasilania zawsze upewnij się, że został zamontowany poprawnie i ma właściwe parametry.
- Przed pierwszym podłączeniem napięcia do układu zawierającego kondensatory elektrolityczne obowiązkowo zakładaj okulary ochronne.

Montaż przełącznika zasilania

Pora na zamontowanie przełącznika zasilania, opisanego na schemacie i PCB jako SW1 (**rysunek 14**).

- Przełącznik zasilania SW1 to element, który przełącza połączenie pomiędzy pinem środkowym a jednym ze skrajnych, zależnie od położenia hebelka. W tego typu konstrukcji kierunek montażu nie ma żadnego znaczenia – niezależnie od tego, jak zostanie obrócony, będzie działał prawidłowo.
- Obrys na płytce PCB może zawierać dodatkowe linie symbolizujące położenie hebelka, ale służą one wyłącznie temu, by łatwo rozpoznać miejsce montażu. Nie są to oznaczenia biegunowości ani wymaganej orientacji.
- Włóż przełącznik do płytki tak, aby wszystkie trzy jego wyprowadzenia swobodnie przeszły na drugą stronę PCB. Piny przełącznika są sztywne i nie nadają się do wyginania, dlatego nie należy ich odchylać w celu stabilizacji elementu.
- Ponieważ wyprowadzenia są sztywne, przełącznik trzeba przytrzymać podczas lutowania – można to zrobić ręką albo poprosić o pomoc kolegę lub opiekuna.
- Najpierw przylutuj środkowy pin przełącznika. Ten pojedynczy punkt lutowniczy pozwala ustabilizować komponent i kontrolować jego położenie względem płytki.
- Po upewnieniu się, że przełącznik dobrze przylega do PCB, przylutuj pozostałe dwa wyprowadzenia. Dzięki temu unikniesz sytuacji, w której element zostanie przylutowany pod kątem lub z przerwą pomiędzy obudową a powierzchnią płytki.
- Luty powinny być czyste, błyszczące i solidne. Jeśli nie masz pewności, czy lutujesz poprawnie, zajrzyj do sekcji *Lutowanie komponentów przewlekanych do płytki drukowanej*, gdzie opisano zarówno technikę, jak i zasady bezpieczeństwa.
- Po zakończeniu montażu sprawdź mechaniczne działanie hebelka. Przełącznik powinien poruszać się lekko i wyraźnie wskakiwać w dwie pozycje pracy.

Montaż złącza baterii

Na koniec przylutuj złącze baterii 9 V, tak zwaną „kijankę". Przed przystąpieniem do tej czynności zapoznaj się ze wskazówkami poniżej (**rysunek 15**).

eprasa.pl 6fff7859d1

Pierwsze podłączenie zasilania do płytki

Zanim włożymy układ scalony do podstawki, warto na chwilę podłączyć zasilanie do jeszcze „nieukończonej" płytki i sprawdzić, czy napięcie na złączu zasilania lub na bateriach nie spada do zera – taki spadek oznaczałby błąd montażowy lub zwarcie w obwodzie zasilania. **Przed przystąpieniem do tej czynności przeczytaj koniecznie ramkę *Zagadnienia BHP związane z uruchamianiem zmontowanego układu*.** Na początku ustawiamy włącznik w pozycji OFF i mierzymy napięcie na wejściu, czyli na przewodach baterii lub zasilacza. Jeśli pojawia się tam spodziewana wartość (napięcie znamionowe zasilacza lub kompletu baterii), oznacza to, że źródło zasilania działa poprawnie. Następnie przełączamy włącznik zasilania oznaczony na płytce desygnatorem SW1 w pozycję ON i sprawdzamy, czy napięcie nie znika.

Jego zanik wskazywałby na usterkę montażową zbudowanego układu, na przykład przypadkowe zwarcie powstałe przez połączenie cyną dwóch sąsiednich pól lutowniczych. W namierzeniu takich pomyłek bardzo pomaga schemat montażowy, na którym dokładnie widać przebieg ścieżek, rozmieszczenie padów oraz to, które połączenia powinny istnieć, a których być nie powinno. Po odnalezieniu usterki należy ją oczywiście wyeliminować. Gdy napięcie wejściowe jest prawidłowe i stabilne, upewniamy się, że po ustawieniu włącznika w pozycję ON pojawia się ono również na odpowiednich pinach podstawki układu scalonego. Numery pinów zasilających odczytujemy ze schematu ideowego.

Takie testowe podłączenie zasilania oraz pomiar na źródle zasilania oraz na odpowiednich pinach podstawki pozwalają wstępnie zweryfikować poprawność montażu i potencjalnie uchronić najdroższe oraz najbardziej wrażliwe elementy – układy scalone – przed uszkodzeniem.

Montaż układu scalonego w podstawce

Jeśli woltomierz podczas pomiaru napięcia na źródle zasilania oraz na odpowiednich pinach podstawki wskazał właściwe wartości możesz odłączyć baterie, wyłączyć przełącznik SW1 i zamontować układ scalony w podstawce. W przeciwnym wypadku, musisz odłączyć zasilanie, odnaleźć i naprawić usterkę montażową.

Włożenie układów scalonych do podstawek wydaje się łatwe, ale trzeba przy tym zachować uwagę i ostrożność. Ważne jest, aby układy były skierowane we właściwe strony (co wytłumaczę za moment) oraz by wszystkie ich nóżki trafiły dokładnie w otwory podstawek. 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 kierunek montażu układów scalonych w podstawkach. 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 (**rysunek 18**). Gdy lokalizacja znacznika na układzie scalonym zgadza się

Rysunek 16. Pomiar napięcia na źródle, który warto wykonać zarówno przed jak i po załączeniu przełącznika SW1

Rysunek 17. Pomiar napięcia zasilającego układ scalony na odpowiednich wyprowadzeniach podstawki po ustawieniu przełącznika SW1 w pozycję ON. Użyj schematu ideowego by ustalić właściwe wyprowadzenia

Zagadnienia BHP związane z uruchamianiem zmontowanego układu

- Przed podłączeniem zasilania bezwzględnie załóż okulary ochronne w celu ochrony oczu przed możliwym wybuchem nieprawidłowo zamontowanych elementów spolaryzowanych, takich jak kondensatory elektrolityczne, układy scalone, tranzystory czy diody.
- Upewnij się, że używasz zasilacza lub baterii o właściwym napięciu i prawidłowej polaryzacji – błędne podłączenie zasilania może spowodować gwałtowne uszkodzenie lub wybuch elementów w uruchamianym układzie.
- Upewnij się, że w układzie nie ma zwarć ani luźnych metalowych ścinków na płytce. Zwarcie może spowodować nagłe przegrzanie i wybuch elementów.
- Nie pochylaj twarzy nad układem podczas pierwszego włączania zasilania. Zachowaj rozsądną odległość, aby zminimalizować ryzyko urazu w przypadku awarii elementu.
- Jeśli po włączeniu zasilania pojawi się dym, trzask, zapach spalenizny lub nagłe nagrzanie któregoś z elementów – natychmiast odłącz zasilanie, a następnie – przy odłączonym zasilaniu – znajdź i usuń usterkę.

eprasa.pl 6fff7859d1

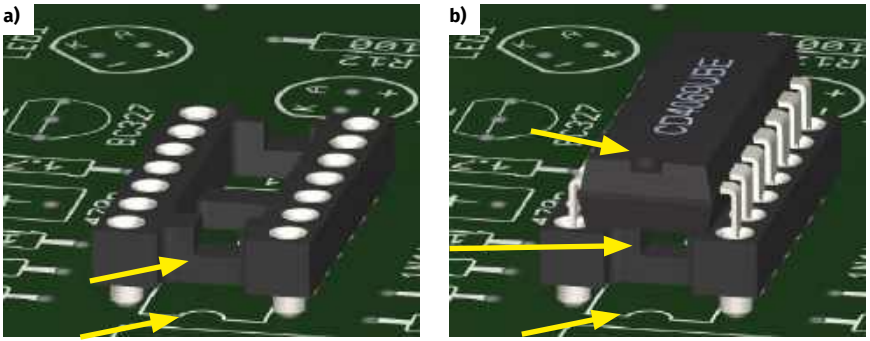
z pozostałymi, można przystąpić do wciśnięcia układu w podstawkę.

Lutowanie komponentów przewlekanych do płytki drukowanej

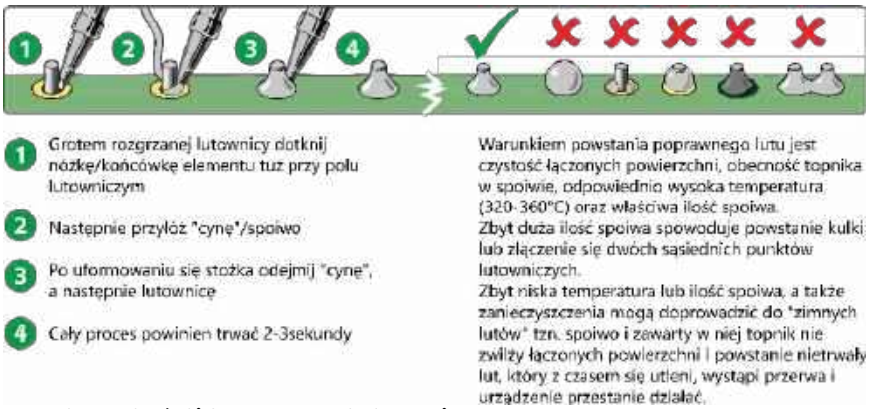
Montaż elementów przewlekanych na płytce drukowanej zaczyna się od prawidłowego i stabilnego umieszczenia komponentów w otworach PCB. Najpierw przygotuj element, który chcesz zamontować. W przypadku komponentów spolaryzowanych, takich jak diody, tranzystory i podstawki pod układy scalone należy pamiętać o zachowaniu właściwego kierunku ich osadzenia. W przypadku elementów o dwóch wyprowadzeniach, takich jak rezystory czy diody, należy delikatnie wygiąć ich nóżki tak, aby można było swobodnie włożyć je w przeznaczone dla nich otwory (patrz załączone rysunki). Po wsunięciu komponentu i dociśnięciu jego korpusu do powierzchni płytki warto lekko odchylić wyprowadzenia na zewnątrz. Dzięki temu element nie wypadnie po odwróceniu płytki. Przy komponentach o trzech nóżkach, na przykład tranzystorach, postępuje się podobnie, jednak odgina się wyłącznie skrajne wyprowadzenia, pozostawiając środkowe w naturalnej pozycji. Ułatwia to ewentualny demontaż elementu w przyszłości i zmniejsza ryzyko jego przypadkowego uszkodzenia.

Szczególną uwagę należy zwrócić na montaż podstawek pod układy scalone, ponieważ wygląda on nieco inaczej niż w przypadku zwykłych elementów. Podstawki precyzyjne mają sztywne, okrągłe piny, których nie da się odgiąć, dlatego po włożeniu do płytki podstawka wymaga przytrzymania. Najłatwiej zrobić to, dociskając podstawkę palcem lub opierając płytkę o blat tak, aby podstawka nie mogła wypaść z otworów. Następnie przylutowuje się po jednym skrajnym wyprowadzeniu w dwóch przeciwległych rogach. Gdy podstawka jest wstępnie unieruchomiona, należy sprawdzić, czy całą powierzchnią przylega do płytki. Jeśli któryś róg odstaje, wystarczy ponownie rozgrzać dany lut i delikatnie docisnąć podstawkę; po ostygnięciu powinna ona leżeć idealnie równo.

W zestawach do samodzielnego montażu najczęściej spotyka się jednak podstawki zwykłe, których wyprowadzenia wykonane są z cienkiej, sprężystej blachy. Takie piny można po włożeniu podstawki do płytki lekko odgiąć na zewnątrz, co wystarczająco unieruchomi podstawkę i zapobiegnie jej wypadnięciu podczas odwracania płytki. Wymaga to jednak szczególnej ostrożności.



Rysunek 18. 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



Rysunek 19. Wskazówki dotyczące sposobu lutowania

Delikatne, płaskie wyprowadzenia bardzo łatwo się wyginają i mogą zamiast do otworu trafić pod podstawkę, chowając się między nią a płytką. To jeden z najbardziej zdradliwych błędów montażowych – trudny do zauważenia i równie trudny do naprawy – dlatego przed rozpoczęciem lutowania koniecznie sprawdź, czy absolutnie każdy pin wszedł do właściwego otworu. Dopiero gdy wszystkie nóżki są poprawnie osadzone, można rozpocząć lutowanie właściwe.

Rozgrzanym do około 350°C grotem lutownicy łatwo się poparzyć, dlatego nigdy nie należy dotykać metalowej części urządzenia. Do trzymania służy plastikowa, zwykle gumowana rękojeść, która zapewnia że nie ślizga się ona i nie przesuwa w dłoni. Lutownicę trzymaj w tej ręce, którą piszesz, tak jak trzyma się ołówek – stabilnie, ale bez zbędnego nacisku. Podczas lutowania grot powinien jednocześnie dotykać pola lutowniczego i wyprowadzenia elementu. Tylko wtedy cyna prawidłowo rozpłynie się między nimi. Po krótkim nagrzaniu, trwającym zwykle dwie do trzech sekund, przykładamy cynę do miejsca lutowania, a nie do grotu. Roztopiona cyna powinna otoczyć nóżkę elementu i utworzyć mały, lśniący stożek. Kiedy ten kształt się pojawi, należy odsunąć drut cyny, a po chwili także lutownicę. Poprawnie wykonany lut jest błyszczący, równy i trwały, a wszystkie elementy pozostają stabilnie zamocowane. Jakość wykonanego połączenia możesz zweryfikować wspomagając się **rysunkiem 19**. Dzięki spokojnej pracy i starannemu przygotowaniu nawet pierwsze lutowanie może zakończyć się naprawdę profesjonalnym efektem.

Montaż przyjazny naprawom

Komponenty przewlekane (THT) warto lutować do płytki w taki sposób, aby w razie potrzeby można je było łatwo wymienić. Zawsze dobrze mieć z tyłu głowy, że któryś z elementów może się kiedyś uszkodzić albo – już na etapie montażu – okaże się, że użyto niewłaściwego komponentu i konieczna będzie jego wymiana. Od tego, jak zostanie on zamontowany, zależy, czy późniejsza naprawa okaże się udręką, czy raczej prostą, szybką czynnością.

Zaginanie wyprowadzeń elementów przeznaczonych do montażu przewlekanego wydaje się kuszące – stabilizuje je to w otworach i zapobiega wypadaniu przed lutowaniem. Niestety, taka metoda znacznie utrudnia demontaż uszkodzonych lub błędnie zamontowanych komponentów. Szczególnie kłopotliwe bywa wylutowywanie diod LED z twardymi nóżkami zagiętymi pod kątem: bardzo łatwo wtedy uszkodzić pole lutownicze na płytce, a czasem też samą diodę.

eprasa.pl 6fff7859d1

Zagadnienia BHP związane z lutowaniem

1. Gorący grot to ryzyko poparzenia (dla Ciebie i innych)
- Rozgrzany grot lutownicy ma około 350°C – nie dotykaj go i nie i nie zbliżaj do skóry.
- Odkładaj lutownicę wyłącznie na stabilną podstawkę, aby nikt przypadkiem jej nie dotknął.
- Nie machaj lutownicą i nie przechodź z nią nad innymi osobami.

2. Ochrona oczu (wskazana zwłaszcza w pracy grupowej)
- Topnik zawarty w cynie potrafi pryskać, co bywa odczuwalne na dłoniach. Okulary ochronne zmniejszają ryzyko kontaktu takich odprysków z okolicą oczu.
- Okulary ochronne chronią przed przypadkowym zbliżeniem gorących elementów lutownicy do twarzy.
- W pracy grupowej okulary dodatkowo zmniejszają ryzyko urazu spowodowanego czyjąś nieuwagą.
- W pracy indywidualnej, jeśli okulary bardzo ograniczają widoczność, można z nich zrezygnować – pod warunkiem, że pracujesz ostrożnie i nie zbliżasz twarzy do lutowanych elementów, dzięki czemu ograniczasz ryzyko kontaktu z pryskającym topnikiem.

3. Opary topnika
- Topnik w rdzeniu bezołowiowej cyny nadal wydziela opary – nie wdychaj ich bezpośrednio.
- Stosuj pochłaniacz oparów lub zapewnij przewiew, aby chronić drogi oddechowe swoje i osób w pobliżu.

4. Ochrona przed pożarem
- Odsuń papier, chusteczki, folie i inne łatwopalne przedmioty od lutownicy.
- Nie zostawiaj lutownicy bez kontroli – ktoś może ją strącić lub dotknąć.
- Upewnij się, że kabel lutownicy nie jest uszkodzony oraz nie ociera się o gorące elementy.

5. Procedury po zakończeniu pracy
- Odłącz lutownicę od prądu i pozostaw do ostygnięcia w miejscu niedostępnym dla innych.
- Umyj ręce – usuwa się pozostałości topnika i metali (mimo braku ołowiu to wciąż dobra praktyka higieniczna).

6. W razie wypadku
- Poparzenie chłodź zimną bieżącą wodą przez co najmniej 10 minut.
- Podejrzenie pożaru → natychmiast odłącz lutownicę i oddal osoby od stanowiska.
- W każdym wypadku natychmiast powiadom opiekuna lub inną dorosłą osobę.

Zagadnienia BHP związane z przycinaniem nadmiaru wyprowadzeń

1. Postępuj ostrożnie z ostrymi narzędziami
- Używaj tylko sprawnych cążków do elektroniki.
- Palce trzymaj z dala od ostrza.
- Cążków nie podawaj ostrzem w stronę drugiej osoby.

2. Zapobieganie odpryskom (najważniejsza zasada)
- Odcinane wyprowadzenie zawsze obowiązkowo chwytaj drugą ręką – wtedy nie odskoczy i nikogo nie zrani.
- Jeśli drucik jest zbyt krótki, by go chwycić, ustaw drugą rękę tak, aby zasłaniała tor ewentualnego odprysku (z zachowaniem bezpiecznej odległości od ostrza).
- Nie pochylaj twarzy nad miejscem cięcia.

3. Ochrona oczu (obowiązkowa)
- Okulary ochronne są absolutnie obowiązkowe – zwłaszcza podczas pracy grupowej, gdzie odprysk może pochodzić nie tylko z Twojego stanowiska.

4. Porządek i bezpieczeństwo na stanowisku
- Pracuj nad stołem i odkładaj ścinki w jedno miejsce.
- Po pracy sprawdź blat i wyrzuć wszystkie metalowe kawałki do kosza na śmieci.

5. W razie wypadku
- Skaleczenie przemyj wodą, zdezynfekuj i załóż plaster.
- Jeśli ścinek trafi do oka – nie pocieraj, nie uciskaj powieki i nie próbuj go wyjmować. Utrzymaj oko spokojnie i natychmiast powiadom opiekuna.
- O każdym urazie natychmiast poinformuj dorosłego.

Aby tego uniknąć, po umieszczeniu elementu w otworach warto przed przylutowaniem jednego z wcześniej zagiętych pinów wyprostować go – ustawić prostopadle do płytki – i dopiero wtedy przylutować. Tę czynność należy powtórzyć dla każdego wyprowadzenia. Nie trzeba obawiać się, że element wypadnie z płytki: po jej odwróceniu komponent opiera się o blat i jest dodatkowo trzymany przez pozostałe, nadal zagięte lub już przylutowane nóżki. W przypadku elementów wielonóżkowych stabilizacja jest jeszcze lepsza, ponieważ jednocześnie utrzymuje je w miejscu kilka wyprowadzeń.

Taka technika montażu bardzo ułatwia późniejszą naprawę. Skrócone, niezablokowane zagięciem piny bez trudu przechodzą przez otwory, gdy tylko ponownie rozgrzejemy lut. Dzięki temu wymiana komponentu staje się szybka, bezpieczna i nie grozi uszkodzeniem płytki.

Przycinanie nadmiaru wyprowadzeń

Nadmiar wyprowadzeń uprzednio przylutowanych komponentów do montażu przewlekanego obetnij przy użyciu obcinaczek. Pamiętaj, aby nie ścinać lutu – cięcie wykonuj dopiero za miejscem, w którym kończy się spoina i wystaje samo wyprowadzenie (**rysunek 20**). Pamiętaj, aby nie szarpać ani nie ciągnąć za wyprowadzenie przylutowanego komponentu. Mogłoby to doprowadzić do dość kłopotliwego w naprawie wyrwania pola lutowniczego z płytki i zerwania połączenia komponentu ze ścieżką.

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 4a** oraz **4b**.

Rysunek 20. Właściwe miejsce cięcia nadmiaru wyprowadzeń po przylutowaniu komponentu. Po wykonaniu cięcia spoina powinna pozostać nienaruszona

eprasa.pl 6fff7859d1

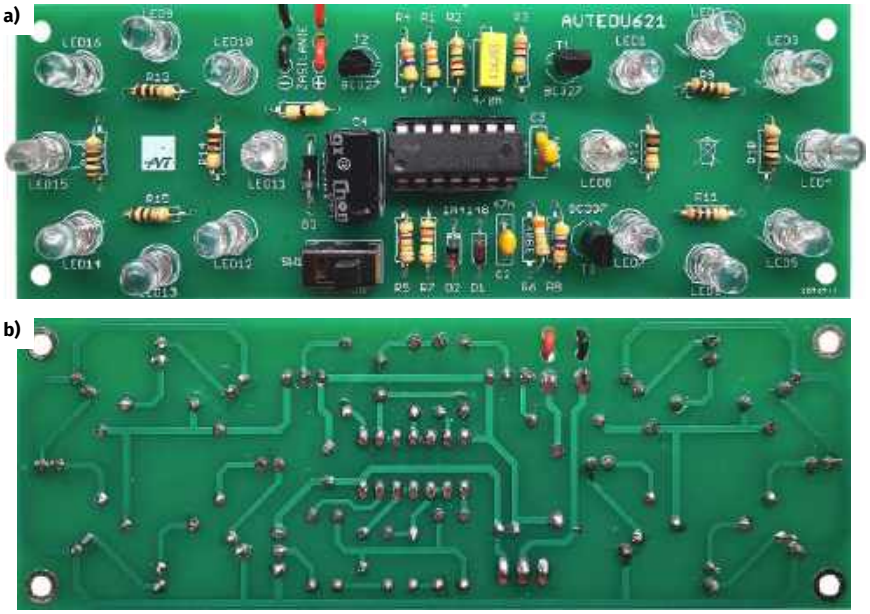
Ale właściwie... dlaczego to działa?

Na schemacie ideowym *Stroboskopu policyjnego LED* przedstawionym na **rysunku 21** znajdują się dwa niezależne generatory sygnałów. Pierwszy, zbudowany z bramek US1F, US1E oraz elementów R1, R2 i C1, zlokalizowany w lewej górnej części schematu generuje przebieg wolnozmienny, naprzemiennie załączający za pośrednictwem tranzystorów T1 oraz T2 dwa niezależne bloki LED. T1 załącza diody niebieskie, T2 – czerwone. Użyto bramki logiczne typu NOT, czyli takie, które zamieniają fazę sygnału. Dlatego, gdy na wejściu bramki US1D (wyprowadzenie 9) panuje logiczny stan niski, załączający T2, na wyjściu tej bramki (wyprowadzenie 8) pojawia się stan wysoki, zatykający T1, a gdy na wejściu 9 pojawi się logiczny stan wysoki sytuacja się odwraca. Tym sposobem, raz załączany jest niebieski blok diod LED, a raz czerwony. Zawsze załączony jest któryś z tych bloków i nigdy nie świecą oba.

Co więcej bloki te nie świecą światłem ciągłym, a seriami impulsów, za co odpowiada generator zbudowany z bramek US1A oraz US1B i kilku towarzyszących elementów dyskretnych: pętli zbudowanej z C2 oraz R5 pomiędzy wyjściem bramki US1B (wyprowadzenie 4) oraz wejściem bramki US1A (wyprowadzenie 1). Wyjście bramki US1A (wyprowadzenie 2) połączone jest bezpośrednio z wejściem bramki US1B (wyprowadzenie 4), jednak w to miejsce podpięto dodatkowo dwie równolegle połączone ze sobą gałęzie. Pierwsza zbudowana jest z rezystora R6 i skierowanej w jego stronę diody D1, druga z rezystora R7 i diody skierowanej w przeciwnym kierunku, w stronę bezpośredniego połączenia bramek US1A i US1B. Od strony rezystorów obie gałęzie wpięte są pomiędzy pętlę złożoną z rezystora R5 i kondensatora C2.

Generator przebiegu wolnozmiennego

Pierwszy z omawianych generatorów (lewy górny obszar schematu: elementy **US1F**, **US1E**, **R1**, **R2** oraz **C1**) wykorzystuje bramki logiczne w konfiguracji oscylatora relaksacyjnego. Kondensator C1 jest cyklicznie ładowany i rozładowywany przez rezystancje w pętli sprzężenia zwrotnego, a zmieniające się w czasie napięcie na jego okładkach powoduje okresowe przełączanie stanu bramki. Kolejne inwertery przekształcają ten przebieg w sygnał prostokątny, którym sterowane są tranzystory T1 i T2, przełączające bloki diod LED.



Fotografia 4. Poprawnie zmontowany układ Stroboskopu policyjnego LED. Widok płytki a) od strony komponentów; b) od strony lutowania

O czasie trwania jednego cyklu decydują głównie elementy R2=1,2 MΩ oraz C1=470 nF, połączone pomiędzy wejściem i wyjściem inwertera US1E. Rezystor R1=47 kΩ nie bierze bezpośredniego udziału w ustalaniu stałej czasowej – jego zadaniem jest ustalenie punktu pracy wejścia bramki, ograniczenie prądu wejściowego oraz zapewnienie poprawnych warunków startu generatora po włączeniu zasilania.

W oscylatorze relaksacyjnym kondensator nie jest ładowany od 0 V do napięcia zasilania VCC, lecz pomiędzy progami przełączania bramki logicznej. Przyjmując typowe, dydaktyczne przybliżenie progów wejścia CMOS na poziomie około 1/3 i 2/3 napięcia zasilania, czas jednej połówki okresu (ładowania lub rozładowania kondensatora) wynosi:

$$t_{\frac{1}{2}} = R \cdot C \cdot \ln\left(2\right) \approx 0{,}693 \cdot R \cdot C$$

Pełny okres drgań jest więc równy:

$$T \approx 2 \cdot 0{,}693 \cdot R \cdot C = 1{,}386 \cdot R \cdot C$$

Podstawiając wartości elementów:

$$R \cdot C = 1,2M\Omega \cdot 47nF =$$

$$1,2 \cdot 10^{6}\Omega \cdot 47 \cdot 10^{-9}F =$$

$$1,2\Omega \cdot 47F \cdot 10^{-3} = 0{,}564s$$

Zatem okres wynosi:

$$T \approx 1{,}386 \cdot 0{,}564s \approx 0,78s$$

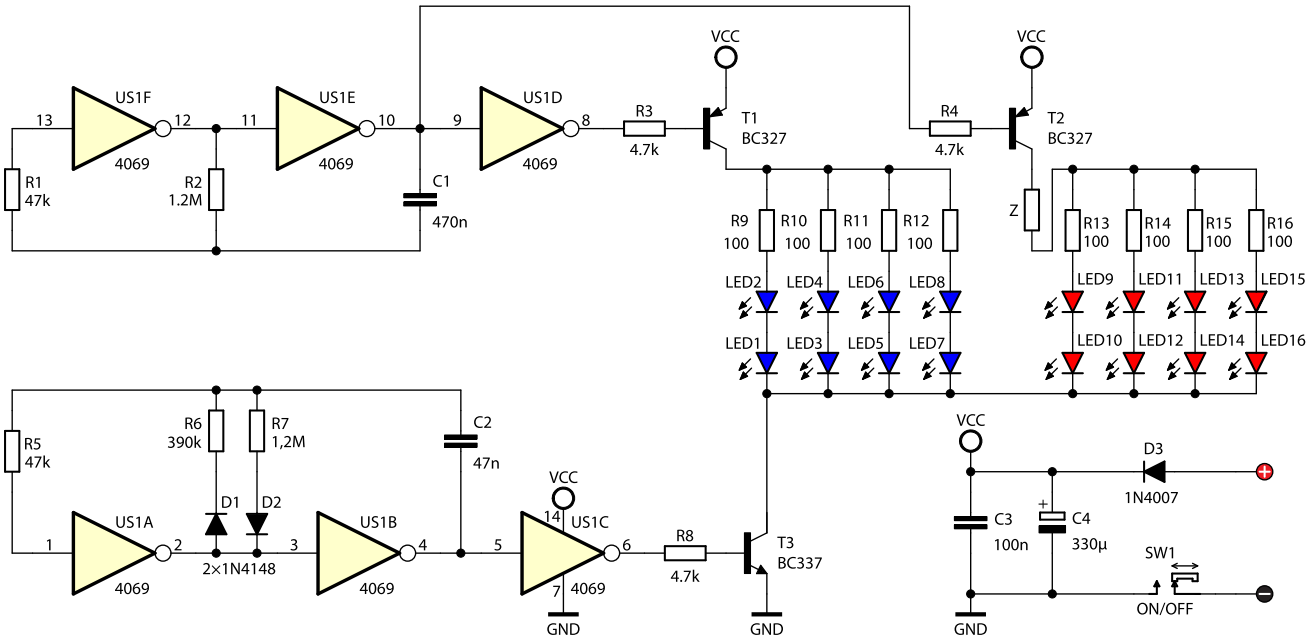
Częstotliwość:

$$f = \frac{1}{T} \approx \frac{1}{0{,}78s} \approx 1,3Hz$$

Oznacza to, że generator przełącza stany z częstotliwością około 1,3 Hz. Ponieważ układ steruje naprzemiennie niebieskim i czerwonym blokiem diod LED, każdy z nich świeci (migocze) przez około połowę okresu, czyli w przybliżeniu przez 0,39 s.

Zauważ, że w obliczeniach pojawia się iloczyn jednostek Ω·F, który po przekształceniu daje sekundę. To zagadnienie było już omawiane na łamach „Juniora", gdzie pokazaliśmy, że taki iloczyn rzeczywiście prowadzi do jednostki naturalnej dla okresu drgań. Okres jest bowiem odcinkiem czasu, a czas wyraża się w sekundach. Jeśli chcesz sobie przypomnieć ten temat, możesz sięgnąć do wcześniejszych wydań „Juniora" albo skorzystać z Chata GPT, który pozwala ćwiczyć pamięć w sposób bardziej interaktywny. Warto jednak zawsze podchodzić krytycznie do uzyskiwanych w ten sposób informacji – traktuj Chat GPT raczej jak nauczyciela z „charakterkiem", który od czasu do czasu próbuje zwieść ucznia, sprawdzając jego uważność. Im więcej dociekliwych i krytycznych pytań

eprasa.pl 6fff7859d1



Rysunek 21. Schemat ideowy układu

zadasz, tym większa szansa, że uzyskane informacje będą poprawne. To także dobre narzędzie do sprawdzania wiedzy, którą już posiadasz, oraz do powrotu na właściwy tok rozumowania, gdy utkniesz w trakcie obliczeń.

Generator przebiegu szybkozmiennego

Drugi generator (**US1A**, **US1B**, **R5**, **C2**, **D1**, **R6**, **D2**, **R7**) wygląda na nieco bardziej skomplikowany. Podejrzliwość wzbudzać mają prawo dwie równolegle wstawione gałęzie z szeregowo włączoną diodą sygnałową każda. Po krótkiej chwili namysłu okaże się jednak że obie te gałęzie można w wyobraźni zastąpić jedną rezystancją zastępczą, która będzie miała inną wartość, bliską 390 kΩ lub bliską 1,2 MΩ, w zależności od tego, w którą stronę w danej chwili będzie płynął prąd. To swojego rodzaju patent na różne czasy ładowania i rozładowania tego samego kondensatora. Przy ładowaniu C2 przewodzi tylko jedna dioda i prąd płynie przez R6, a przy rozładowaniu C2 przewodzi druga dioda i prąd płynie przez R7. Tym sposobem generator może mieć różne czasy dla stanu „H" i „L", czyli regulowany współczynnik wypełnienia. W ten sposób można sterować czasem rozbłysku i przerwy w świeceniu wszystkich diod LED.

Rezystor R5 pełni rolę „stałej" części pętli. Ustala warunki pracy i ogranicza prąd bramek. W obliczeniach czasu traktuje się go jako element wspólny dla obu kierunków.

Pora zatem na kilka obliczeń.

$$t_H \approx 0{,}693 \cdot (R5 + R_{ladowania}) \cdot C2$$

$$t_L \approx 0{,}693 \cdot (R5 + R_{rozladowania}) \cdot C2$$

$$T \approx t_H + t_L$$

$$f \approx \frac{1}{T}$$

Czas błysku (prąd płynie przez R6):

$$R5 + R6 = 47k\Omega + 390k\Omega = 437k\Omega$$

$$t_{blysku} \approx 0{,}693 \cdot 437k\Omega \cdot 47nF$$

$$t_{blysku} \approx 0{,}693 \cdot 437 \cdot 10^3\Omega \cdot 47 \cdot 10^{-9}F =$$

$$0{,}693 \cdot 437\Omega \cdot 47F \cdot 10^{-6}F \approx 0,0142s$$

Czas przerwy (prąd płynie przez R7):

$$R5 + R7 = 47k\Omega + 1,2M\Omega = 1{,}247M\Omega$$

$$t_{przerwy} \approx 0{,}693 \cdot 1{,}247M\Omega \cdot 47nF$$

$$t_1 \approx 0{,}693 \cdot 1{,}247 \cdot 10^6\Omega \cdot 47 \cdot 10^{-9}F =$$

$$0{,}693 \cdot 1{,}247\Omega \cdot 47F \cdot 10^{-3} \approx 0,0406s$$

Teraz można policzyć okres i częstotliwość:

$$T \approx 0,0142s + 0,0406s = 0,0548s$$

$$f \approx \frac{1}{0{,}0548s} \approx 18,2Hz$$

Można więc przyjąć, że generator szybkozmienny generuje sygnał o częstotliwości około 18 Hz z nierównomiernym wypełnieniem.

Wypełnienie odpowiadające za czas świecenia (błysk stroboskopu) wynosi

$$D = \frac{T_H}{T} = \frac{0{,}0142s}{0{,}0548s} \approx 0,26 \approx 26\%$$

Pozostałą część stanowi przerwa w świeceniu diody LED.

eprasa.pl 6fff7859d1

To chyba najważniejsze zagadnienia dotyczące sposobu działania tego układu. Jeśli uczestniczyłeś w poprzednich spotkaniach Juniorów, rola pozostałych elementów na schemacie powinna być oczywista. Przypomnijmy jednak:

Włącznik zasilania

Przełącznik **SW1** pełni rolę włącznika zasilania. Dzięki niemu w prosty sposób decydujemy, kiedy układ jest aktywny, a kiedy całkowicie odłączony od baterii, co będzie miało kluczowy wpływ na jej żywotność.

Zabezpieczenie przed odwrotną polaryzacją

Rolą diody **D3** jest ochrona układu przed błędnym podłączeniem zasilania. Jeśli przez pomyłkę podłączysz baterię na odwrót, dioda ta zablokuje przepływ prądu (pomijając bardzo niewielki prąd wsteczny), zapobiegając uszkodzeniu wrażliwych na zamianę polaryzacji elementów elektronicznych, takich jak układ scalony, tranzystory czy kondensator elektrolityczny. Szeregowo włączona w obwód w kierunku przewodzenia dioda typu 1N4007 powoduje spadek napięcia około 0,7 V, co oznacza, że napięcie mierzone względem ujemnego bieguna baterii za diodą będzie około 0,7 V niższe niż to zmierzone przed nią. W tym prostym układzie nie stanowi to problemu. Układ działa poprawnie nawet przy sporo niższym napięciu zasilania.

Filtracja zasilania

Kondensatory **C3** i **C4** pełnią funkcję stabilizacji zasilania całego układu. C3 to kondensator foliowy MKT (mógłby być również ceramiczny) o niewielkiej pojemności (100 nF), którego zadaniem jest tłumienie szybkich zakłóceń i impulsów wysokoczęstotliwościowych mogących pojawiać się na przewodach zasilających. Kondensator elektrolityczny C4 o dużej pojemności (330 μF) filtruje wolniejsze wahania napięcia i chwilowe spadki związane z poborem prądu przez układ scalony i diody. Wspólnie kondensatory te tworzą skuteczny układ odsprzęgający, dzięki któremu układ jako całość pracuje stabilnie, bez podatności na szumy wewnętrzne (praca układu scalonego) jak i zakłócenia elektromagnetyczne pochodzące ze świata zewnętrznego (na przykład od sprzętów i urządzeń pracujących w pobliżu).

Sekcje diod LED

Każda z sekcji zawiera po osiem diod LED. Sekcja **LED1…LED8** obejmuje diody w bezbarwnej obudowie, świecące światłem niebieskim, natomiast sekcja **LED9…LED16** składa się z diod również w bezbarwnej obudowie, lecz o czerwonym kolorze świecenia.

W każdej sekcji znajdują się cztery gałęzie, w których szeregowo połączono dwie diody LED oraz rezystor. Rezystory **R9…R16** ograniczają prąd płynący w poszczególnych gałęziach do wartości bezpiecznej dla zastosowanych diod, określonej w notach katalogowych ich producentów. W praktyce prąd pojedynczej diody LED nie powinien z reguły przekraczać 20 mA.

Sposoby wyznaczania wartości rezystorów szeregowych dla diod LED, w oparciu o prawo Ohma i prawa Kirchhoffa, były wielokrotnie omawiane podczas wcześniejszych spotkań, dlatego tym razem temat ten pominiemy.

Załączanie sekcji diod LED

Wszystkie cztery gałęzie każdej sekcji diod LED są połączone równolegle i załączane za pomocą dwóch tranzystorów typu PNP (**T1** lub **T2**) oraz jednego tranzystora typu NPN (**T3**), wspólnego dla obu sekcji. Aby dana sekcja diod LED mogła się zaświecić, oba tranzystory muszą zostać jednocześnie załączone. Ponieważ tranzystory pełnią tu rolę kluczy, pracują one w stanie nasycenia. W przypadku tranzystorów PNP (T1 i T2) załączenie polega na odebraniu z bazy odpowiednio dużego prądu. Prąd ten nie może jednak przekroczyć wartości bezpiecznej dla danego typu tranzystora, dlatego za jego ograniczenie odpowiedzialne są rezystory R3 oraz R4. W przypadku tranzystora NPN (T3) sytuacja jest analogiczna, lecz odwrócona – aby wprowadzić go w stan nasycenia, należy dostarczyć do bazy odpowiednio duży prąd. Jego maksymalną wartość ogranicza rezystor R8. Wspomniane trzy rezystory, ograniczając prąd baz tranzystorów, chronią przed przeciążeniem nie tylko same tranzystory, lecz także wyjścia bramek logicznych, zabezpieczając je przed nadmiernym obciążeniem i ewentualnym uszkodzeniem.

Tranzystory nie są idealnymi przewodnikami i w stanie nasycenia powodują niewielkie spadki napięcia kolektor–emiter. Ponieważ w tym układzie pracują one jako klucze, spadki te są bardzo małe, jednak można je uwzględnić podczas obliczania wartości rezystorów szeregowych dla diod LED. Spadki napięcia występują bowiem nie tylko na rezystorach i diodach LED, lecz także na złączach kolektor–emiter obu tranzystorów biorących udział w załączaniu każdej z sekcji, a także na diodzie zabezpieczającej D3 oraz na rezystancji wewnętrznej samej baterii.

Możliwości szczegółowych obliczeń jest tu bardzo wiele, jednak ponieważ zagadnienia te były już wielokrotnie omawiane podczas wcześniejszych spotkań, tym razem temat ten pominiemy, odsyłając osoby zainteresowane do poprzednich części naszych juniorskich spotkań.

Podsumowanie

Złożyłeś właśnie kolejny gadżet do swojej kolekcji – to już drugi układ stroboskopu. Pierwszy był w wersji „dyskotekowej", tym razem masz do czynienia z wersją „policyjną", z charakterystycznymi niebieskimi i czerwonymi światłami. Może zechcesz zamontować go w jakimś swoim pojeździe albo w ulubionej zabawce młodszego brata? Pamiętaj jednak, aby zawsze zachować ostrożność i skonsultować taki pomysł z rodzicem lub opiekunem. Jeśli masz chwilę, daj znać, jak podoba Ci się nowa formuła „Juniora", w której rysunki wykonane są w oparciu o model 3D budowanego zestawu. W naszej ocenie nowy styl jest przyjemniejszy i bardziej czytelny dla oka – pozwala łatwiej oddać detale oraz wprowadza większy ład i porządek. A Ty co o tym myślisz? Do zobaczenia za miesiąc przy kolejnym, równie fascynującym zestawie! ■

Mariusz Ciszewski

REKLAMA

eprasa.pl 6fff7859d1

OLEDUINO – wyświetlacz OLED kompatybilny z Arduino

OLEDUINO to kompaktowa płytka o bogatej funkcjonalności, zawierająca mikrokontroler ATMEGA328 Arduino, wyświetlacz OLED 0,96 cala 128×64 (SSD136), regulator napięcia 5 V oraz złącza, które zapewniają dostęp do wszystkich linii wejścia/wyjścia Arduino. Co ważne, rozmiar płytki jest mniejszy niż wyświetlacz OLED, a na płycie znajduje się złącze do zapisu bootloadera i programowania Arduino.
Projekt ten działa samodzielnie lub w połączeniu z opublikowaną obok płytką inteligentnego regulatora lutownicy.

https://youtu.be/BStwnAQLO-8

Inteligentny regulator lutownicy – precyzyjny regulator grzałki

Ten inteligentny kontroler lutownicy to zaawansowany system, który zapewnia precyzyjną kontrolę temperatury i monitorowanie temperatury w czasie rzeczywistym.
To innowacyjne rozwiązanie gwarantuje stałą temperaturę końcówki lutownicy, umożliwiając precyzyjne i niezawodne lutowanie. Ten projekt działa w połączeniu z płytką OLEDUINO opublikowaną obok

https://youtu.be/YwrsydOKDy8
https://youtu.be/lhGyyiP0gyE

Niektóre projekty aktualnie dostępne tylko dla prenumeratorów EdW w rubryce DIY PLUS na www.elportal.pl:

1. Wskaźnik poziomu paliwa z wyświetlaczem OLED
2. Bezprzewodowy odbiornik wilgotności i temperatury
3. Przerwania zewnętrzne (sprzętowe) i przerwania zegara w MicroPython
4. Laserowy czujnik odległości z wyświetlaczem OLED i RP2040
5. Inklinometr z 17-segmentowym wyświetlaczem słupkowym
6. Izolowany repeater USB – USB 2.0
7. Knight Rider Light – 16 diod LED dużej mocy (kompatybilny z Arduino)
8. Dźwięk do kolorowych efektów świetlnych (kompatybilny z Arduino)
9. Nowy i ulepszony licznik Geigera – teraz z Wi-Fi!
10. Detektor zalania
11. Lampa nastrojowa LED o dużej mocy
12. Kontroler dzwonów kościelnych
13. Arduino Nano – włączanie/wyłączanie urządzeń za pomocą pilota na podczerwień (dwa kanały)
14. Lampa sufitowa LED z czujnikiem ruchu PIR – kompatybilna z Arduino
15. Inteligentny ściemniacz LED z Bluetooth – 4-kanałowy włącznik/wyłącznik Bluetooth
16. Czterokanałowy izolator cyfrowy, wzmocniony, szybki, o niskim poborze mocy
17. Sterowanie prędkością, kierunkiem i zatrzymaniem silnika DC z modułem RF NRF24L01
18. Nadajnik zdalnego sterowania z pojedynczym joystickiem wykorzystujący NRF24L01
19. 8-kanałowy zdalny nadajnik RF z protokołami: Holtek i szeregowym
20. 8-kanałowy zdalny odbiornik RF z protokołami: Holtek i szeregowym
21. Pojemnościowy czujnik wilgotności do konwertera wyjścia analogowego
22. Mostek H dla wysokiej mocy szczotkowego silnika prądu stałego z czujnikiem prądu
23. Przetwornica DC-DC buck 12...75 V na 10 V na wyjściu
24. Czujnik prądu low-side 10 μA...10 mA
25. Kontroler ramienia robota z bezprzewodowym pilotem PS3
26. Termiczny czujnik masowego przepływu powietrza – anemometr stałotemperaturowy
27. Precyzyjny wzmacniacz transimpedancyjny z przełączanym integratorem
28. Wysokowydajny monofoniczny wzmacniacz audio klasy D o mocy 20 W
29. Kontroler pełnego mostka z przesunięciem fazowym i prostowaniem synchronicznym wykorzystujący UCC28950
30. Monitorowanie poziomu cieczy za pomocą czujnika ciśnienia – wyświetlacz słupkowy
31. Sterowanie silnikiem DC za pomocą joysticka
32. 16-kanałowy sterownik serwomechanizmów RC z interfejsem I²C
33. Programowalny kondycjoner sygnału z czujnika rezystancyjnego mostkowego
34. Choinka z Arduino i pikselowymi diodami
35. 20-segmentowy wyświetlacz słupkowy w rozmiarze jumbo
36. Stacja pogodowa lilygo ttgo t5-4.7 z wyświetlaczem typu e-papier

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 6fff7859d1

TRZECIARĘKA ZD-11P
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – uchwyt z latarką, ZD11P

TRZECIARĘKA ZD-11P-1
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – uchwyt z latarką i lupą, ZD11P-1

TRZECIARĘKA SN-394
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk z lupą 50 mm, przykręcany do blatu Proskit SN-394

BESTSELLERY sklepu AVT – sklep.avt.pl

Trzecia ręka

Rabat dla Czytelników EdW przy zakupie podaj kod EdW2505TR **-3%**

Kod ważny do 30.09.2025

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

TRZECIARĘKA ZD-11M-1
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – z uchwytem na szpulkę cyny, ZD11M-1

TRZECIARĘKA ZD-11M-2
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – uchwyt z lupą i podświetleniem LED ZD11M-2

TRZECIARĘKA ZD-11M-3
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – uchwyt z lupą i podświetleniem LED ZD-11M-3

TRZECIARĘKA ZD-11M
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – uchwyt ZD11M

TRZECIARĘKA SN-392
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka” z lupą 90 mm, Proskit SN-392

TRZECIARĘKA
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka” z lupą 60 mm

eprasa.pl 6fff7859d1

Elektor Bestsellers

SAVE UP TO 26% NOW!

www.elektor.com/sale/deals

Elektor SUMMER SALE

elektor
design > share > earn

eprasa.pl 6fff7859d1