Edukacja w EdW dla szkół i uczelni:
Wykład 45: Modulacja analogowa

JUNIOR
strona 84

ELEKTRONIKA dla wszystkich

nr 09/2026 (368) • wrzesień • www.elportal.pl

DIY PLUS tylko dla prenumeratorów

PROJEKTY dla elektroników

- Generator funkcyjny Wi-Fi DDS, część 1
- Styloclone – instrument muzyczny
- Cyfrowy terminal wideo z Raspberry Pi Pico, część 2

DIY dla wszystkich

- Jak używać darmowych rozwiązań opartych na sztucznej inteligencji
- Nocne światło alarmowe z Arduino

TUTORIALE

- Nauka elektroniki z modułem ESP32, część 2. Wejścia i wyjścia cyfrowe
- Kick Start część 12: Twój pierwszy oscyloskop
- Chirurgia obwodowa: Rezystancja sterowana elektronicznie, część 2

Generator funkcyjny Wi-Fi DDS

Styloclone – instrument muzyczny

ISSN 1425-1698 Indeks 33362X
9 771425 169269 09
19,90 zł 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 657e0c02ec

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%**

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

prenumerata

–15%
NA START
203,00 zł

–30%
po pierwszym roku prenumeraty
167,20 zł

–40%
po drugim roku prenumeraty
143,30 zł

–50%
po trzecim roku nieprzerwanej prenumeraty
119,40 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 133,60 zł.

Dodatkowa oferta dla prenumeratorów wersji drukowanej: jeśli już subskrybujesz wersję papierową, możesz dokupić równoległe e-wydania w cenie 38,20 zł/rok – z niesamowitym **rabatem 80%**.

Zyskaj nieograniczony dostęp do zasobów dla pasjonatów elektroniki!

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

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

ARCHIWUM

DIY PLUS
tylko dla prenumeratorów

Zacznij korzystać z pełnych zasobów już dziś!

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

ELEKTRONIKA dla wszystkich

Wrzesień 2026 • 09 (368)

Projekty dla elektroników:

Generator funkcyjny Wi-Fi DDS, część 1 8

Styloclone – instrument muzyczny 20

Cyfrowy terminal wideo z Raspberry Pi Pico, część 2 31

Tutoriale:

Nauka elektroniki z modułem ESP32, część 2. Wejścia i wyjścia cyfrowe 40

Chirurgia obwodowa: Rezystancja sterowana elektronicznie, część 2 52

Kick Start, część 12: Twój pierwszy oscyloskop 58

Edukacja w EdW dla szkół i uczelni. Wykład 45: Modulacja analogowa 69

DIY dla wszystkich:

Nocne światło alarmowe z modułem Arduino 80

Jak używać darmowych rozwiązań opartych na sztucznej inteligencji 82

Junior:

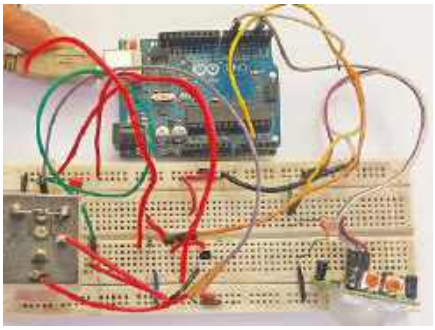
Dwudzieste siódme spotkanie z najmłodszymi pasjonatami elektroniki 84

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

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

Generator impulsów krokowych 555 96

Wysokoprądowy półmostek z zabezpieczeniem nadprądowym (Over-Current Shutdown) 96



Rubryki stałe:

Prenumerata 3

Od redakcji 5

Poczta 7

eprasa.pl 657e0c02ec

A za miesiąc w październikowym EdW

Zegar 'analogowy' z diodami LED RGB
Kolorowe diody LED zamiast wskazówek? Ten niezwykły zegar łączy cyfrową technikę z klasycznym sposobem prezentacji czasu – 60 diod RGB rozmieszczonych wokół tarczy wskaże godziny, minuty i sekundy za pomocą różnych kolorów. W artykule przedstawiona zostanie budowa i zasada działania zegara, a także jego montaż, uruchomienie oraz konfiguracja.

Zabezpieczenia zasilania DC
Pomyłka przy podłączaniu zasilania może w jednej chwili zakończyć życie urządzenia – wystarczy błędna polaryzacja albo zbyt wysokie napięcie. Trzy proste układy zabezpieczające pozwolą uniknąć takich przykrych niespodzianek. W artykule przedstawione zostaną dwie wersje z regulowanym oraz jedna z ustalonym progiem zadziałania, a także wyjaśniona zostanie zasada ich działania oraz sposób montażu i uruchomienia.

Generator funkcyjny Wi-Fi DDS, część 2
Generator funkcyjny DDS wyposażony w dwa kanały wyjściowe umożliwia generowanie wielu rodzajów przebiegów oraz sterowanie z kolorowego ekranu dotykowego lub zdalnie przez sieć Wi-Fi. W drugiej części pokazane zostanie, jak zmontować, zaprogramować i uruchomić urządzenie, a następnie jak sprawdzić jego działanie i korzystać z dostępnych funkcji.

Dla studentów i uczniów:
garść technicznych tutoriali

Dla szukających inspiracji:
ciekawe projekty DIY

Dla najmłodszych:
kolejny zestaw z serii AVTEDU

W kioskach od 28 września

Wrześniowe powroty z pazurem w tle

Wrzesień ma w sobie coś szczególnego. Jeszcze chwilę temu trwały wakacje, a nagle wracają szkoła, praca, codzienne obowiązki i wcześniejsze budziki. Na szczęście wraz z wakacjami nie musi kończyć się czas na regularne odkrywanie czegoś nowego. Elektroniki można uczyć się w każdym wieku, miejscu i czasie – budując, mierząc, testując, a czasem nawet robiąc komuś niewinnego psikusa, lub stając się jego obiektem ze strony choćby natury – tej bardziej i mniej ożywionej.

I choć – zdawać by się mogło – trop pogadanki wiedzie wprost ku pogodzie, co zmienną bywa w najmniej odpowiednim momencie, tym razem prowadzi w innym kierunku. Medialne doniesienia każą nam bowiem zachować czujność wobec pum, które podobno upodobały sobie nasz kraj bardziej, niż ktokolwiek mógłby przypuszczać. Czy rzeczywiście gdzieś grasują? Ponoć tak, a elektroniczne foto-pułapki zdają się rozwiewać te wątpliwości. Pozostawmy jednak temat tym, którzy mają o tych przydużych kotach nieco lepsze pojęcie, a sami – we wrześniowym EdW – zapolujmy na coś zdecydowanie bezpieczniejszego: sygnały, przebiegi, bity i zniekształcenia. Na pumy jeszcze przyjdzie czas – najlepiej jakieś elektroniczne.

Zaczynamy od warsztatu. Richard Palmer przedstawia dwukanałowy generator funkcyjny DDS sterowany z kolorowego ekranu dotykowego lub przez Wi-Fi. W pierwszej części poznamy jego możliwości i zobaczymy, jak moduł Raspberry Pi Pico W wraz z przetwornikiem DAC pozwala uzyskać sygnały o szerokim zakresie częstotliwości i bardzo małych zniekształceniach.

Skoro generator, to przydałby się też oscyloskop. Mike Tooley podpowiada, na co zwrócić uwagę przy wyborze pierwszego takiego przyrządu, przedstawiając różne dostępne rozwiązania oraz podstawy ich obsługi. Kontynuuje również rozpoczęty przed miesiącem kurs poświęcony modułowi ESP32. Tym razem przechodzimy do praktycznego wykorzystania wejść i wyjść cyfrowych – od przycisków i diod LED po sterowanie przekaźnikami i silnikiem.

Raspberry Pi Pico pojawi się w tym numerze więcej niż raz. Tim Blythman kończy budowę cyfrowego terminala wideo opartego na trzech takich modułach. Przychodzi czas na jego montaż, uruchomienie i konfigurację oraz praktyczną współpracę z PicoMite, WebMite i urządzeniami wyposażonymi w interfejs USB-Serial.

Miłośników techniki analogowej Jake Rothman zapyta, czy wzmacniacz operacyjny zbudowany z pojedynczych tranzystorów może dorównać współczesnym układom scalonym, a pod pewnymi względami nawet je przewyższyć. Ian Bell będzie natomiast kontynuował rozważania nad rezystancją sterowaną elektronicznie, tym razem skupiając się na tranzystorach JFET i sposobach ograniczania zniekształceń.

Od sygnałów już tylko krok do modulacji. Jos Verstraten wyjaśni, jak przenosić mowę, muzykę lub dane za pomocą fali elektromagnetycznej o znacznie wyższej częstotliwości. Zaczniemy od podstaw, ale na AM i FM się nie skończy – poznamy również wiele innych sposobów modulowania i przesyłania sygnałów.

Po takiej dawce wiedzy pora na trochę muzyki. Phil Prosser proponuje Styloclone – współczesną interpretację klasycznego Stylophone'a, w której rolę klawiatury pełnią ścieżki na płytce drukowanej dotykane specjalnym rysikiem.

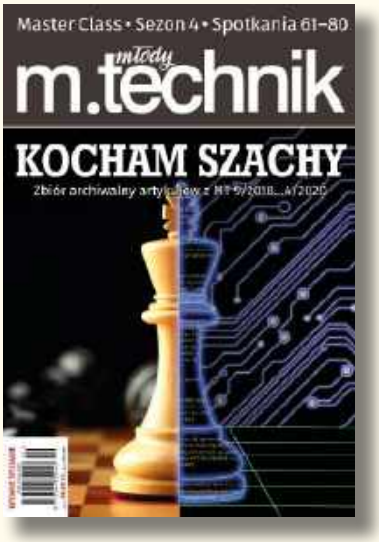
A co ze wspomnianą pumą? W EdW Junior polować na nią nie będziemy. Zbudujemy za to coś znacznie mniejszego, ale być może równie trudnego do odnalezienia – szczególnie po ciemku. Pipek dręczyciel co pewien czas wydaje krótki pisk, lecz gdy ktoś zapali światło, żeby znaleźć jego źródło, urządzenie milknie. Wystarczą fototranzystor, NE555, aktywny buzzer, kilka elementów dyskretnych i odrobina poczucia humoru. Pamiętajmy jednak, że bawić się to nie to samo, co nękać kogoś czy celowo go drażnić. Ku przestrodze – bo puma ma prawo kryć się i czyhać w niejednym z nas.

Dla młodszych Czytelników wrzesień oznacza powrót do szkoły, dla starszych często powrót do biur. Mam jednak nadzieję, że dla nikogo nie oznacza końca ciekawości świata i sposobności poznawania czegoś nowego. Bo niezależnie od wieku wciąż warto pytać „dlaczego?", szukać odpowiedzi, budować, mierzyć i eksperymentować. A pokusa zrobienia komuś niezłego psikusa... może być świetnym ku temu pretekstem.

Mariusz Ciszewski

eprasa.pl 657e0c02ec

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 657e0c02ec

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.

Elektroniczny pomocnik do odrabiania lekcji

Dzień dobry,

kiedy podczas urlopu zaczynamy myśleć o szkole albo pracy, to chyba zły znak. Ale w tym roku chciałbym parę rzeczy zrobić inaczej. I tak sobie myślę, że nawet jeśli mój pomysł nie pomoże, to raczej nie zaszkodzi, a przy okazji będzie pretekstem, żeby posiedzieć nad czymś razem z synem i trochę wzmocnić naszą więź – nawet jeśli punktem wyjścia jest temat nieco grząski albo po prostu dla żadnego z nas szczególnie wygodny, czyli obowiązki szkolne. Ale do rzeczy.

Wrzesień oznacza u nas powrót do szkoły, a wraz z nim powrót do codziennych negocjacji z synem pod tytułem „najpierw lekcje, potem komputer". Pomyślałem, że skoro obaj interesujemy się elektroniką, może dałoby się podejść do problemu trochę bardziej konstruktywnie.

Chciałbym razem z synem zbudować niewielkie urządzenie, które pomagałoby organizować czas nauki. Wyobrażam je sobie jako prosty zegar stojący na biurku. Po naciśnięciu przycisku odliczałby np. 25 minut przeznaczonych na naukę, po czym sygnalizowałby dźwiękiem lub zapaleniem diody, że pora na 5 minut przerwy. Potem można byłoby rozpocząć kolejny cykl.

Celowo nie chcę używać do tego telefonu. Po pierwsze, gotowych aplikacji jest mnóstwo i wtedy nie byłoby czego budować, a po drugie telefon podczas odrabiania lekcji sam w sobie potrafi być chyba jednym z największych rozpraszaczy.

Czy dałoby się wykonać takie urządzenie w miarę prostymi środkami, najlepiej tak, żeby jego budowa miała również walor edukacyjny? Nie zależy mi na sekundowej dokładności. Bardziej na tym, żeby syn mógł przy okazji lutowania dowiedzieć się, jak właściwie można elektronicznie odmierzać czas.

Pozdrawiam serdecznie

Tomasz

Red. Panie Tomaszu,

Pomysł jest ciekawy, zwłaszcza że w tym przypadku wspólne zbudowanie urządzenia może okazać się co najmniej równie wartościowe jak jego późniejsze wykorzystanie. A jeśli przy okazji elektronika pomoże choć trochę załagodzić spór z gatunku „lekcje czy komputer", tym lepiej.

Co ciekawe, rozwiązanie bardzo zbliżone do tego, którego Pan szuka, pojawiło się całkiem niedawno na naszych łamach. W EdW 6/2025, w ramach cyklu EdW Junior, budowaliśmy Przypominacz świetlno-dźwiękowy AVTEDU646. Już wtedy proponowaliśmy wykorzystanie go podczas nauki – między innymi do rozwiązywania zadań na czas i przygotowywania się do sprawdzianów.

AVTEDU646 pozwala wybrać jeden z czterech czasów: 15 minut, 30 minut, 1 godzinę lub 2 godziny. Po naciśnięciu przycisku START rozpoczyna odliczanie, podczas którego diody LED błyskają co sekundę, a po upływie zadanego czasu zaczynają migać szybciej i włącza się sygnał dźwiękowy. Sercem układu jest niewielki mikrokontroler ATtiny13.

Jeżeli zależy Panu na swobodniejszym ustawianiu czasu, można zainteresować się również AVT1995 – Precyzyjnym timerem, AVT3143 – Nakręcanym minutnikiem albo AVT3200 – Uniwersalnym timerem. Wszystkie te konstrukcje znajdują się w bazie zestawów AVT; AVT1995 umożliwia odmierzanie czasu od 1 sekundy do 99 minut, natomiast AVT3143 i AVT3200 są kolejnymi propozycjami układów czasowych, które warto rozważyć.

Na początek proponowalibyśmy jednak wrócić do EdW 6/2025 i AVTEDU646. Nie zapewnia wprawdzie dokładnie proponowanego cyklu 25 minut nauki i 5 minut przerwy, ale sama idea jest bardzo podobna. A przede wszystkim zanim urządzenie zacznie pomagać w nauce, jego wspólny montaż może spełnić tę drugą, chyba nawet ważniejszą część Pańskiego planu.

Czy później rzeczywiście pomoże w odrabianiu lekcji? Tego elektronika zagwarantować nie może. Potrafi odmierzyć czas i przypomnieć o przerwie, ale do otwarcia podręcznika wciąż potrzebny będzie człowiek.

Jeśli jednak przy okazji uda się wspólnie spędzić kilka godzin przy lutownicy, porozmawiać i zbudować coś, co później stanie na biurku syna, trudno będzie uznać ten eksperyment za nieudany – niezależnie od tego, ile zadań domowych pomoże zrobić na czas.

Życzymy powodzenia i kibicujemy Wam obojgu.

EdW na drogę

Droga Redakcjo,

kilka dni temu wracaliśmy całą rodziną z wakacji. Zatrzymując się na szybkie zakupy, kupiłem na drogę jakieś techniczne pisemko – padło na EdW – trochę z myślą o tym, że gdyby chłopakom zaczęło się nudzić, będą mieli co poczytać. Jak się okazało, był to całkiem dobry pomysł, bo trafiliśmy na potężny korek i utknęliśmy w nim na dobre.

Młodszy syn z nudów zaczął przeglądać EdW Junior i czytać artykuł o latarce. Niby prosty projekt, ale tekst rozwijał też kilka pobocznych tematów. Jeden z nich zainteresował starszego, bo – jak stwierdził – „mieli coś takiego w szkole", choć chyba nie do końca pamiętał, o co chodziło. Po chwili przejął więc gazetę od brata.

Przyznam, że całkiem przyjemnie było spoglądać w lusterko na dwóch „małych dorosłych" siedzących z nosami w jednej gazecie. Nie dość, że nie w smartfonach, to jeszcze w czasopiśmie popularnonaukowym. Najwyraźniej nie byle jakim.

Minęło od tego już parę dni, ale był to na tyle rzadki widok, że jakoś nie mogłem sobie odmówić, żeby zdać tę krótką relację.

Pozdrawiamy i pewnie sięgniemy po EdW jeszcze niejeden raz. Może teraz już przed każdą dłuższą podróżą.

Michał

Red. Dziękujemy za tę sympatyczną relację – miło wiedzieć, że EdW potrafi czasem wygrać nawet ze smartfonem. Pozdrawiamy i polecamy się na przyszłość.

eprasa.pl 657e0c02ec

Generator funkcyjny Wi-Fi DDS, część 1

Generator sygnałów to jedno z najbardziej przydatnych urządzeń na stanowisku testowym. Opisany w artykule łatwy w budowie i wszechstronny generator ma dwa wyjścia, oferuje szeroki zakres generowanych przebiegów oraz niski poziom zniekształceń. Można nim sterować za pomocą dotykowego ekranu LCD lub zdalnie z komputera, tabletu albo smartfona, korzystając z połączenia Wi-Fi.

Chociaż do testowania urządzeń audio powszechnie stosuje się sygnały sinusoidalne, sygnały trójkątne, prostokątne, impulsowe i piłokształtne również mają wiele zastosowań podczas testowania układów zasilania, elektroniki cyfrowej i układów liniowych. Niektóre komercyjne generatory funkcyjne oferują wiele rzadko używanych przebiegów, takich jak impulsy Lorenza, a nawet przebiegi EKG, jednak w tym projekcie postanowiliśmy uniknąć nadmiernej złożoności.

Dla wielu urządzeń audio wyzwaniem są subwoofery i ich zwrotnice, pracujące jedynie w zakresie częstotliwości od 20 Hz do 20 kHz. Wyjścia naszego generatora mają sprzężenie stałoprądowe, dzięki czemu mogą generować sygnały o bardzo niskich częstotliwościach (poniżej 1 Hz) przy bardzo małym poziomie zniekształceń.

Testowanie częstotliwości wykraczających poza pasmo akustyczne może mieć znaczenie również w innych aspektach projektowania systemów audio, ponieważ sygnały spoza zakresu słyszalnego mogą wpływać na sygnały w paśmie akustycznym wskutek intermodulacji i innych zjawisk. Aby umożliwić takie testy, rozszerzyliśmy zakres generowanych przebiegów sinusoidalnych do 70 kHz oraz dodaliśmy sygnał testowy do pomiaru zniekształceń intermodulacyjnych (IMD).

Do identyfikacji dzwonienia i innych nieprawidłowości w działaniu układów pomocne mogą być pojedyncze impulsy oraz paczki impulsów. Generator umożliwia zarówno przemiatanie częstotliwości, jak i modulację amplitudy przebiegów sinusoidalnych, prostokątnych i trójkątnych. Dodatkowo pozwala regulować współczynnik wypełnienia przebiegów prostokątnych i trójkątnych, a także modulować amplitudę przebiegów impulsowych i skokowych. Dla wszystkich rodzajów przebiegów dostępny jest również tryb generowania paczek impulsów (burst).

W przypadku przebiegów sinusoidalnych, trójkątnych i prostokątnych kanał B może odzwierciedlać przebieg z kanału A z przesunięciem fazowym w zakresie od 0° do 360°. W przypadku większości pozostałych przebiegów kanał B może odzwierciedlać kanał A w tej samej fazie lub z przesunięciem fazowym o 180°.

Zaciski wyjściowe są odizolowane od uziemienia sieciowego, co pozwala zapobiegać powstawaniu pętli masy powodujących przydźwięk.

Podobnie jak moje poprzednie projekty urządzeń laboratoryjnych, także to urządzenie można sterować zdalnie za pomocą przeglądarki internetowej, zobacz:

- Programowalny hybrydowy zasilacz laboratoryjny (maj i czerwiec 2021 r., siliconchip.au/Series/364)
- Programowalne obciążenie DC z obsługą Wi-Fi (wrzesień–październik 2022 r., siliconchip.au/Series/388)
- Zautomatyzowane stanowisko testowe – szwajcarski scyzoryk (kwiecień 2023 r., siliconchip.au/Article/15736)

Podobnie jak w przypadku innych moich projektów, generator ma zaimplementowany

Cechy i specyfikacja

- Siedem rodzajów przebiegów: sinusoidalny, prostokątny, impulsowy, trójkątny, schodkowy, IM (intermodulacja) i szum biały
- Dwa niezależne lub połączone kanały z regulowaną różnicą fazy
- Maksymalny poziom wyjściowy: 11,5 V (wartość międzyszczytowa)
- Zakres częstotliwości przebiegu sinusoidalnego: 0,01 Hz...70 kHz
- Charakterystyka częstotliwościowa przebiegu sinusoidalnego: ±0,1 dB w zakresie od 1 Hz do 50 kHz (rysunek 3)
- Zniekształcenia przebiegu sinusoidalnego: <0,003% do 5 kHz, <0,007% do 20 kHz (rysunek 2)
- Stosunek sygnału do szumu: >80 dB
- Zakres częstotliwości przebiegów prostokątnych, trójkątnych i impulsowych: 0,01 Hz...20 kHz
- Funkcje intermodulacji (IM), szumu białego i przebiegu schodkowego
- Kompleksowe przebiegi przemiatania i impulsy tonowe.
- Sterowanie za pomocą ekranu dotykowego LCD o przekątnej 3,5 cala oraz sieci Wi-Fi (przez przeglądarkę internetową lub SCPI).
- Definicje TestController do automatyzacji.
- Opcjonalny wycinany laserowo stojak stołowy.

eprasa.pl 657e0c02ec

zestaw poleceń SCPI, dzięki czemu może stanowić element zautomatyzowanego stanowiska testowego sterowanego przez program TestController (siliconchip.au/link/abev). Zasady korzystania z tego oprogramowania opisałem w artykule z kwietnia 2023 r. (siliconchip.au/Article/15740).

Dzięki połączeniu czterech przyrządów tej serii możliwe jest automatyczne testowanie szerokiej gamy urządzeń!

Osiągi

Ważnymi wskaźnikami jakości sygnału sinusoidalnego są szumy i zniekształcenia. Jak pokazano na **rysunkach 1** i **2**, dla sygnału o amplitudzie międzyszczytowej 2 V zniekształcenia w zakresie częstotliwości od 20 Hz do 2 kHz wynosiły poniżej 0,0025%, wzrastając do zaledwie 0,0055% przy częstotliwości 10 kHz.

Dokładny pomiar przy częstotliwościach powyżej 25 kHz nie był możliwy ze względu na dominującą trzecią harmoniczną, która wykraczała poza granicę Nyquista mojego analizatora audio pracującego z częstotliwością próbkowania 192 kHz. Przy częstotliwości 10 kHz liczba punktów próbkowania na okres wynosi zaledwie dziewiętnaście i maleje wraz ze wzrostem częstotliwości. Przy 50 kHz na jeden okres przypadają tylko cztery punkty próbkowania, a filtr interpolacyjny przetwornika cyfrowo-analogowego (DAC) zwiększa ich liczbę do ośmiu.

Nic dziwnego, że przy tak niewielkiej liczbie próbek przypadających na jeden okres nie da się utrzymać szczególnie niskiego poziomu zniekształceń.

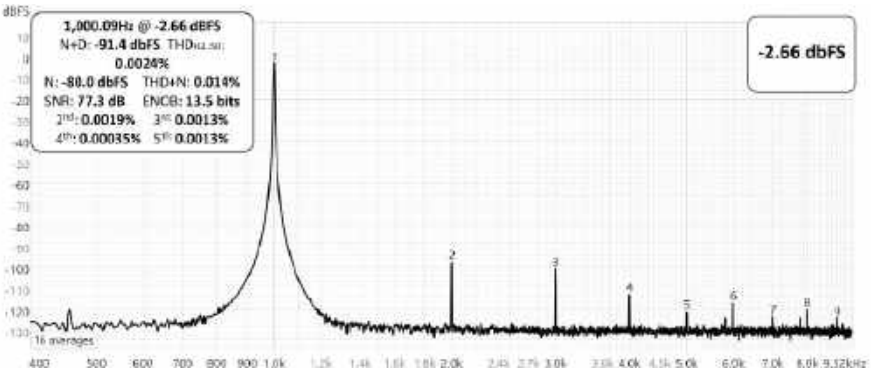
Zmierzony poziom zniekształceń poniżej 20 Hz wzrasta do 0,0055% przy częstotliwości 7 Hz. Rzeczywisty poziom zniekształceń może być niższy, ponieważ mój sprzęt pomiarowy ma wejście ze sprzężeniem pojemnościowym, a spadek charakterystyki filtru wejściowego pogarsza dokładność pomiarów poniżej 20 Hz.

Szum tła wynosi –89 dB (nieważony) względem międzyszczytowego napięcia wyjściowego 2 V w paśmie 5 Hz...20 kHz i składa się głównie z przydźwięku sieciowego o częstotliwości 50 Hz oraz jego harmonicznych.

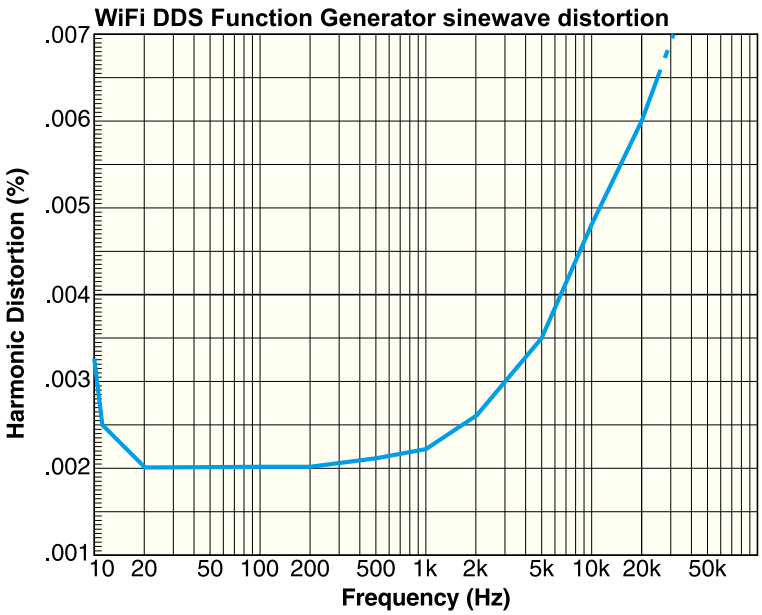
Wartość ta powinna być lepsza przy wyższych poziomach wyjściowych, ponieważ sygnał będzie silniejszy, natomiast poziom szumu i przydźwięku pozostanie podobny.

Charakterystyka częstotliwościowa dla sygnału sinusoidalnego zmienia się o mniej niż ±0,1 dB w całym paśmie (**rysunek 3**).

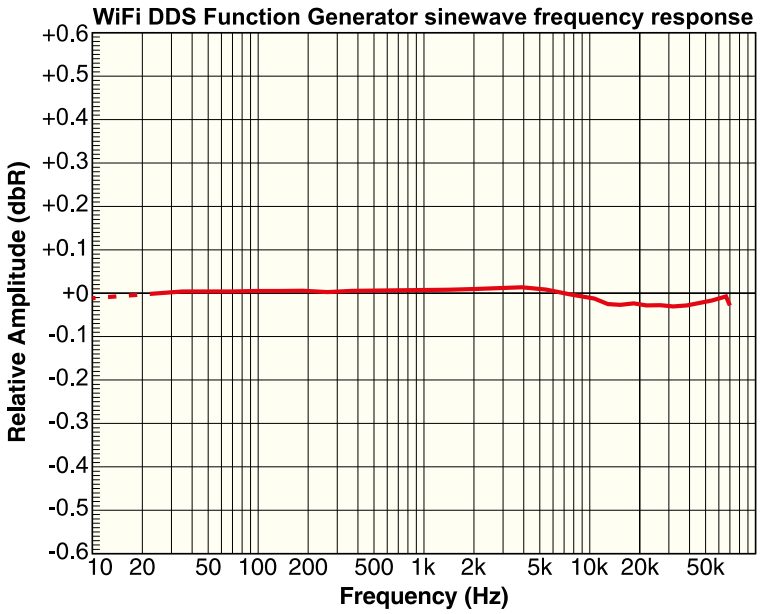
Dalsze testy przetwornika cyfrowo-analogowego i filtra z użyciem standardowego sygnału intermodulacyjnego SMPTE/



Rysunek 1. Zniekształcenia przy 1 kHz wynoszą 0,0026%, a szumy są o prawie 90 dB niższe od częstotliwości podstawowej

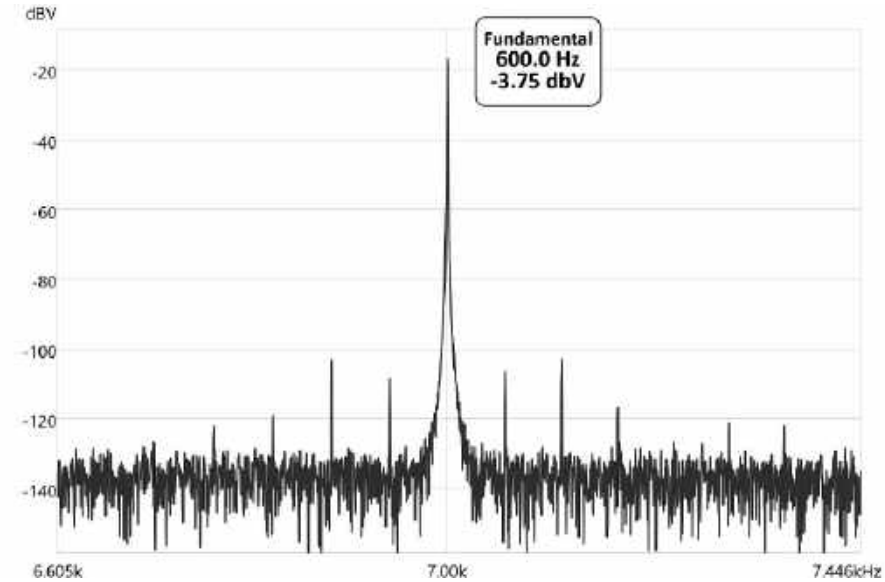


Rysunek 2. Zniekształcenia pozostają poniżej 0,003% w zakresie od 10 Hz do 2,5 kHz, wzrastając do 0,006% przy 25 kHz, co stanowi granicę naszych możliwości pomiarowych



Rysunek 3. Charakterystyka częstotliwościowa DDS jest płaska, z odchyleniem nie większym niż 0,1 dB w całym zakresie

eprasa.pl 657e0c02ec



Rysunek 4. W teście zniekształceń intermodulacyjnych (IMD) pasma boczne, oddalone od sygnału podstawowego o 60 Hz, znajdują się o ponad 100 dB poniżej sygnału o częstotliwości 60 Hz i poziomie –3,18 dBV, który dla przejrzystości wykresu został pominięty

DIN, będącego mieszaniną częstotliwości 60 Hz i 7 kHz o stosunku amplitud 4:1, wykazały, że artefakty znajdują się 100 dB poniżej składowej 60 Hz i 88 dB poniżej składowej 7 kHz, jak pokazano na **rysunku 4**.

Częstotliwość przebiegu sinusoidalnego jest bardzo dokładna i stabilna, ponieważ jest synchronizowana przez generator kwarcowy modułu Raspberry Pi Pico W. Ponieważ akumulator fazy ma skończoną liczbę bitów, zawsze występuje niewielki dodatni błąd częstotliwości wynikający z zaokrąglenia wartości zmiennoprzecinkowych do liczb całkowitych podczas obliczania przyrostu fazy dla kolejnych próbek. Błąd ten jest jednak mniejszy niż 0,012% w całym paśmie akustycznym.

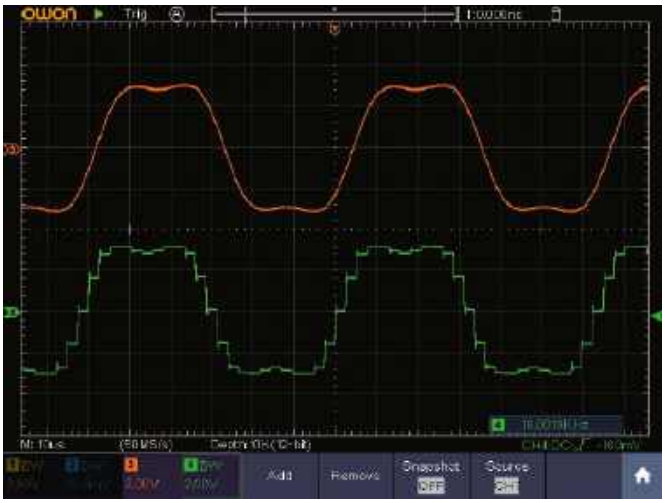
Przebiegi impulsowe mają rozdzielczość 5 µs, wynikającą z częstotliwości próbkowania przetwornika cyfrowo-analogowego (DAC) wynoszącej 192 kHz. Maksymalna częstotliwość sygnału prostokątnego została ograniczona do 20 kHz. Chociaż możliwe jest generowanie impulsów o krótszym czasie trwania, po przekroczeniu tej częstotliwości filtrowany sygnał wyjściowy staje się coraz bardziej zaokrąglony (**oscylogram 1**). Wynika to z działania wewnętrznego filtra cyfrowego przetwornika DAC oraz analogowego filtra dolnoprzepustowego o częstotliwości granicznej 100 kHz.

Maksymalny czas narastania i opadania zboczy wynosi 5 µs (**oscylogram 2**) i jest w dużej mierze niezależny od amplitudy sygnału. Wynika to głównie z działania cyfrowego filtra interpolacyjnego zastosowanego w przetworniku cyfrowo-analogowym (DAC).

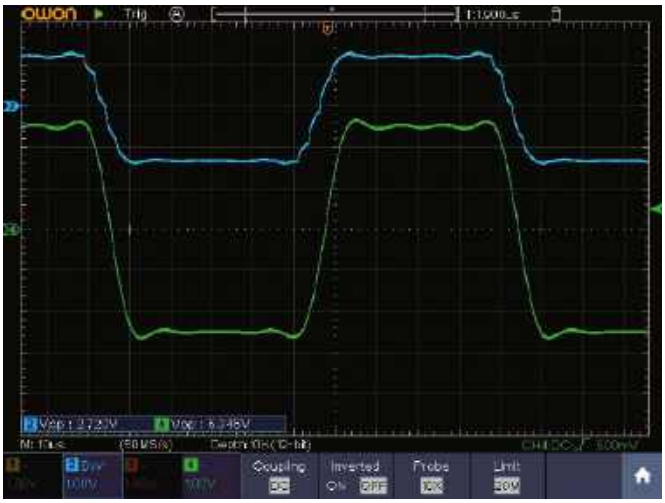
W przypadku przebiegów prostokątnych, trójkątnych i impulsowych liczba dostępnych częstotliwości maleje wraz ze wzrostem częstotliwości sygnału, ponieważ każda faza przebiegu – narastanie, stan wysoki, opadanie i stan niski – musi odpowiadać całkowitej liczbie próbek. Dla częstotliwości 1 kHz jeden okres obejmuje 192 próbki. Następna dostępna wartość odpowiada 191 próbkom na okres, co daje częstotliwość 1,0052 kHz.

Przebieg prostokątny o częstotliwości 10 kHz będzie miał 20 próbek na okres, czyli nieco więcej niż idealna wartość 19,2 próbki, co daje rzeczywistą częstotliwość 9,6 kHz. Kolejna dostępna wartość odpowiada 18 próbkom na okres, co daje częstotliwość 10,67 kHz. Przy wyższych częstotliwościach odstępy między kolejnymi dostępnymi częstotliwościami szybko rosną – na przykład między 19,2 kHz a 21,33 kHz są już ponad dwukrotnie większe.

Dzięki nadpróbkowaniu w przetworniku cyfrowo-analogowym (DAC) z efektywną częstotliwością 384 kHz niewielka liczba próbek przy wysokich częstotliwościach nie ma istotnego wpływu na jakość generowanego przebiegu sinusoidalnego. Nadpróbkowanie skutecznie rekonstruuje przebieg aż do około 60 kHz, co pokazano na **oscylogramie 3**. W miarę zbliżania się do granicy Nyquista wynoszącej 96 kHz artefakty pochodzące od cyfrowego filtra przetwornika DAC zaczynają zniekształcać przebieg (**oscylogram 4**).



Oscylogram 1. Przy częstotliwości 16 kHz przebieg prostokątny na wyjściu zaczyna się zaokrąglać



Oscylogram 2. Umieszczenie pojedynczej próbki w połowie odległości między poziomem wysokim i niskim w znacznym stopniu eliminuje przeregulowanie sygnału

eprasa.pl 657e0c02ec

Większość elementów i złączy, w tym dwa główne moduły, montuje się po stronie płytki drukowanej pokazanej po prawej stronie. W przypadku modułów Raspberry Pi Pico W i przetwornika cyfrowo-analogowego (DAC) zaleca się stosowanie listew goldpin, natomiast podstawki do pozostałych układów scalonych są opcjonalne. Na płytce drukowanej można zamontować dowolny z dwóch powszechnie dostępnych modułów PCM5102A. Na zdjęciu po lewej stronie przedstawiono wyświetlacz LCD, diody LED sygnalizujące funkcje oraz elementy sterujące zamontowane z tyłu głównej płytki drukowanej

Generowanie sygnałów

Tradycyjne analogowe generatory sinusoidalne, na przykład oparte na mostku Wiena, mogą zapewniać bardzo małe szumy i zniekształcenia, ale brakuje im elastyczności. Generowanie bardziej złożonych przebiegów, takich jak paczki impulsów, przemiatanie częstotliwości, przebiegi trójkątne czy dwutonowe sygnały do pomiaru zniekształceń intermodulacyjnych (IMD), wymaga znacznego zwiększenia złożoności układów analogowych.

Bezpośrednia synteza cyfrowa (DDS) zapewnia wymaganą elastyczność i może być realizowana za pomocą prostych układów elektronicznych, choć wymaga bardziej rozbudowanego oprogramowania.

Generowanie przebiegu sinusoidalnego o wysokiej jakości stanowi poważne wyzwanie ze względu na ograniczoną wydajność modułu Raspberry Pi Pico W. Obliczanie kolejnych wartości funkcji sin(x) dla każdej próbki jest stosunkowo czasochłonne i wymaga wykonania kilku obliczeń zmiennoprzecinkowych podwójnej precyzji. Przy częstotliwości próbkowania 192 kHz co 5 µs należy wyznaczyć dwie nowe próbki – po jednej dla każdego kanału.

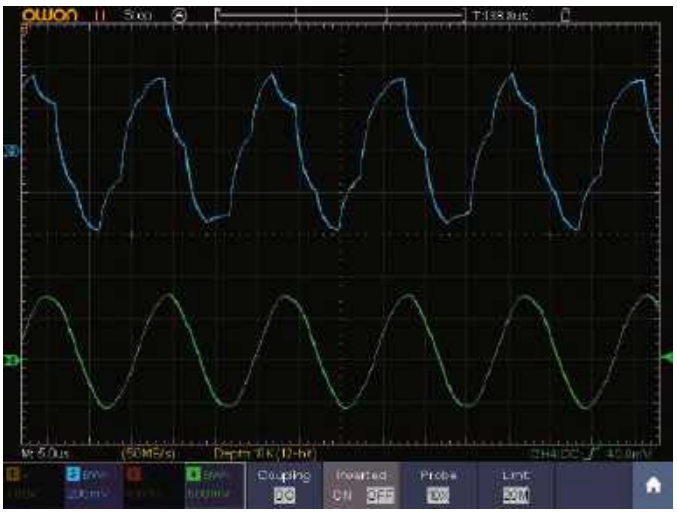
Obliczenie pary wartości funkcji sin(x) za pomocą modułu Raspberry Pi Pico W, który nie ma sprzętowego wsparcia dla obliczeń zmiennoprzecinkowych, zajmuje 16 µs. Oznacza to, że bezpośrednie obliczanie tych wartości jest niepraktyczne. Obliczenia muszą trwać krócej niż 1 µs, aby pozostawić wystarczająco dużo czasu na inne zadania związane z przetwarzaniem i sterowaniem, takie jak wyzwalanie, obsługa paczek impulsów i przemiatania.

Aby to osiągnąć, wstępnie obliczana jest tablica wartości sinusoidy (LUT) zawierająca 4096 wpisów. Obejmuje ona jeden pełny okres przebiegu sinusoidalnego zapisany w postaci liczb całkowitych. Program przechodzi kolejno przez tablicę, wybierając odpowiednią wartość dla każdej próbki.

Aby umożliwić wybór dowolnej częstotliwości, a nie tylko tych odpowiadających dokładnym wpisom w tablicy, pozycja odczytu jest wyznaczana za pomocą 20-bitowego akumulatora fazowego. Jego 12 starszych bitów służy do indeksowania tablicy, natomiast 8 młodszych bitów jest wykorzystywanych do interpolacji między dwoma sąsiednimi wpisami.

Chociaż istnieje wiele metod wyznaczania wartości pomiędzy dwoma punktami krzywej, najszybszą jest interpolacja liniowa,

Oscylogram 3. Surowe wyjście sinusoidalne przetwornika cyfrowo-analogowego (DAC) o częstotliwości 20 kHz (pomarańczowa krzywa) wykazuje skoki z częstotliwością 384 kHz spowodowane nadpróbkowaniem przetwornika. Wyjście układu filtrującego (zielona krzywa) wygładza te skoki



Oscylogram 4. Przy częstotliwości 70 kHz sygnał wyjściowy przetwornika cyfrowo-analogowego (DAC) stał się dość nierówny, a na filtrowanym sygnale widoczne są zniekształcenia w pobliżu wartości szczytowych. Falowanie surowego przebiegu wynika z działania wewnętrznego filtra cyfrowego przetwornika DAC

eprasa.pl 657e0c02ec

w której każdy odcinek krzywej traktowany jest jak linia prosta.

Choć mogłoby się wydawać, że prowadzi to do znacznych niedokładności, duży rozmiar tablicy odnośników sprawia, że błąd – największy w punkcie maksymalnej krzywizny przebiegu sinusoidalnego – pozostaje poniżej 0,0005%. Jest to wartość czterokrotnie mniejsza od zniekształceń wynoszących 0,002%, deklarowanych dla przetwornika cyfrowo-analogowego (DAC).

Ponieważ moduł Raspberry Pi Pico W nie ma sprzętowego układu do wykonywania dzielenia liczb całkowitych, podczas obliczania kolejnych próbek uniknięto operacji dzielenia. Zamiast tego wcześniej obliczane są odwrotności wszystkich potrzebnych dzielników w reprezentacji stałoprzecinkowej (z 10-bitową częścią ułamkową), a następnie wykonywane jest mnożenie. Takie rozwiązanie jest około 23 razy szybsze niż bezpośrednie wykonywanie operacji dzielenia.

W trybie intermodulacji sumowane są wyniki obliczeń sygnałów sinusoidalnych kanałów A i B, a następnie kierowane na wyjście kanału A. W tym czasie kanał B może być nadal wykorzystywany do generowania innych przebiegów.

Szum biały jest generowany jako sekwencja wartości pseudolosowych obliczanych tak, aby mieściły się w zadanym zakresie napięcia.

Generowanie przebiegów prostokątnych, trójkątnych, impulsowych i schodkowych opiera się wewnętrznie na tym samym algorytmie generowania impulsów. Sygnały impulsowe są łatwe do wygenerowania, ponieważ stanowią sekwencję liniowych ramp pomiędzy zadanymi poziomami.

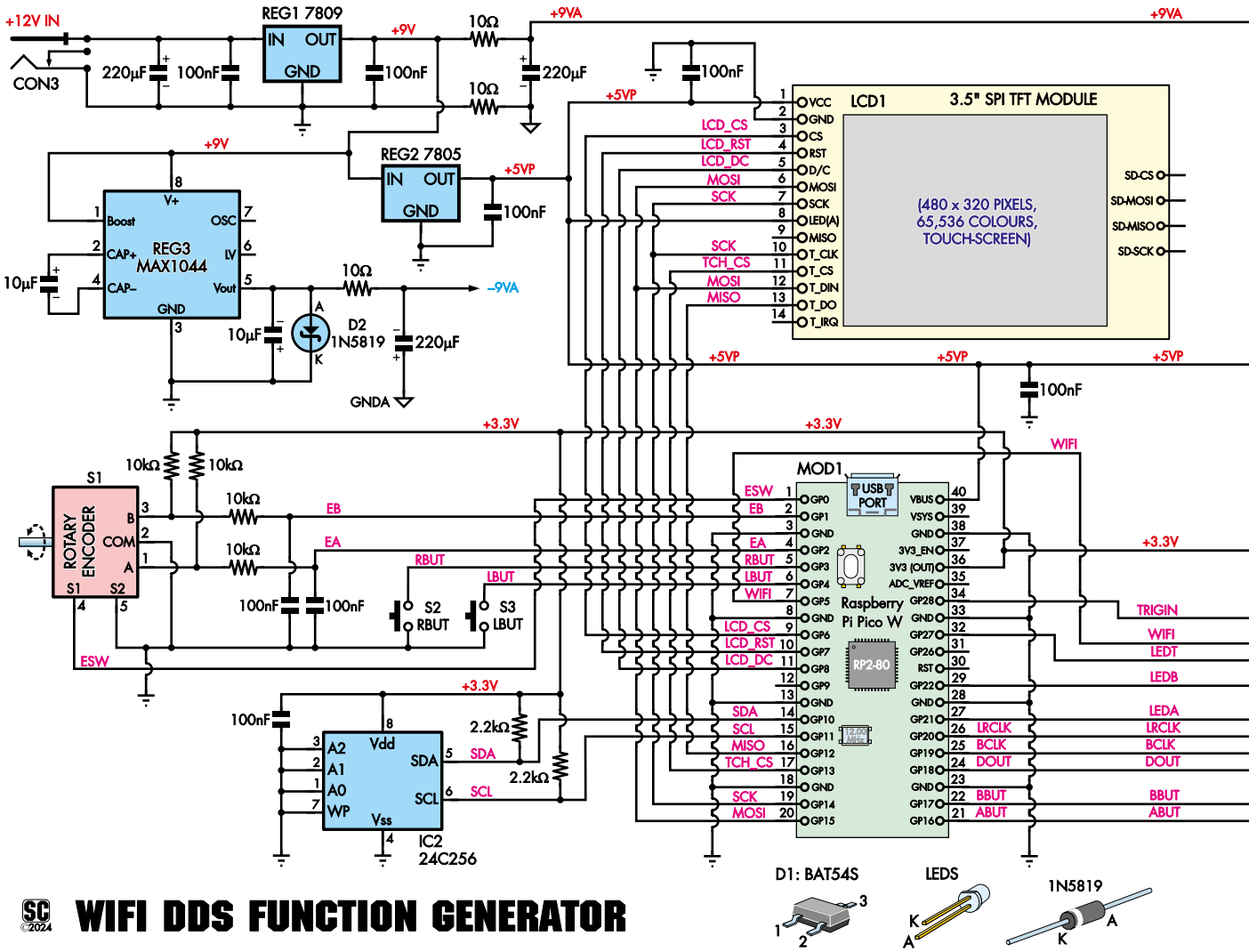
W przypadku stromych zboczy wartość jest zwiększana o odpowiedni przyrost dla każdej próbki, natomiast przy łagodniejszych zboczach zwiększenie następuje dopiero po kilku próbkach.

Gdy nachylenie zbliża się do jednego przyrostu na próbkę, liczba możliwych wartości nachylenia staje się bardzo ograniczona. W takim przypadku przyrosty są obliczane dla bloków po 50 próbek, co zwiększa zarówno rozdzielczość, jak i dokładność odwzorowania nachylenia.

Kanał A umożliwia przemiatanie oraz generowanie paczek impulsów dla szerokiej gamy przebiegów.

W przypadku paczek impulsów sygnał wyjściowy przełącza się między wartością spoczynkową a sygnałem aktywnym, przy czym każdy z tych stanów trwa przez zadaną liczbę cykli. Dla przebiegów sinusoidalnych wartością spoczynkową jest offset DC, natomiast dla przebiegów prostokątnych, trójkątnych, impulsowych i schodkowych jest nią dolny poziom napięcia. W przypadku sygnałów IMD i białego szumu wartość spoczynkowa wynosi 0 V.

W przypadku sygnałów IM oraz białego szumu okresy włączenia i wyłączenia są określane w milisekundach, a przełączenie następuje bezpośrednio po przejściu sygnału przez zero, aby zminimalizować stany przejściowe. We wszystkich pozostałych przebiegach sygnał wyjściowy jest również włączany lub wyłączany bezpośrednio po przejściu



WIFI DDS FUNCTION GENERATOR

eprasa.pl 657e0c02ec

przez zero, co ogranicza występowanie stanów przejściowych.

Przemiatanie jest realizowane jako seria schodkowych zmian wartości pomiędzy dwoma wartościami końcowymi.

W zależności od rodzaju przebiegu przemiatana może być amplituda, częstotliwość lub współczynnik wypełnienia. Przemiatanie może mieć charakter liniowy lub logarytmiczny. W każdym kroku przemiatania nowa wartość przebiegu rozpoczyna się od ostatniej wartości wyjściowej (**oscylogram 5**), co minimalizuje stany przejściowe.

W przypadku przemiatania logarytmicznego problemem są wartości ujemne, ponieważ logarytm z liczby ujemnej jest niezdefiniowany. W razie wykrycia takiej sytuacji problematyczna wartość jest zastępowana wartością 0,01.

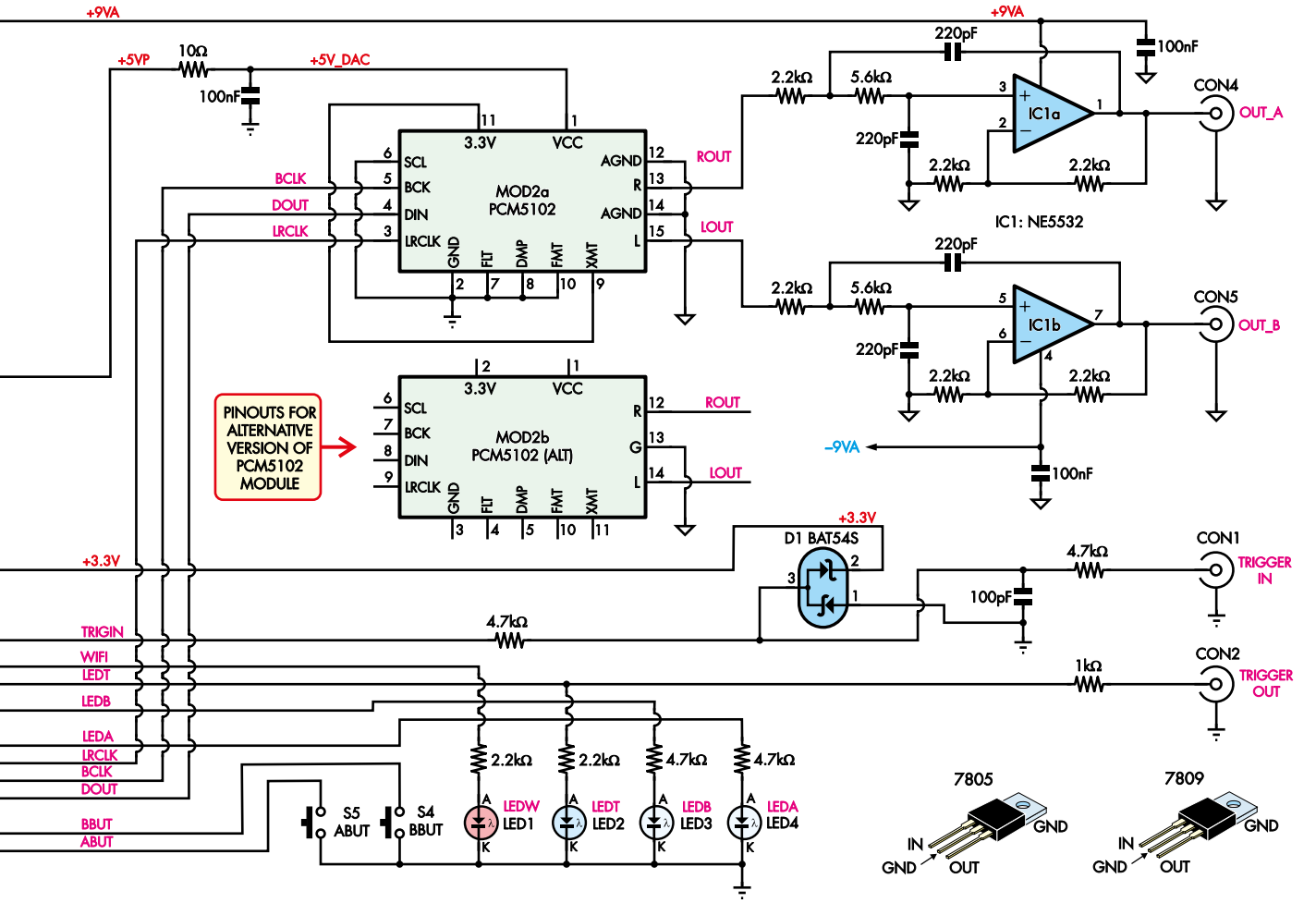
W górnej części generatora funkcyjnego znajdują się cztery gniazda RCA dla dwóch kanałów wyjściowych oraz wejścia i wyjścia wyzwalającego, a także koncentryczne gniazdo zasilania. Urządzenie pokazano tutaj na opcjonalnym stojaku

Działanie układu

Jak pokazano na pełnym schemacie (**rysunek 5**), do generowania sygnałów zastosowano przetwornik cyfrowo-analogowy (DAC, MOD1) sterowany przez mikrokontroler. Za przetwornikiem DAC znajduje się wzmacniacz buforowy z filtrem (IC1), który tłumi składowe spoza pasma i zwiększa dostępne napięcie wyjściowe.

Moduł Raspberry Pi Pico W, stanowiący serce tego projektu, ma dwa rdzenie procesora oraz rozbudowane funkcje Wi-Fi i Bluetooth. W tym zastosowaniu jeden rdzeń jest przeznaczony do generowania sygnałów, natomiast drugi zarządza siecią Wi-Fi, ekranem LCD, pamięcią EEPROM, przełącznikami, enkoderem obrotowym oraz pozostałymi zadaniami systemowymi.

Chociaż układ ESP32, stosowany w poprzednich urządzeniach tej serii, ma znacznie wydajniejszy układ arytmetyczny, który byłby



Rysunek 5. Moduł Raspberry Pi Pico W przesyła strumieniowo cyfrowe dane audio do modułu przetwornika cyfrowo-analogowego PCM5102. Jego wyjścia analogowe są filtrowane i wzmacniane przez podwójny wzmacniacz operacyjny IC1, a następnie doprowadzane do wyjść CON4 i CON5. Moduł Raspberry Pi Pico W steruje również ekranem dotykowym LCD, przełącznikami sterującymi i diodami LED. Zapewnia także łączność Wi-Fi, umożliwiającą zdalne sterowanie

eprasa.pl 657e0c02ec

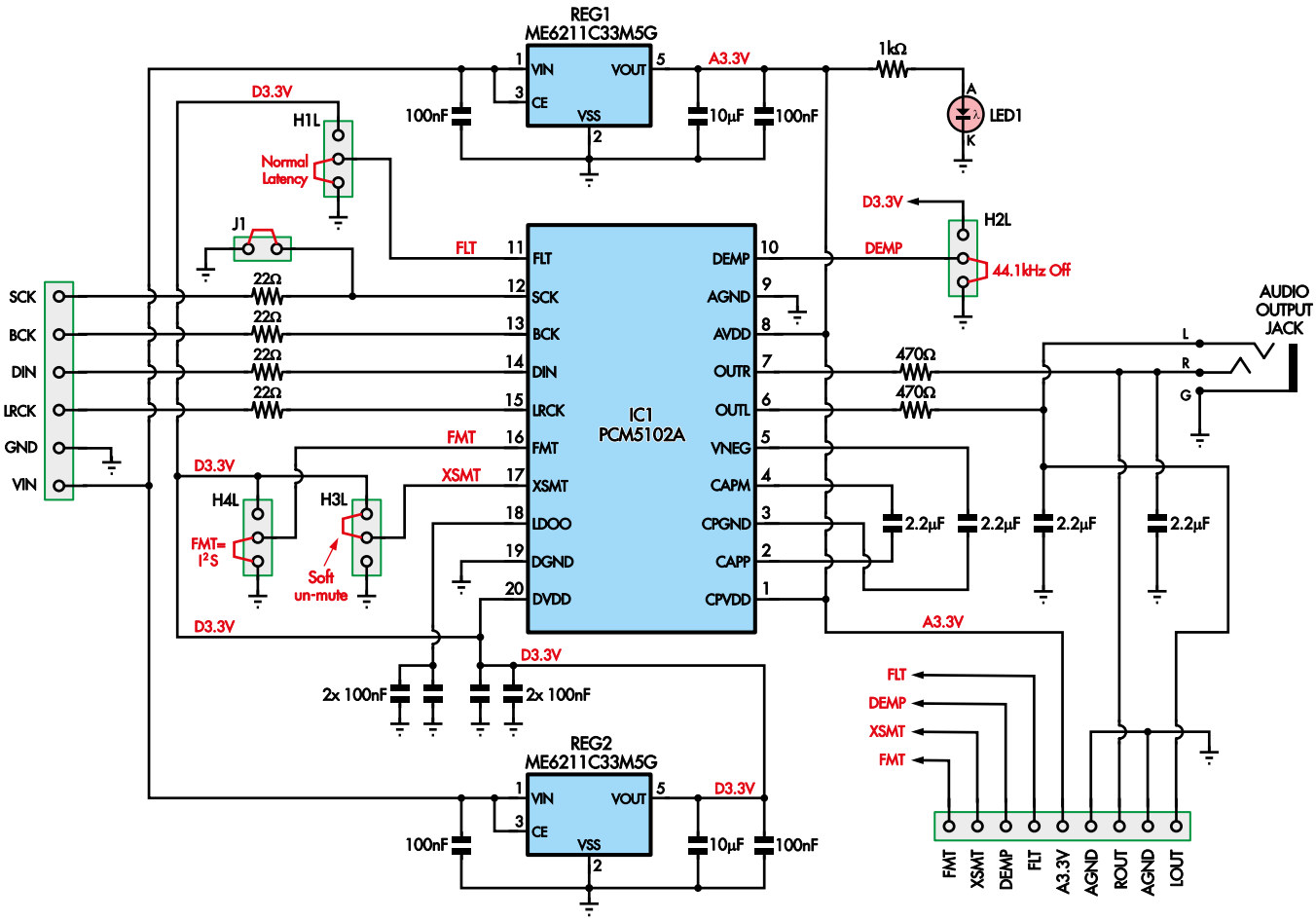
Generator funkcyjny DDS z obsługą Wi-Fi umieszczony na opcjonalnym akrylowym stojaku

przydatny przy generowaniu sygnałów DDS, prostota wgrywania programów oraz niski koszt modułu Raspberry Pi Pico W sprawiły, że okazał się on lepszym wyborem do tego projektu.

24-bitowy stereofoniczny przetwornik cyfrowo-analogowy PCM5102A przekształca wartości obliczone przez moduł Raspberry Pi Pico W na napięcia o maksymalnej wartości wyjściowej 2,1 V RMS (5,9 V_{pp}). Dzięki wbudowanej pompie ładunkowej układ PCM5102A może generować napięcia dodatnie i ujemne z pojedynczego źródła zasilania, co pozwala zastosować w projekcie sprzężenie stałoprądowe, mające kluczowe znaczenie przy generowaniu sygnałów o niskiej częstotliwości.

Moduły zawierające układ PCM5102A są łatwo dostępne w Internecie. Są fabrycznie wyposażone w elementy pomocnicze i zamontowane na niewielkiej płytce drukowanej, dzięki czemu nie ma potrzeby lutowania układu SMD o drobnym rastrze wyprowadzeń. Schemat zalecanego modułu przedstawiono na **rysunku 6**.

Kluczowym założeniem projektu był dobór częstotliwości próbkowania układu DDS. Przy częstotliwości 96 kHz moduł Raspberry Pi Pico W może bez problemu



Rysunek 6. Schemat modułu przetwornika cyfrowo-analogowego opartego na układzie PCM5102. Korzystanie z niego oznacza, że nie musimy lutować układu scalonego SMD. Zawiera on dwa stabilizatory napięcia oraz kilka innych niezbędnych elementów, w tym liczne kondensatory odsprzęgające i filtrujące

eprasa.pl 657e0c02ec

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

syntetyzować dwa przebiegi sinusoidalne. W praktyce jednak maksymalna częstotliwość przebiegu sinusoidalnego byłaby ograniczona do około 35 kHz, a przebiegu prostokątnego do około 10 kHz, powyżej których zniekształcenia stają się znaczne.

Jednoczesna synteza dwóch przebiegów sinusoidalnych przy częstotliwości próbkowania 192 kHz jest trudna, gdy moduł Raspberry Pi Pico W pracuje z domyślną częstotliwością taktowania 133 MHz. Stabilną syntezę można jednak uzyskać po niewielkim podkręceniu częstotliwości taktowania do 240 MHz. Może się to wydawać wartością wysoką, jednak maksymalna obsługiwana częstotliwość taktowania wynosi 300 MHz, a układy RP2040 były już podkręcane do 436 MHz i więcej bez ich uszkodzenia.

Przeprowadziłem kilka testów i po kilku godzinach pracy z częstotliwością taktowania 240 MHz układ RP2040 był tylko o kilka stopni cieplejszy niż podczas pracy z częstotliwością 133 MHz.

Sygnały wyjściowe przetwornika cyfrowo-analogowego (DAC) są wzmacniane i filtrowane przez podwójny, niskoszumny wzmacniacz operacyjny NE5532, co ogranicza składowe spoza pasma i zwiększa maksymalne napięcie wyjściowe do 4,1 V RMS (11,5 V_{pp}). Taka wartość jest wystarczająca do większości zastosowań. Filtr ze sprzężeniem stałoprądowym umożliwia dodanie offsetu do sygnału, co jest szczególnie przydatne w przypadku przebiegów prostokątnych, impulsowych, schodkowych i trójkątnych.

Należało również wybrać wyświetlacz LCD. Ekrany dotykowe TFT LCD o przekątnej 3,5 cala są tylko nieznacznie droższe od modeli 2,8-calowych, a oferują o 50% większą powierzchnię ekranu i dwukrotnie większą liczbę pikseli.

Chociaż dodawanie w oprogramowaniu nowych rodzajów przebiegów jest stosunkowo proste, każda z tych funkcji wymaga wyświetlenia dodatkowego parametru na ekranie. Aby zachować odpowiedni rozmiar przycisków, odstępów i tekstu, główne elementy interfejsu ograniczono do siedmiu wierszy edytowalnych parametrów oraz rzędów przycisków u góry i u dołu ekranu.

Pamięć EEPROM 24C256 z interfejsem I²C przechowuje parametry po wyłączeniu zasilania układu. Chociaż moduł Raspberry Pi Pico W ma wbudowaną pamięć Flash, którą można by wykorzystać do przechowywania tych wartości, jej trwałość wynosi zaledwie kilkadziesiąt tysięcy cykli zapisu, a nie miliony, jak w przypadku dedykowanej pamięci EEPROM. Przy zapisywaniu parametrów co 30 sekund pamięć Flash mogłaby ulec zużyciu już po niespełna 100 godzinach pracy.

Cztery przyciski są programowo zabezpieczone przed skutkami drgań styków i wykorzystują wewnętrzne rezystory podciągające modułu Raspberry Pi Pico W do wykrywania zwarcia styków. Enkoder obrotowy generuje znaczne zakłócenia podczas przełączania, dlatego do prawidłowego działania wymaga dodatkowych elementów. Dwa filtry dolnoprzepustowe RC eliminują większość tych zakłóceń, przepuszczając jednocześnie do 100 impulsów na sekundę.

Zasilanie

Zasilanie urządzenia wiązało się z kilkoma wyzwaniami. Moduł Raspberry Pi Pico W generuje znaczny szum w paśmie 2...12 kHz, pochodzący z wbudowanej przetwornicy

Wykaz elementów

1 dwustronna płytka drukowana o kodzie 04104241, 149 mm × 108 mm.
1 moduł Raspberry Pi Pico W zaprogramowany plikiem 04104241A.uf2 (MOD1)
1 kabel USB Micro-B – USB-A (do programowania modułu Raspberry Pi Pico W)
1 moduł przetwornika cyfrowo-analogowego PCM5102A (MOD2)
1 obudowa z tworzywa o wymiarach 200 mm × 114 mm × 40 mm [Altronics H0378]
1 zasilacz sieciowy 12 V, 500 mA lub większej wydajności prądowej (biegun dodatni na styku środkowym wtyku)
1 ekran dotykowy TFT LCD 3,5 cala z interfejsem SPI (LCD1) [Silicon Chip SC5062]
4 gniazda RCA do montażu na płytce drukowanej (CON1, CON2, CON4 i CON5) [Altronics P0208C/P0145A, Multicomp Pro PSG01547, seria Keystone 97x, Cliff FC68371]
1 koncentryczne gniazdo zasilania do montażu na płytce drukowanej (CON3, rozmiar dopasowany do wtyku zasilacza) [Altronics P0620, Jaycar PS0519]
1 enkoder obrotowy (S1) [Jaycar SR1230 (wał typu D) lub Silicon Chip SC5601]
1 pokrętło typu „scrubber" [Adafruit ADA-2055 (do wału typu D), Multicomp Pro MP716XX (do wału wielowypustowego lub typu D)]
2 białe przyciski chwilowe do montażu na płytce drukowanej (S2 i S3) [seria Altronics S1099, Jaycar SP0723, C&K D6R (bez diody LED)]
2 czerwone przyciski chwilowe do montażu na płytce drukowanej (S4 i S5) [seria Altronics S1095, Jaycar SP0720, C&K D6R (bez diody LED)]
2 20-pinowe listwy goldpin o rastrze 2,54 mm (do montażu modułu Raspberry Pi Pico W)
2 20-pinowe złącza żeńskie na listwę goldpin o rastrze 2,54 mm (do montażu modułu Raspberry Pi Pico W)
1 9-pinowa listwa goldpin o rastrze 2,54 mm (do montażu modułu PCM5102)
1 9-pinowe złącze żeńskie na listwę goldpin o rastrze 2,54 mm (do montażu modułu PCM5102, np. wycięte z dłuższego paska)
1 6-pinowa listwa goldpin o rastrze 2,54 mm (do montażu modułu PCM5102)
1 6-pinowe złącze żeńskie na listwę goldpin o rastrze 2,54 mm (do montażu modułu PCM5102)
3 8-pinowe podstawki DIL do układów scalonych (opcjonalnie; dla IC1, IC2 i REG3)
2 koszulki do laminowania formatu A5 do wykonania naklejek na górną i dolną stronę obudowy, najlepiej o grubości 120 µm

Elementy montażowe
4 tuleje dystansowe z gwintem M3, o długości 10 mm
4 tuleje dystansowe z gwintem M3, o długości 6 mm
2 śruby maszynowe M3 × 8 mm z łbem walcowym
4 śruby maszynowe M3 × 16...25 mm z łbem stożkowym
4 śruby maszynowe M3 × 12...16 mm z łbem stożkowym
10 nakrętek sześciokątnych M3
4 małe samoprzylepne gumowe podkładki ochronne do mebli [Bunnings 0262216]
1 mała tubka pasty termoprzewodzącej lub 2 podkładki termoprzewodzące TO-220

Półprzewodniki
1 podwójny wzmacniacz operacyjny o małym poziomie szumów NE5532, DIP-8 (IC1)
1 szeregowa pamięć EEPROM CMOS 256 kb typu 24C256, DIP-8 (IC2) [Jaycar ZZ8485]
1 stabilizator liniowy 9 V, 1 A 7809, TO-220 (REG1)
1 stabilizator liniowy 5 V, 1 A 7805, TO-220 (REG2)
1 przetwornica napięcia z pompą ładunkową MAX1044, DIP-8 (REG3) [element14, DigiKey, Mouser]
1 podwójna dioda Schottky'ego BAT54S połączona szeregowo, 25 V, 200 mA, SOT-23 (D1)
1 dioda Schottky'ego 1N5189, 40 V, 1 A, DO-41 (D2)
1 czerwona dioda LED 3 mm (LED1)
1 niebieska dioda LED 3 mm (LED2)
2 białe diody LED 3 mm (LED3, LED4)

Kondensatory
3 kondensatory elektrolityczne 220 µF, 16 V
2 kondensatory elektrolityczne 10 µF, 16 V
11 kondensatorów ceramicznych 100 nF, 50 V, typu X7R
4 kondensatory 220 pF ±5%: polistyrenowe, foliowe typu MKP lub MKT albo ceramiczne typu NP0/C0G
1 kondensator ceramiczny 100 pF, 50 V

Rezystory (wszystkie 1/4 W, 1%, z wyprowadzeniami osiowymi)
4 rezystory 10 kΩ
2 rezystory 5,6 kΩ
4 rezystory 4,7 kΩ
10 rezystorów 2,2 kΩ
1 rezystor 1 kΩ
4 rezystory 10 Ω

Części do opcjonalnej podstawki
4 akrylowe elementy wycięte laserowo o grubości 3 mm [Silicon Chip SC6932]
4 małe samoprzylepne gumowe podkładki ochronne do mebli [Bunnings 0262216]
1 mała tubka superglue

Zestaw w wersji podstawowej generatora funkcyjnego Wi-Fi DDS (SC6942, 95 $): zawiera wszystkie elementy z wyjątkiem obudowy, przewodu USB, zasilacza, etykiet i opcjonalnej podstawki. Moduł Raspberry Pi Pico W jest dostarczany bez oprogramowania.

eprasa.pl 657e0c02ec

impulsowej. Jeśli między źródłem zasilania a urządzeniem występuje znaczna rezystancja, szum ten jest przenoszony na szynę zasilania 5 V. Dzieje się tak na przykład podczas zasilania za pomocą przewodu USB.

Do zasilania modułu Raspberry Pi Pico W, ekranu LCD i modułu PCM5102A wymagane jest napięcie 5 V, natomiast do zabezpieczenia wejścia wyzwalającego oraz obwodów enkodera obrotowego potrzebne jest napięcie 3,3 V. Wzmacniacz operacyjny jest zasilany napięciem symetrycznym ±9 V. Napięcia zasilające wzmacniacz buforowy muszą być o kilka woltów wyższe od wymaganego maksymalnego napięcia wyjściowego i odniesione do masy analogowej, a nie cyfrowej.

Układy mieszane powinny mieć oddzielne masy dla części analogowej i cyfrowej. Powinny one być połączone tylko w jednym punkcie, najlepiej pod układem DAC. Moduł PCM5102A zapewnia takie rozwiązanie, a rezystor 10 Ω umieszczony między masą analogową i cyfrową zapewnia ich ścisłe sprzężenie podczas testowania urządzenia bez zamontowanego modułu DAC.

Układ jest zasilany z zewnętrznego źródła napięcia stałego 12 V. Stabilizator liniowy REG1 (9 V) zasila układy analogowe, natomiast stabilizator liniowy REG2 (5 V) zasila moduł Raspberry Pi Pico W, wyświetlacz LCD oraz moduł DAC. Moduł DAC ma wbudowany stabilizator 3,3 V, który zapewnia wymagane napięcie zasilania oraz skutecznie filtruje zakłócenia przenikające z układów cyfrowych do linii zasilania 5 V.

Napięcie 3,3 V, wykorzystywane do ochrony wejścia wyzwalającego przed przepięciami oraz eliminacji drgań styków enkodera obrotowego, jest pobierane z wyjścia 3,3 V modułu Raspberry Pi Pico W.

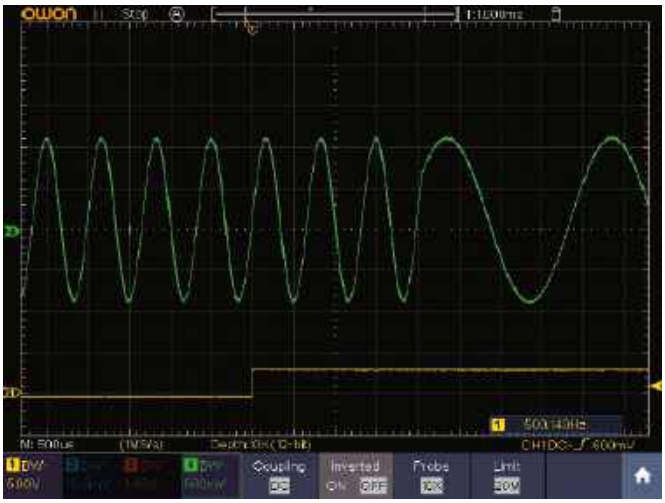
Opcjonalna podstawka z akrylu wycinanego laserowo. W ostatecznej wersji usunięto napisy z boków

Aby zmniejszyć moc rozpraszaną przez stabilizator 5 V, jego wejście jest zasilane z wyjścia REG1 (9 V), a nie bezpośrednio ze źródła 12 V. Podczas generowania dwóch przebiegów sinusoidalnych o napięciu 10 V_{pp} przy obciążeniu 600 Ω prąd zasilania wynosi około 210 mA. Stabilizator REG1 rozprasza więc zwykle moc nie większą niż 630 mW ([12 V – 9 V] × 210 mA).

Napięcie –9 V dla układów analogowych (głównie wzmacniaczy operacyjnych) jest wytwarzane przez przetwornicę odwracającą napięcie z pompą ładunkową MAX1044 (REG3), pracującą z podwyższoną częstotliwością w celu wyeliminowania szumów w paśmie użytkowym. Dwa kondensatory elektrolityczne o pojemności 10 μF ustawiają częstotliwość generatora układu MAX1044 na około 100 kHz, czyli znacznie powyżej maksymalnej częstotliwości generowanego przebiegu sinusoidalnego.

Dioda Schottky'ego D2 zapewnia, że napięcie wyjściowe nigdy nie wzrośnie powyżej 0 V, co mogłoby się zdarzyć podczas pracy urządzenia bez zamontowanego modułu DAC, ponieważ szyna +9 V jest ustalana wcześniej, niż układ MAX1044 rozpocznie pracę. Bez diody D2 wzrost napięcia AGND względem GND wystarczyłby do przekroczenia dopuszczalnego napięcia na wyjściu układu MAX1044, co mogłoby doprowadzić do jego uszkodzenia.

Zwrócono również szczególną uwagę na ograniczenie przenikania zakłóceń z sygnałów cyfrowych do analogowej części układu. Szybkie sygnały cyfrowe



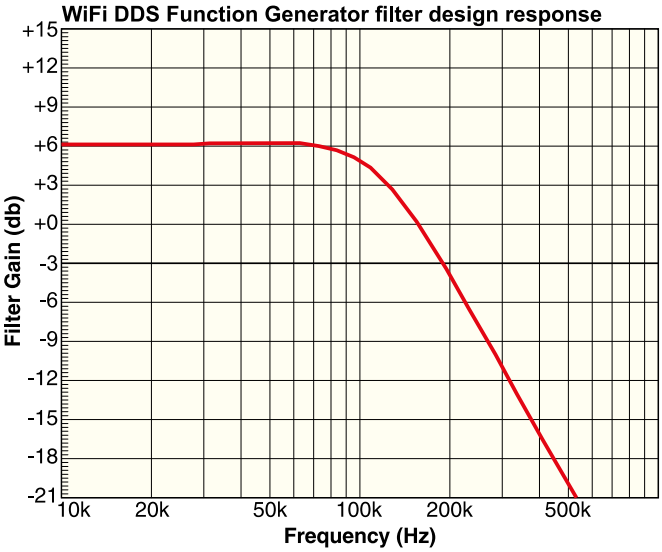
Oscylogram 5. Zmiana poziomu sygnału jest zminimalizowana na granicach kroków przemiatania, aby uniknąć generowania stanów przejściowych

Oscylogram 6. Przebieg prostokątny o częstotliwości 10 kHz na wyjściu przetwornika cyfrowo-analogowego (niebieska krzywa) oraz po filtrowaniu (zielona krzywa). Oba wykazują znaczne przeregulowanie w porównaniu z ulepszoną wersją (patrz oscylogram 2)

eprasa.pl 657e0c02ec

doprowadzane do modułu DAC przechodzą przez szeregowe rezystory 22 Ω, które ograniczają zakłócenia wywoływane przez strome zbocza sygnałów, pojemność ścieżek drukowanych oraz niedopasowanie impedancji.

Napięcia zasilające ±9 V przechodzą przez filtry dolnoprzepustowe RC, złożone z rezystorów 10 Ω oraz kondensatorów elektrolitycznych 220 μF połączonych równolegle z kondensatorami ceramicznymi 100 nF, a następnie są doprowadzane do wzmacniacza operacyjnego. Elementy te odsprzęgają źródła zasilania od masy cyfrowej, jednocześnie utrzymując spadek napięcia na akceptowalnym poziomie. Dzięki temu możliwe jest uzyskanie pełnego zakresu napięcia wyjściowego przy obciążeniu 600 Ω bez wzrostu zniekształceń.



Rysunek 7. Filtr dolnoprzepustowy 2. rzędu w konfiguracji Sallena-Keya został zaprojektowany tak, aby przy częstotliwości 70 kHz tłumienie sygnału wynosiło mniej niż 0,1 dB, a przy częstotliwości 384 kHz ponad 20 dB

Filtrowanie

Przetworniki cyfrowo-analogowe (DAC) generują szerokopasmowy szum o wysokiej częstotliwości, ponieważ zmiany poziomu sygnału wyjściowego zachodzą skokowo. Na niefiltrowanych przebiegach (niebieskim i pomarańczowym), pokazanych na oscylogramach 3 i 4, sygnał wyjściowy nie ma postaci idealnej sinusoidy, a zmiany sygnału występują z większą częstotliwością, niż wynikałoby to z częstotliwości próbkowania. Jest to efektem zastosowania przez przetwornik DAC nadpróbkowania, które wygładza przebieg przez generowanie wartości pośrednich z częstotliwością 384 kHz.

Nadpróbkowanie znacznie zmniejsza zniekształcenia spowodowane drugą harmoniczną, szczególnie przy wyższych częstotliwościach.

Filtr cyfrowy w układzie DAC tłumi artefakty pojawiające się powyżej granicy Nyquista, czyli połowy częstotliwości próbkowania, o 60 dB. Ogranicza on również szybkość narastania sygnału.

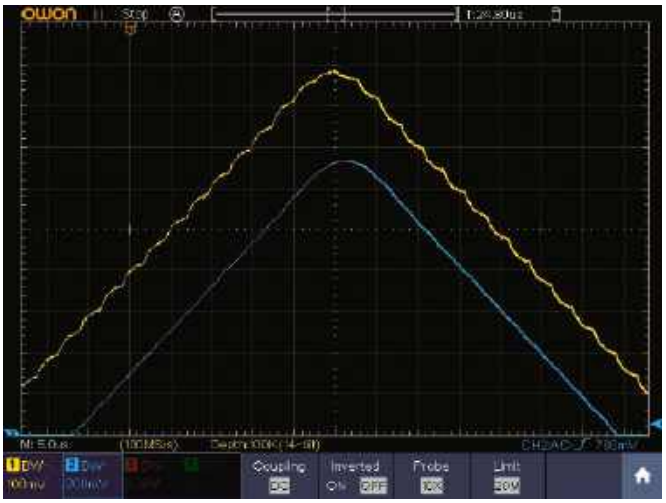
W celu dalszego ograniczenia niepożądanych składowych sygnału o wysokiej częstotliwości zastosowano filtr analogowy. Dwubiegunowy filtr Sallena-Keya, zbudowany z wykorzystaniem układu IC1, zaprojektowano tak, aby zapewniał maksymalnie płaską charakterystykę w paśmie przepustowym oraz spadek wynoszący zaledwie ułamek decybela przy częstotliwości 70 kHz (**rysunek 7**). Filtr ma wzmocnienie 2 V/V.

Rezystory 2,2 kΩ łączące wyjścia przetwornika cyfrowo-analogowego (DAC) z wejściami filtrów opartych na wzmacniaczach operacyjnych mają mniejszą rezystancję, niż można by się spodziewać. Wynika to z faktu, że moduł DAC ma na wyjściach szeregowe rezystory 470 Ω. Efekt działania filtra jest widoczny w postaci znacznie gładszych zielonych przebiegów na oscylogramach 3 i 4.

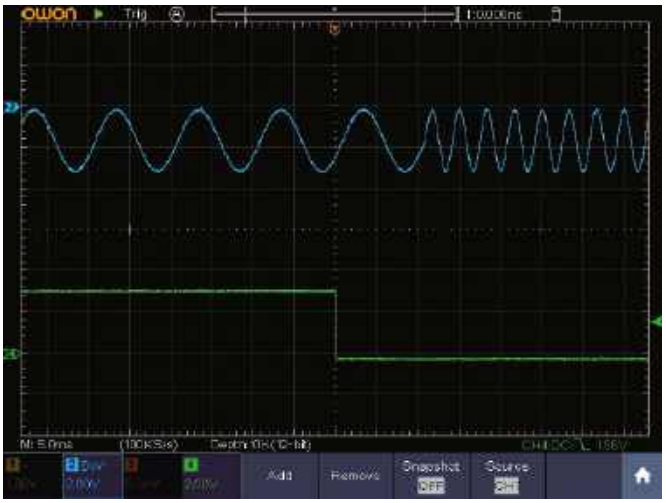
Na działanie zarówno filtrów cyfrowych, jak i analogowych najbardziej podatne są przebiegi prostokątne. Na **oscylogramie 6** pokazano przebieg prostokątny o częstotliwości 10 kHz na wyjściu przetwornika cyfrowo-analogowego po przejściu przez filtry. Cyfrowy filtr przetwornika DAC powoduje niewielkie przeregulowanie na wierzchołku impulsu oraz dzwonienie po przejściu do dolnego poziomu. Ustawienie ostatniej próbki w połowie odległości między tymi dwoma skrajnymi wartościami w każdym półokresie zmniejsza to zjawisko (oscylogram 2).

Przebieg staje się wyraźnie zaokrąglony po przekroczeniu częstotliwości 16 kHz (oscylogram 1).

Zielona krzywa na oscylogramie 7 pokazuje wygładzenie zboczy przebiegu trójkątnego o częstotliwości 5 kHz przez filtr analogowy. Należy zauważyć, że filtr nie powoduje zauważalnego zwiększenia



Oscylogram 7. Przefiltrowany sygnał wyjściowy przebiegu trójkątnego o częstotliwości 5 kHz nie wykazuje zauważalnie większego zaokrąglenia wierzchołków niż sygnał nieprzefiltrowany



Oscylogram 8. Impuls wyjściowy wyzwalacza pojawia się 10...13 ms przed generowanym sygnałem, ponieważ sygnał jest buforowany przed przesłaniem do przetwornika cyfrowo-analogowego (DAC)

eprasa.pl 657e0c02ec

zaokrąglenia wierzchołków przebiegu trójkątnego, które jest artefaktem cyfrowego filtra przetwornika cyfrowo-analogowego (DAC).

Wyzwalacze

Krótki impuls wyzwalający o napięciu 3,3 V jest generowany w kanale A na początku paczek impulsów, przebiegów schodkowych i przemiatania. W trybie przemiatania wyjście wyzwalające jest ustawiane na początku przemiatania i zerowane na końcu pierwszego kroku. W trybie przebiegu schodkowego sygnał wyzwalający zmienia stan na końcu każdego kroku w górę lub w dół.

Aby zapewnić bardziej niezawodne wyzwalanie oscyloskopu przy bardzo niskich częstotliwościach, w kanale A generowany jest również impuls wyzwalający w punktach środkowych przebiegów sinusoidalnych, prostokątnych i trójkątnych.

Impuls wyzwalający jest synchronizowany z obliczeniami sygnału, a nie z sygnałem wyjściowym przetwornika cyfrowo-analogowego (DAC). Jak pokazano na **rysunku 8**, sygnał wyzwalający wyprzedza zmianę sygnału wyjściowego przetwornika DAC o kilka milisekund.

Wynika to z faktu, że obliczone wartości są przesyłane do przetwornika DAC za pośrednictwem pięciu buforów DMA, z których każdy mieści 512 próbek. Rozwiązanie to umożliwia precyzyjne zsynchronizowanie transferu próbek do przetwornika DAC przez układ DMA modułu Raspberry Pi Pico W.

Opóźnienie może wynosić od czterech do pięciu czasów buforowania (10...13 ms), w zależności od etapu opróżniania i napełniania buforów przez przetwornik cyfrowo-analogowy (DAC) oraz procesor. Przy częstotliwościach 10 Hz i niższych wahanie to stanowi niewielką część okresu przebiegu, dzięki czemu wyzwalanie jest stosunkowo stabilne.

Przebiegi typu sweep, burst i step w kanale A mogą być wyzwalane za pomocą sygnału zewnętrznego lub polecenia SCPI. Wyzwolenie funkcji może następować na zboczu narastającym lub opadającym. Wejście wyzwalające modułu Raspberry Pi Pico W jest chronione przed sygnałami spoza zakresu od 0 V do 3,3 V za pomocą dwóch rezystorów szeregowych 4,7 kΩ, kondensatora równoległego 100 pF oraz dwóch diod Schottky'ego. Układ ochronny zabezpiecza przed wyładowaniami elektrostatycznymi (ESD), a także przed przypadkowym podłączeniem niewłaściwego napięcia.

Na wejściach GPIO modułu Raspberry Pi Pico W aktywne są bramki Schmitta, ograniczające fałszywe wyzwalanie spowodowane zakłóceniami pochodzącymi ze źródeł takich jak przełączniki i przekaźniki.

Dwa moduły PCM5102, które można wykorzystać w tym projekcie. Zalecamy moduł po lewej stronie. Spodziewamy się, że będzie charakteryzował się niższym poziomem szumów wyjściowych, ponieważ ma oddzielne stabilizatory napięcia 3,3 V dla części analogowej i cyfrowej

Wybór elementów

Moduły przetwornika cyfrowo-analogowego PCM5102A są dostępne w wielu sklepach internetowych. Płytka drukowana obsługuje oba najpopularniejsze warianty tych modułów (patrz zdjęcia).

Preferowany jest wariant z rozkładem wyprowadzeń w kształcie litery L, ponieważ ma oddzielne stabilizatory napięcia 3,3 V dla zasilania analogowej i cyfrowej części układu scalonego PCM5102A.

Przetestowałem wzmacniacz operacyjny OPA2134, ale zalecany jest model NE5532, ponieważ jest znacznie tańszy i charakteryzuje się nieco niższym poziomem drugiej harmonicznej w zakresie częstotliwości 5...30 kHz.

Aby zapewnić dobre parametry, niektóre elementy związane z filtrami NE5532 wymagają wąskich tolerancji oraz zastosowania elementów z odpowiednimi właściwościami dielektrycznymi, dlatego należy upewnić się, że zastosowane elementy są zgodne ze specyfikacjami podanymi w wykazie elementów.

Jeśli kondensatory z odpowiednimi wyprowadzeniami nie są dostępne, do pól lutowniczych na płytce drukowanej można przylutować kondensatory SMD w obudowach M3216/1206 lub M2012/0805, pod warunkiem że spełniają minimalne wymagania. W całym projekcie wystarczające są rezystory o tolerancji 1%.

3,5-calowy ekran dotykowy LCD z interfejsem SPI jest powszechnie dostępny i taki sam, jak zastosowany w module Micromite LCD BackPackV3. Można go nabyć w sklepie internetowym Silicon Chip wraz z płytką drukowaną do tego projektu oraz niektórymi innymi elementami.

Rozmiary gniazd RCA przeznaczonych do montażu na płytkach drukowanych niestety nie są standardowe. Na płytce drukowanej można zastosować dwa najpopularniejsze footprinty, dostępne u wielu dostawców – na przykład firma Altronics oferuje modele P0208C lub P0144A, natomiast inni główni dostawcy elementów mają w ofercie co najmniej jeden z następujących modeli: Cliff FC68371, Keystone serii 970, Lumberg 1553-02 lub Multicomp Pro PSG01547.

Można stosować wersje z przełącznikiem lub bez niego. Wysokość osi tulei gniazda RCA różni się w zależności od typu, co ma wpływ na rozmieszczenie otworów w obudowie.

Do montażu modułów PCM5102A i Raspberry Pi Pico W zaleca się stosowanie listew goldpin w celu ułatwienia uruchamiania i debugowania. Podstawki do trzech 8-pinowych układów scalonych DIP są opcjonalne.

Enkodery obrotowe są wyposażone w wałki z rowkiem lub w kształcie litery D. Można stosować oba rodzaje. Ja preferuję pokrętła typu „scrubber" z niewielkim wgłębieniem na górze. Najczęściej dostępnym modelem jest pokrętło Adafruit 35 mm Scrubber Knob, przeznaczone do wałków z płaskim wycięciem. Niezależnie od wybranego pokrętła należy upewnić się, że sposób mocowania wałka enkodera jest zgodny z mocowaniem pokrętła.

W następnym odcinku

W drugiej części artykułu poświęconego budowie generatora funkcyjnego DDS z obsługą Wi-Fi zostaną przedstawione wszystkie szczegóły konstrukcyjne, instrukcje programowania, procedury testowe oraz zasady użytkowania. ■

RichardPalmer

Materiały dodatkowe dostępne są na stronie Silicon Chip:
https://www.siliconchip.com.au/Shop/8/6941

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 657e0c02ec

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**

-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

Przedstawiony w artykule instrument jest kopią kultowego oryginału – stanowi hołd dla muzycznego klasyka i jest świetnym projektem dla początkujących. To również doskonała zabawa dla osób z muzycznym zacięciem, zwłaszcza zainteresowanych instrumentami starej szkoły. Cały projekt mieści się na jednej, łatwej w montażu płytce drukowanej, którą można zamontować w obudowie lub pozostawić jako konstrukcję wolnostojącą.

Styloclone – instrument muzyczny

Projekt jest na tyle prosty, że doskonale nadaje się dla osób uczących się elektroniki, a jednocześnie na tyle atrakcyjny, że zapewni rozrywkę osobom w każdym wieku. Stylophone to bardzo prosty instrument muzyczny, który umożliwia granie pojedynczych dźwięków za pomocą rysika (lub długopisu). Charakterystyczną cechą Stylophone'a jest to, że klawisze instrumentu są wykonane bezpośrednio na płytce drukowanej.

Oryginalny Stylophone firmy Dubreq pojawił się na rynku w 1968 roku. Chociaż nigdy nie zyskał takiej popularności jak na przykład gitara elektryczna, z pewnością odcisnął swoje piętno na muzyce popularnej. Godne uwagi przykłady wykorzystania Stylophone'a można usłyszeć na początku utworu Davida Bowiego „Space Oddity" oraz w całym instrumentalnym utworze zespołu The Tornados „Telstar". Mimo swojej prostoty charakterystyczne brzmienie tego instrumentu zajmuje ważne miejsce w muzyce popularnej.

Nazwa „Styloclone" wskazuje, że nie jest to prawdziwy Stylophone, lecz jego replika stanowiąca hołd dla oryginalnego instrumentu i czerpiąca z niego inspirację. Nasza wersja w dużym stopniu nawiązuje do projektu Stylophone'a z lat 70. i zachowuje jego charakterystyczne elementy, takie jak ścieżki płytki drukowanej tworzące klawiaturę.

Patrząc na ten projekt okiem inżyniera, moją pierwszą reakcją była chęć „pozłocenia" go, tak aby miał znacznie większe możliwości niż oryginał. W ten sposób stracilibyśmy jednak istotę Stylophone'a.

Mogliśmy oprzeć go na module z mikrokontrolerem, co pozwoliłoby zastosować różnego rodzaju sprytne rozwiązania, w tym nietypowe przebiegi i efekty. Mogliśmy też „zachować czystość", jak powiedziałby lokalny muzyk z Sydney, Blair „Moog" Joscelyne (www.blairjoscelyne.com). [To utalentowany człowiek – przyp. red. oryg.]

Ostatecznie postanowiliśmy kierować się zasadą KISS (*keep it simple, stupid*), czyli zachować maksymalną prostotę. Jeśli ludziom spodoba się oldschoolowy urok naszej wersji Stylophone'a, być może w przyszłości stworzymy jej nowocześniejszą odmianę. Styloclone składa się z płytki drukowanej i rysika służącego do wydobywania dźwięków; całość można opcjonalnie zamontować w obudowie, co pokazano na fotografiach.

Oryginalny układ Stylophone'a składa się z dwóch głównych części. Pierwsza to prosty generator, w którym rysik zmienia stałą czasową obwodu RC, umożliwiając generowanie dźwięku o różnej wysokości. Drugi generator, odpowiedzialny za wibrato, powoduje niewielkie, ale szybkie zmiany częstotliwości dźwięku, dzięki czemu jego brzmienie staje się ciekawsze. Być może rozpoznajesz efekt wibrato, ponieważ jest on stosowany w wielu instrumentach i naśladowany również przez ludzki głos.

We wczesnych modelach Stylophone'a w generatorze stosowano tranzystor jednozłączowy, jednak obecnie elementy te są rzadkością. W późniejszych wersjach pojawił się układ scalony timera 555, który do dziś cieszy się dużą popularnością, dlatego również zastosowaliśmy go w naszym projekcie.

Oryginalne rozwiązanie stanowi prawdziwą lekcję mistrzowską w zakresie maksymalnego wykorzystania minimalnej liczby elementów. Zachowaliśmy istotę projektu i dodaliśmy kilka nowych rozwiązań, dzięki czemu powstała jego nowoczesna wersja, którą można samodzielnie zbudować. Jedną z modyfikacji było dodanie prostego wzmacniacza mocy współpracującego ze standardowym głośnikiem 8 Ω. W oryginalnym układzie zastosowano głośnik o wysokiej impedancji, który obecnie jest trudny do zdobycia.

Zastosowaliśmy wzmacniacz LM386, który wprawdzie nie przenosi Stylophone'a w XXI wiek, ponieważ układ ten jest produkowany od połowy lat 70., ale nadal pozostaje bardzo popularny. LM386 cieszy się uznaniem wśród konstruktorów sprzętu muzycznego jako układ powszechnie stosowany we wzmacniaczach do ćwiczeń gry na gitarze oraz efektach typu fuzz. Jest to więc trafny wybór.

Na stronie siliconchip.au/Shop/6/432 można posłuchać kilku próbek dźwiękowych prototypu Styloclone. Pamiętajcie jednak, że jestem raczej inżynierem niż muzykiem, więc nie oczekujcie „Koncertów brandenburskich"! Próbki te powinny jednak dać wyobrażenie o brzmieniu

eprasa.pl 657e0c02ec

instrumentu zbudowanego zgodnie z niniejszym opisem. Można również wprowadzić kilka prostych modyfikacji zmieniających jego brzmienie. O niektórych z nich wspomnę później.

Szczegóły schematu

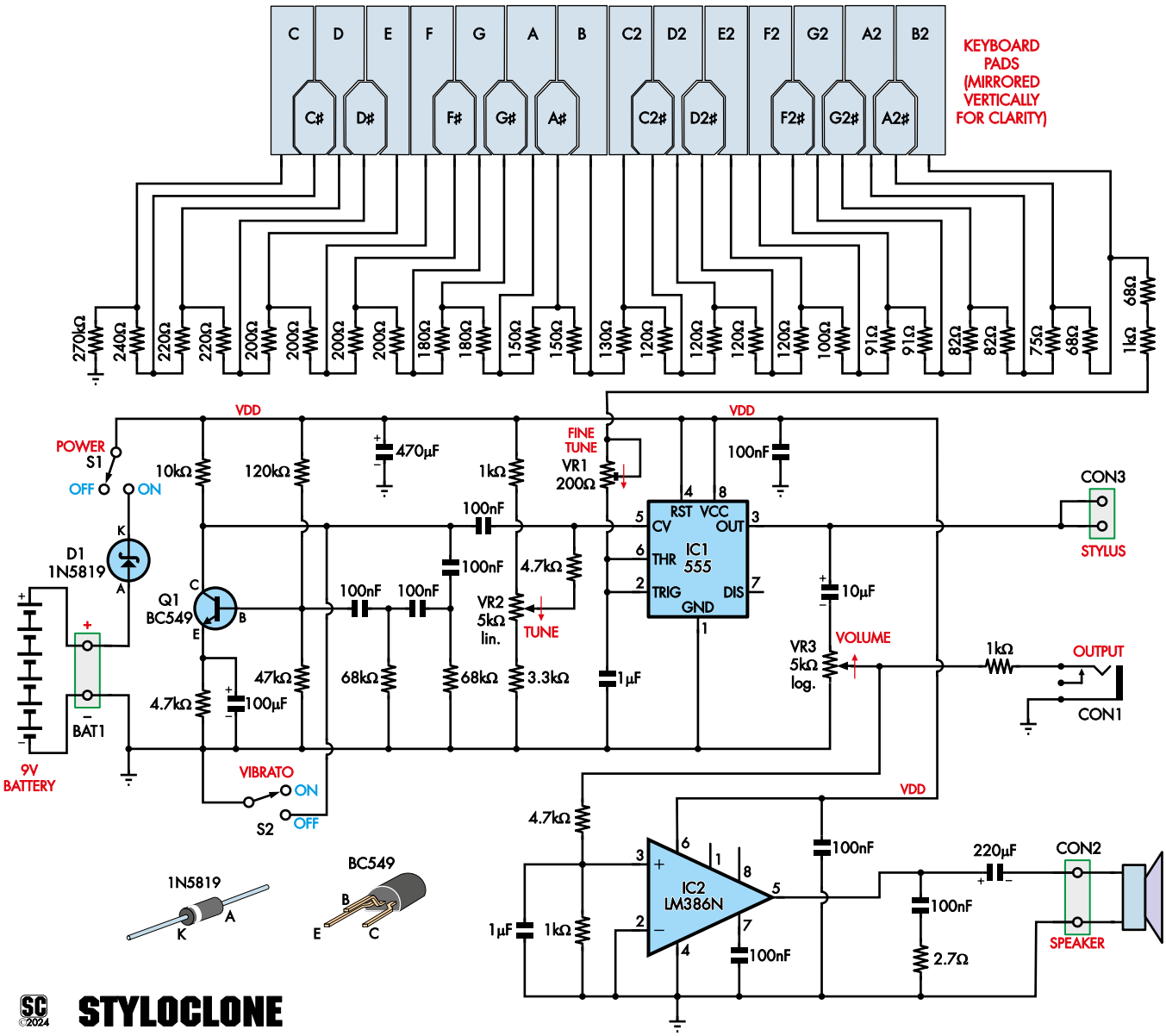
Gotowy schemat przedstawiono na **rysunku 1**. Można na nim wyróżnić dwa generatory: jeden odpowiedzialny za efekt wibrato, a drugi za generowanie dźwięków. Generator wibrato jest oparty na tranzystorze BC549 (Q1), a obwód sprzężenia zwrotnego tworzą kondensatory o pojemności 100 nF i rezystory 68 kΩ. W rezultacie powstał bardzo prosty generator z przesunięciem fazy.

We wczesnych modelach Stylophone'a do ustawienia punktu pracy tego stopnia stosowano rezystor 10 MΩ dołączony do bazy tranzystora Q1. Jest to rozwiązanie skuteczne, ale podatne na znaczne wahania parametrów. Zastosowaliśmy nieco bardziej złożony układ, który zapewnia określone warunki pracy generatora wibrato. Układ powinien działać z każdym tranzystorem NPN o dużym wzmocnieniu, takim jak BC549.

Efekt wibrato można włączać i wyłączać za pomocą przełącznika S2, który zwiera kolektor tranzystora Q1 do masy. Jest to proste, ale skuteczne rozwiązanie umożliwiające wyłączenie tego generatora. Zasada działania efektu wibrato zostanie omówiona przy opisie generatora głównego.

W oryginalnym modelu Stylophone'a w głównym generatorze stosowano programowalny tranzystor jednozłączowy, natomiast w późniejszych wersjach zastąpiono go układem scalonym timera NE555, który pojawił się na rynku około 1972 roku.

Układ 555 skonfigurowano jako multiwibrator astabilny, co oznacza, że generuje przebieg w sposób ciągły. Na razie przyjrzyjmy się jego działaniu przy wyłączonym efekcie wibrato i potencjometrze strojenia ustawionym w położeniu środkowym. Warto zauważyć, że układ 555 będzie działał również bez potencjometru strojenia,



Rysunek 1. W urządzeniu Styloclone zastosowano zaledwie dwa układy scalone i jeden tranzystor. Układ scalony IC1 pełni rolę głównego generatora, który wytwarza dźwięk, gdy rysik podłączony do złącza CON3 dotknie jednego z klawiszy, zwierając do masy odpowiedni punkt łańcucha rezystorów. Generator wibrato zbudowano na tranzzystorze Q1. Zmienia on napięcie na wyprowadzeniu 5 układu scalonego IC1, modulując częstotliwość z częstotliwością około 7 Hz. Potencjometr VR1 służy do kalibracji, VR2 do ustawiania wysokości dźwięków, a VR3 do regulacji głośności

eprasa.pl 657e0c02ec

Oscylogramy 1 i 2. Na lewym oscylogramie pokazano ładowanie i rozładowywanie kondensatora o pojemności 1 μF przez układ czasowy 555 (kolor cyjanowy) oraz napięcie wyjściowe doprowadzone do głośnika dla dźwięku „A" o częstotliwości 440 Hz (kolor żółty). Napięcie sterujące (fioletowe) wynosi w tym przypadku około 5,3 V DC, choć nałożona jest na nie składowa zmienna o amplitudzie około 50 mV pochodząca z wyjścia. Na prawym oscylogramie pokazano te same sygnały co na oscylogramie 1, ale przy szybszej podstawie czasu i z włączonym efektem wibrato, widocznym jako okresowe przesuwanie przebiegu

jednak wówczas regulacja częstotliwości nie będzie możliwa.

W tym przypadku, gdy rysik nie dotyka żadnego z pól klawiatury, zarówno wejście wyzwalające, jak i progowe są połączone z masą przez potencjometr regulacyjny VR1 oraz długi łańcuch rezystorów połączonych szeregowo, który kończy się na potencjale 0 V. Jak pokazano na **rysunku 2**, wyjście komparatora C przechodzi w stan niski, natomiast wyjście komparatora T w stan wysoki. Przerzutnik RS zostaje wyzerowany, więc sygnał OUT przechodzi w stan niski. Bufor wyjściowy odwraca ten sygnał, dlatego wyjście układu 555 przechodzi w stan wysoki.

Stan ten utrzymuje się do chwili wybrania dźwięku. Gdy rysik dotknie klawiatury, połączy wyjście układu 555 z odpowiednim punktem łańcucha rezystorów, odpowiadającym wybranej nucie. Kondensator układu czasowego o pojemności 1 μF ładuje się przez te rezystory, a szybkość jego ładowania zależy od rezystancji łańcucha, czyli od wybranego dźwięku.

Ładowanie trwa do chwili, gdy napięcie na wejściu Threshold przekroczy napięcie sterujące, a wyjście komparatora C przejdzie w stan wysoki. Przerzutnik RS zostaje wyzerowany, a sygnał OUT przechodzi w stan wysoki, przez co wyjście układu 555 przechodzi w stan niski. Kondensator o pojemności 1 μF zaczyna się rozładowywać przez łańcuch rezystorów.

Gdy napięcie spadnie poniżej napięcia odniesienia dodatniego wejścia komparatora T (Trigger), wyjście tego komparatora ponownie przechodzi w stan wysoki, ustawiając przerzutnik RS. Powoduje to przejście wyjścia układu 555 w stan wysoki i cały cykl rozpoczyna się od nowa. Przebieg tych zmian przedstawiono na **oscylogramie 1**.

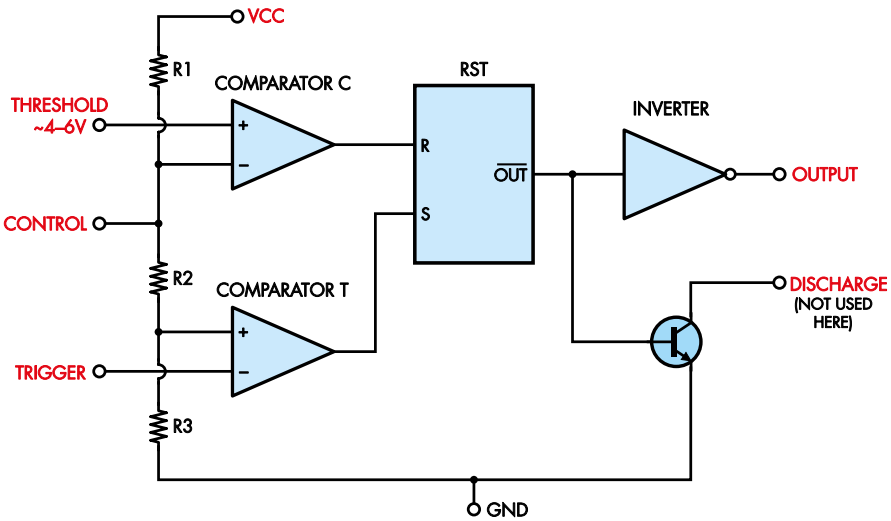
W działaniu układu scalonego 555 zastosowanego w Styloclone wprowadzono kilka modyfikacji. Po pierwsze, wejście napięcia sterującego (CV) połączono z suwakiem potencjometru. Zmienia to napięcie odniesienia komparatorów, a tym samym napięcie, do którego podczas każdego cyklu musi naładować się kondensator o pojemności 1 μF. Dzięki temu możliwa jest regulacja wysokości dźwięku.

Dla każdego dźwięku dobraliśmy wartości rezystorów tak, aby uzyskać środkowe A o częstotliwości 440 Hz, pod warunkiem zastosowania kondensatora o pojemności 1 μF o odpowiedniej dokładności. Regulacja działa dobrze, jednak jest to bardzo prosty układ, dlatego przy skrajnych ustawieniach potencjometru można zauważyć niewielkie odchylenie od idealnego interwału oktawy. Wartości rezystorów w łańcuchu klawiatury dobrano tak, aby uzyskane dźwięki były możliwie najbliższe właściwym wysokościom.

Drugą modyfikacją jest sprzężenie pojemnościowe generatora wibrato z wejściem napięcia sterującego (CV) układu 555. Powoduje to nałożenie składowej zmiennej na napięcie sterujące i modulację progów ładowania oraz rozładowania kondensatora o pojemności 1 μF, co przedstawiono na **oscylogramie 2**.

Obliczanie wartości elementów ustalających wysokość dźwięków

Prawidłowe dostrojenie instrumentu wymagało sporo pracy. Standardowy wzór na częstotliwość oscylacji układu czasowego 555 ma postać $f = 1{,}44 \div (C \times [Ra + 2 \times Rb])$. Po wprowadzeniu modyfikacji do schematu, takich jak rezygnacja z wewnętrznego układu rozładowującego, okazało się, że należy zastosować wzór $f = 0{,}5823 \div (R \times C)$. Wynika



Rysunek 2. Układ czasowy 555 generuje dwa napięcia odniesienia wynoszące odpowiednio 1/3 i 2/3 napięcia zasilania, które są podawane na wejścia dwóch komparatorów. Wyjścia tych komparatorów sterują przerzutnikiem, który z kolei ustala stan wyjścia. Tranzystor rozładowujący włącza się, gdy napięcie wyjściowe jest niskie

eprasa.pl 657e0c02ec

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

to z faktu, że kondensator nie jest ładowany z napięcia Vcc i rozładowywany do masy, lecz podczas ładowania i rozładowywania wykorzystywane jest wyjście układu 555.

Mimo to charakterystyka nie była liniowa w całym zakresie. Wzór ten pozwolił jedynie wyznaczyć wartości rezystancji z dobrą dokładnością, natomiast ich ostateczny dobór wymagał ręcznej korekty.

Byliśmy świadomi, że może to powodować różnice w działaniu układów scalonych pochodzących od różnych producentów, ponieważ mogą one mieć nieco inne poziomy napięcia wyjściowego w stanach wysokim i niskim. Aby sprawdzić tę hipotezę, kupiliśmy w różnych sklepach pięć układów scalonych pochodzących od różnych producentów i z różnych partii produkcyjnych. Okazało się, że dobrane przez nas wartości rezystorów sprawdzały się we wszystkich przypadkach, a różnice były jedynie nieznaczne.

Fakt, że Stylophone'y są produkowane w ten sposób od wielu lat, powinien był nam podpowiedzieć, że nasze obawy były niepotrzebne.

Wybór kondensatora układu czasowego o pojemności 1 µF w generatorze określił wymagane wartości rezystancji dla poszczególnych dźwięków. Niektóre z nich są dość nietypowe. W **tabeli 1** przedstawiono „idealne" częstotliwości poszczególnych dźwięków oraz odpowiadające im przyrostowe wartości rezystancji. Ponieważ rezystory tworzą łańcuch, wyznaczyliśmy najlepiej dopasowane wartości z szeregu E24.

Zgodnie z oczekiwaniami występują niewielkie odchylenia. Choć nie są one duże, pokazują, że nie ma sensu dążyć do uzyskania dokładnie takich wartości rezystancji, jakie wynikają z obliczeń. Można więc zastosować rezystory o tolerancji 1% z szeregu E24 o podanych wartościach. Większa dokładność nie jest potrzebna.

Rozważaliśmy zastosowanie oddzielnego potencjometru dla każdego dźwięku, jednak nawet najtańsze potencjometry regulacyjne kosztowałyby ponad dziesięciokrotnie więcej niż zwykłe rezystory. Dodatkowo znacznie skomplikowałoby to proces regulacji.

Jeśli zdecydujesz się precyzyjnie wyregulować wysokość dźwięków w Styloclone przez zmianę wartości rezystorów, ustaw potencjometr w położeniu odpowiadającym wartości nominalnej i pozostaw go w tej pozycji podczas dobierania nowych rezystorów. Regulację należy rozpocząć od najwyższego dźwięku, a następnie przechodzić w dół skali. Wszystkie rezystory w łańcuchu sumują się, dlatego zmiana rezystora odpowiadającego wyższemu dźwiękowi wymaga ponownej regulacji wszystkich niższych dźwięków.

Wszystkie te rezystory rozmieszczono na płytce obok odpowiadających im nut. Podczas montażu należy na bieżąco sprawdzać wartość każdego rezystora i uważać, aby nie wlutować go w niewłaściwe miejsce. W przeciwnym razie wysokość dźwięków będzie wyraźnie odbiegała od oczekiwanej.

W oryginalnym Stylophone'ie zastosowano głośnik o wysokiej impedancji. Dodaliśmy wzmacniacz oraz opcjonalne wyjście liniowe na wypadek, gdybyś chciał nagrać przebój na swoim Styloclone. Układ oparty na LM386

Tabela 1. Styloclone: częstotliwości idealne, wartości rezystorów i częstotliwości rzeczywiste

Dźwięk	Idealne	Rezystancja	Całkowita rezystancja	Zmierzone	Błąd	Błąd (%)
B	493,9 Hz	68 Ω	1179 Ω	493 Hz	−0,9 Hz	−0,3...−0,1
A#	466,2 Hz	68 Ω	1247 Ω	466 Hz	−0,2 Hz	−0,2...+0,1
A	440,0 Hz	75 Ω	1322 Ω	440 Hz	0,0 Hz	−0,1...+0,1
G#	415,3 Hz	82 Ω	1404 Ω	416 Hz	0,7 Hz	+0,0...+0,3
G	392,0 Hz	82 Ω	1486 Ω	394 Hz	2,0 Hz	+0,4...+0,6
F#	370,0 Hz	91 Ω	1577 Ω	371 Hz	1,0 Hz	+0,1...+0,4
F	349,2 Hz	91 Ω	1668 Ω	351 Hz	1,8 Hz	+0,4...+0,7
E	329,6 Hz	100 Ω	1768 Ω	332 Hz	2,4 Hz	+0,6...+0,9
D#	311,1 Hz	120 Ω	1888 Ω	312 Hz	0,9 Hz	+0,1...+0,5
D	293,7 Hz	120 Ω	2008 Ω	294 Hz	0,3 Hz	−0,1...+0,3
C#	277,2 Hz	120 Ω	2128 Ω	278 Hz	0,8 Hz	+0,1...+0,5
C	261,6 Hz	120 Ω	2248 Ω	264 Hz	2,4 Hz	+0,7...+1,1
B	246,9 Hz	130 Ω	2378 Ω	251 Hz	4,1 Hz	+1,5...+1,9
A#	233,1 Hz	150 Ω	2528 Ω	236 Hz	2,9 Hz	+1,0...+1,5
A	220,0 Hz	150 Ω	2678 Ω	223 Hz	3,0 Hz	+1,1...+1,6
G#	207,7 Hz	180 Ω	2858 Ω	210 Hz	2,3 Hz	+0,9...+1,3
G	196,0 Hz	180 Ω	3038 Ω	198 Hz	2,0 Hz	+0,8...+1,3
F#	185,0 Hz	200 Ω	3238 Ω	186 Hz	1,0 Hz	+0,3...+0,8
F	174,6 Hz	200 Ω	3438 Ω	175 Hz	0,4 Hz	−0,1...+0,5
E	164,8 Hz	200 Ω	3638 Ω	164 Hz	−0,8 Hz	−0,8...−0,2
D#	155,6 Hz	200 Ω	3838 Ω	155 Hz	−0,6 Hz	−0,7...−0,1
D	146,8 Hz	220 Ω	4058 Ω	147 Hz	0,2 Hz	−0,2...+0,5
C#	138,6 Hz	220 Ω	4278 Ω	139 Hz	0,4 Hz	−0,1...+0,6
C	130,8 Hz	240 Ω	4518 Ω	131 Hz	0,2 Hz	−0,2...+0,5

W kolumnie „Błąd" występuje niepewność pomiaru wynosząca ±0,5 Hz.

Wersja biurkowa naszego Styloclone'a nie wymaga obudowy, dzięki czemu ma prostą, estetyczną konstrukcję. Jako nóżki zastosowano cztery podkładki dystansowe umieszczone w rogach

eprasa.pl 657e0c02ec

jest całkowicie standardowy, a jedynym elementem wartym uwagi jest kondensator o pojemności 1 μF podłączony między pinem 3 a masą, który ogranicza przenoszenie wysokich częstotliwości.

Powstały filtr ma dość niską częstotliwość graniczną, wynoszącą około 190 Hz. Rezystancję obwodu RC tworzy rezystor 1 kΩ połączony równolegle z rezystorem 4,7 kΩ oraz rezystancją regulatora głośności. Filtr ten skutecznie łagodzi ostrość prostokątnego sygnału wyjściowego. Jeśli zależy Ci na jaśniejszym brzmieniu, możesz je uzyskać, zmniejszając pojemność kondensatora 1 μF.

W naszym urządzeniu zastosowaliśmy prosty głośnik o średnicy 57 mm. Jest on tani, wytrzymały i zapewnia wystarczająco dużą głośność. Jeśli jednak potrzebujesz większej mocy akustycznej, możesz podłączyć Styloclone do wzmacniacza, na przykład Marshall Stack, za pomocą monofonicznego gniazda 3,5 mm.

Rysik

W projekcie jako uchwyt rysika zastosowaliśmy kolejną obudowę długopisu Biro. Wygląda na to, że staje się to już swego rodzaju tradycją! Jako końcówkę użyliśmy śruby Posidriv o średnicy 4 mm (Altronics H3310). Równie dobrze sprawdzi się śruba z łbem krzyżakowym, do której przylutowaliśmy końcówkę rysika. Następnie przykleiliśmy ją do końcówki obudowy długopisu Biro za pomocą żywicy epoksydowej Araldite – patrz zdjęcie.

Można też zastosować inne rozwiązanie. Na przykład wystarczy założyć rurkę termokurczliwą o małej średnicy na sztywny kawałek drutu i wygiąć jego koniec do tyłu, aby nie był ostry. Jeśli jednak zdecydujesz się na inne podejście, upewnij się, że rysik jest odizolowany od końcówki igły, ponieważ w przeciwnym razie rezystancja skóry i pojemność ciała mogą zakłócać jego działanie.

Naszym celem było stworzenie przewodzącej końcówki rysika, która nie miałaby ostrych krawędzi mogących zarysować lub uszkodzić „klawisze" na płytce drukowanej.

Jako przewód do rysika zastosowaliśmy niezwykle elastyczny przewód w izolacji silikonowej, wychodząc z założenia, że będzie on często zginany. Nie chcemy przecież, żeby się urwał! Przewód Altronics W2400–W2407 (ostatnia cyfra oznacza kolor) składa się z 95 cienkich żył i ma izolację silikonową, dzięki czemu doskonale nadaje się do tego typu zastosowań (przewody pomiarowe itp.).

Duża liczba cienkich żył sprawia, że przewód jest bardzo odporny na wielokrotne zginanie i cechuje się wysoką trwałością zmęczeniową. Długość przewodu rysika można dostosować do własnych potrzeb, jednak optymalna wydaje się długość 600 mm.

Aby przymocować przewód do śruby, zamocowaliśmy ją w imadle, nanieśliśmy na jej końcówkę topnik w postaci pasty, a następnie pocynowaliśmy ją. Do przygotowanej w ten sposób końcówki przylutowaliśmy elastyczny przewód.

W płytce drukowanej przewidzieliśmy dwa otwory o średnicy 4 mm do zamocowania przewodu rysika za pomocą opaski zaciskowej przed złączem rysika. Dzięki temu przewód można przeprowadzić przez prosty otwór wywiercony w boku obudowy bez ryzyka, że zostanie zbyt mocno pociągnięty i uszkodzony. Zalecamy wybrać stronę odpowiednią dla osób praworęcznych lub leworęcznych.

Opcje obudowy

Opracowaliśmy dwa nieco różne projekty płytek drukowanych. Pierwszy, oznaczony kodem 23106241, jest przeznaczony do obudowy przyrządowej Altronics H0400 z pochylonym panelem przednim i umożliwia zamocowanie płytki do panelu przedniego za pomocą wbudowanych otworów montażowych. Zapewnia to estetyczny wygląd dzięki czemu obudowa wygląda schludnie.

Sposób montażu tej płytki wymaga umieszczenia wszystkich elementów na jej dolnej stronie, natomiast „klawisze" znajdują się na górnej stronie, tak aby były widoczne dla użytkownika przez duży prostokątny otwór w obudowie.

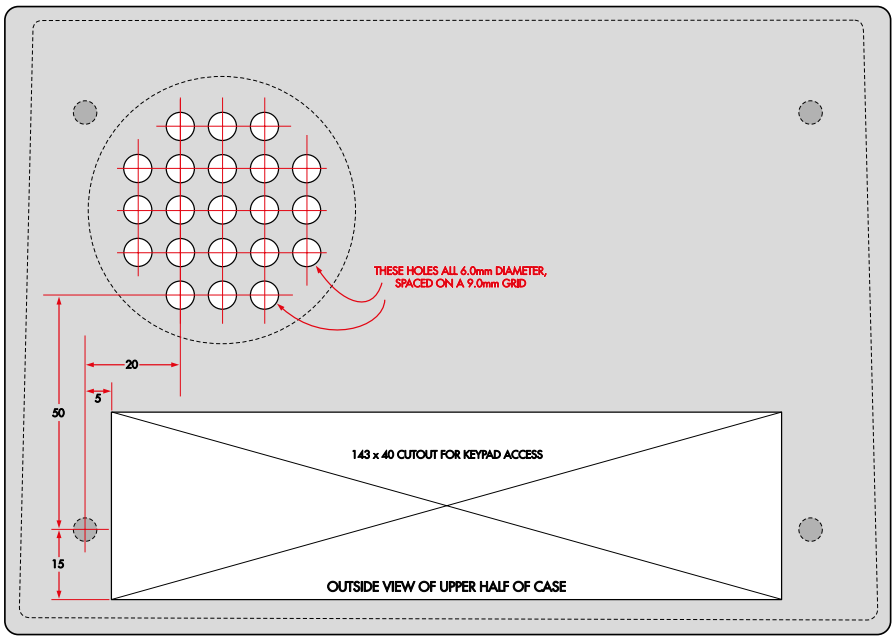
Zdajemy sobie jednak sprawę, że obudowa kosztuje więcej niż wszystkie elementy elektroniczne i nie jest niezbędna. Dlatego druga wersja płytki drukowanej, oznaczona kodem 23106242, ma wszystkie elementy umieszczone na górnej stronie prostokątnej płytki, z otworami w narożnikach przeznaczonymi do zamocowania nylonowych tulejek dystansowych o długości 10 mm, pełniących funkcję nóżek. Dzięki temu płytkę można postawić na płaskiej powierzchni lub zamocować na kawałku drewna albo innej płycie.

Przed rozpoczęciem montażu należy zdecydować, którą wersję chcesz zbudować, ponieważ schemat ideowy jest taki sam, ale projekty płytek drukowanych znacznie się różnią.

Przygotowanie obudowy

W przypadku wersji z obudową dołożyliśmy starań, aby jej przygotowanie i montaż płytki były jak najprostsze. Najtrudniejszym etapem jest staranne wycięcie prostokątnego otworu

Rysik wykonano z obudowy długopisu Biro, śruby M4 oraz przewodu w izolacji silikonowej przylutowanego do końca śruby



Rysunek 3. Wycięcie dużego prostokątnego otworu to najbardziej pracochłonna część projektu. W naszym przypadku użyliśmy miniszlifierki Dremel z tarczą tnącą oraz pilnika. Najłatwiej jest zaznaczyć i wywiercić otwory w narożnikach wycięcia od wewnętrznej strony, a następnie wykonać pozostałą część cięcia i wiercenia od zewnętrznej strony. Jeśli potrzebujesz szablonu do pracy od wewnętrznej strony, możesz go wydrukować w odbiciu lustrzanym. Niezależnie od tego dokładnie sprawdź, po której stronie wiercisz otwory na głośnik. Wszystkie wymiary na tym rysunku podano w milimetrach

eprasa.pl 657e0c02ec

Po lewej stronie pokazano widok wersji montowanej w obudowie od spodu, czyli od strony podzespołów. Dostęp do klawiatury zapewnia wycięcie wykonane po przeciwnej stronie. Gotowy egzemplarz Styloclone'a w obudowie pokazano powyżej. Wersja w obudowie zapewnia znacznie pełniejsze brzmienie niż wersja wolnostojąca

zapewniającego dostęp do klawiszy. Opiszemy, jak przygotować obudowę przed zamontowaniem płytki drukowanej, ponieważ na tym etapie jest to łatwiejsze. Tę sekcję możesz pominąć, jeśli budujesz wersję bez obudowy.

Najlepszym sposobem wykonania dużego otworu jest najpierw wyznaczenie jego obrysu na obudowie, a następnie wywiercenie w każdym narożniku otworu o średnicy 6 mm, którego środek znajduje się 3 mm od obu krawędzi wycięcia. Dzięki temu krawędzie otworów będą styczne do konturu wycięcia. Następnie należy wyciąć otwór piłą ręczną lub miniszlifierką wielofunkcyjną, prowadząc cięcie wewnątrz wyznaczonych linii. Ostateczny wymiar otworu można uzyskać, obrabiając jego krawędzie pilnikiem.

Tworzywo ABS bardzo łatwo się obrabia i nie zatyka pilników, dlatego dopasowanie oraz wygładzenie otworu jest znacznie łatwiejsze, niż mogłoby się wydawać. Rozmieszczenie wycięcia i otworów w przednim panelu pokazano na **rysunku 3**.

Do wyznaczenia każdej linii użyłem bardzo ostrego noża i linijki, ale podczas tej pracy trzeba zachować szczególną ostrożność, aby nóż nie ześlizgnął się i nie skaleczył palców. Wielokrotne nacinanie wzdłuż tej samej linii pozwala nawet przeciąć tworzywo na wylot.

Jeśli zdecydujesz się na tę metodę, zalecamy założenie rękawic odpornych na przecięcia. To nie żart – kucharze używają ich, aby chronić dłonie przed skaleczeniami. Są łatwo dostępne, niedrogie i zaskakująco elastyczne. Wystarczy wyszukać hasło „rękawice odporne na przecięcia" lub „rękawice kuchenne", aby je znaleźć.

Pozostałe prace przy przygotowaniu obudowy obejmują wywiercenie otworów pod głośnik w górnym panelu oraz otworów pod przełącznik i potencjometr w panelu tylnym.

Wyznaczenie wymiarów tylnego panelu, który jest ustawiony pod kątem względem panelu przedniego i ma zaokrąglone krawędzie, okazało się dość kłopotliwe. Dlatego należy zachować ostrożność. Warto rozpocząć od wywiercenia otworów o nieco mniejszej średnicy, a następnie dopasować je do ostatecznego wymiaru za pomocą pilnika. Szczegóły wykonania otworów w panelu tylnym przedstawiono na **rysunku 4**.

Jeśli chodzi o oznakowanie, tak wciągnęliśmy się w klimat tego projektu w stylu retro, że przy okazji przygotowywania drukarki 3D dla młodego entuzjasty postanowiliśmy zaprojektować tabliczkę z nazwą urządzenia. Uruchomiliśmy więc program do modelowania 3D i stworzyliśmy estetyczną etykietę do tego projektu. Uważamy, że prezentuje się całkiem dobrze. Plik STL jest dostępny na stronie siliconchip.au/Shop/11/434.

Należy pamiętać, że model należy wydrukować w skali 5%, co można łatwo ustawić w programie Cura lub innym programie typu slicer.

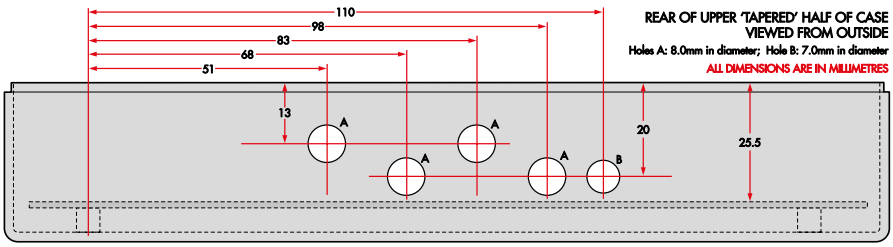
Prawdopodobnie do przymocowania elementów wydrukowanych z PLA do obudowy z tworzywa ABS można użyć superglue, ale przeczytaliśmy, że tworzywo ABS można rozpuścić w acetonie, otrzymując w ten sposób „klej ABS". Zebraliśmy trochę wiórów powstałych podczas wiercenia przedniego panelu, wsypaliśmy je do niewielkiej ilości acetonu i mieszaliśmy, aż uzyskaliśmy gęstą, lepką masę.

Nałożyliśmy ją na tylną stronę etykiety z PLA i ostrożnie umieściliśmy ją na przednim panelu, gdzie doskonale się przykleiła. Podczas przyklejania należy od razu ustawić etykietę we właściwym położeniu i nie przesuwać jej po powierzchni.

Montaż płytki drukowanej

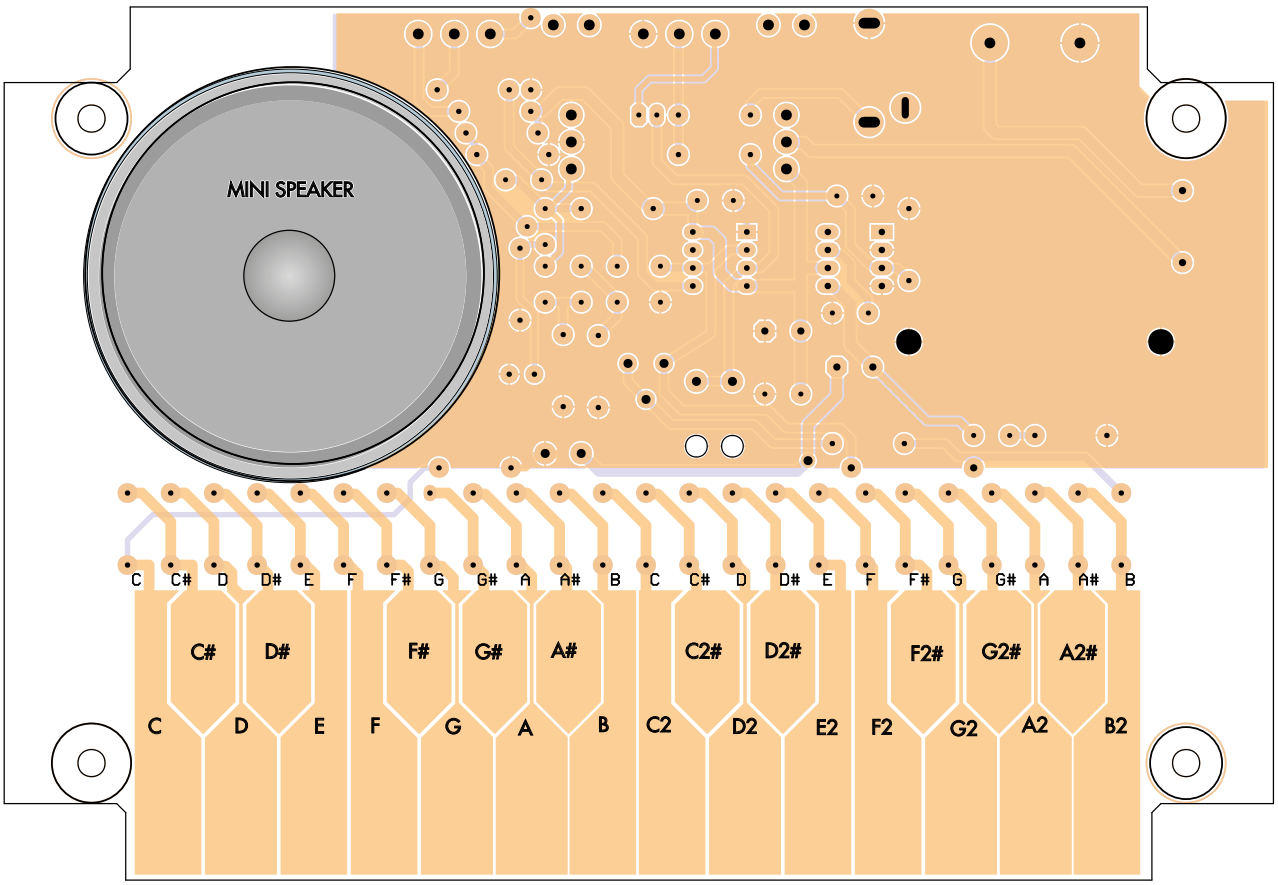
Montaż elektroniki Styloclone jest dość prosty. Wszystkie elementy są przewlekane, a tam, gdzie było to możliwe, zastosowaliśmy większe pola lutownicze, aby ułatwić lutowanie.

Najpierw sprawdź, czy masz właściwą płytkę drukowaną: oznaczoną kodem 23106241 o wymiarach 179 mm × 123 mm, przeznaczoną do montażu w obudowie, lub oznaczoną kodem 23106242 o wymiarach 207 mm × 124,5 mm, przeznaczoną do wersji bez obudowy. Schemat ideowy oraz rozmieszczenie elementów na płytkach drukowanych obu wersji przedstawiono na **rysunkach 5** i **6**.

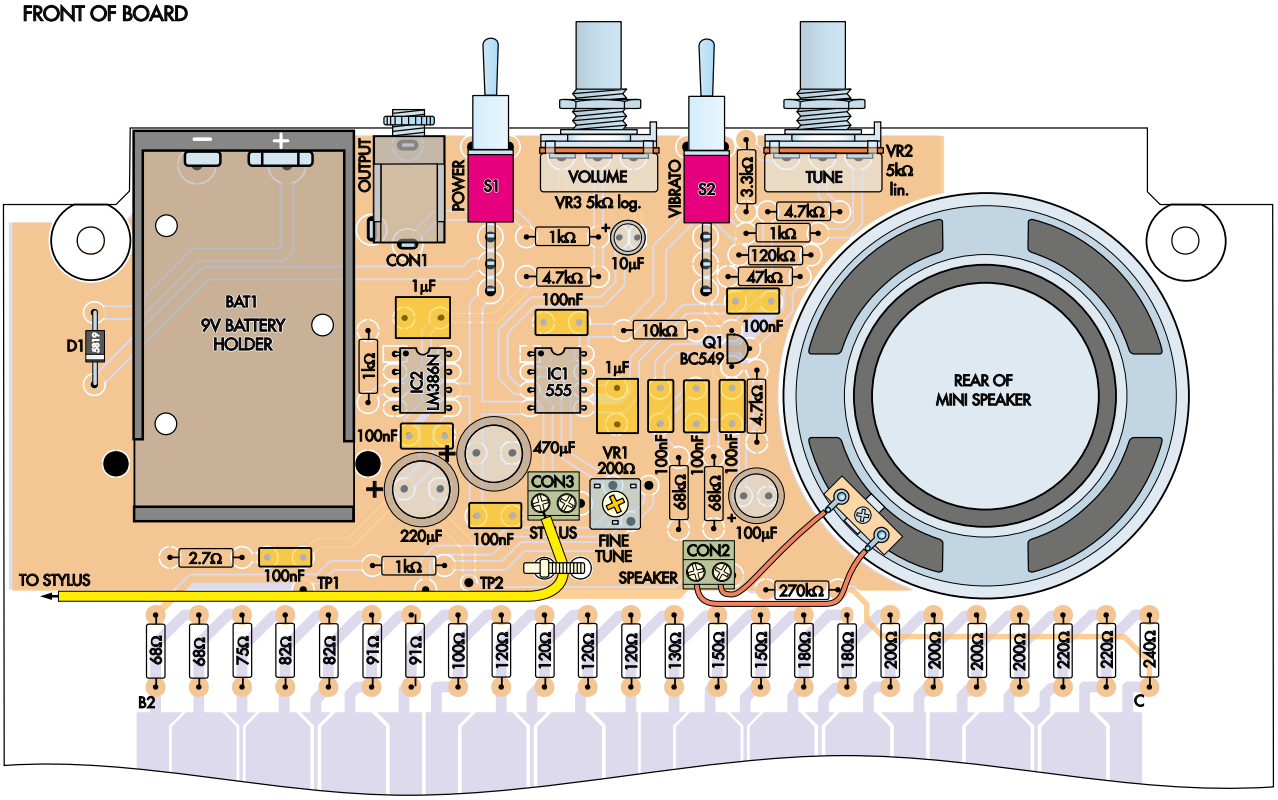


Rysunek 4. Szczegóły wykonania otworów w tylnym panelu urządzenia Styloclone. Jest to górna część obudowy; przedni panel znajduje się u dołu rysunku. Wszystkie wymiary odnoszą się do górnej krawędzi lewego słupka mocującego

eprasa.pl 657e0c02ec



FRONT OF BOARD



UNDERSIDE OF BOARD (TRUNCATED)

Rysunek 5. Rozmieszczenie wszystkich elementów w wersji Styloclone przeznaczonej do montażu w obudowie. W tej wersji wszystkie elementy montuje się od strony dolnej, natomiast „klawisze" znajdują się na górnej stronie płytki. Należy zwrócić uwagę na prawidłową orientację diod, układów scalonych i kondensatorów elektrolitycznych oraz upewnić się, że rezystory o różnych wartościach nie zostały pomylone

eprasa.pl 657e0c02ec

Montaż najlepiej rozpocząć od rezystorów. Musieliśmy zastosować kilka rezystorów szeregu E24 o rzadziej spotykanych wartościach, takich jak 91 Ω, 200 Ω itp. Służą one do prawidłowego ustawienia wysokości poszczególnych dźwięków, dlatego należy zastosować właśnie te wartości. Firmy Altronics i Jaycar mają w ofercie rezystory szeregu E24 o takich wartościach, a można je również kupić w dużych sklepach internetowych, takich jak Mouser, DigiKey, RS i element14.

Podczas montażu zalecamy na bieżąco sprawdzać rezystancję każdego rezystora, ponieważ odczytanie kodu barwnego bywa czasem trudne. Jeśli któryś rezystor zostanie umieszczony w niewłaściwym miejscu, niektóre dźwięki będą miały nieprawidłową wysokość. Po zamontowaniu wszystkich rezystorów należy wlutować diodę Schottky'ego 1N5819 (D1), zwracając uwagę na jej prawidłową orientację zgodną z nadrukiem na płytce, oraz potencjometr montażowy o rezystancji 200 Ω.

Na tym etapie warto zamontować układy scalone 555 i LM386. Najlepiej zrobić to przed wlutowaniem kondensatorów, ponieważ zapewni to wygodniejszy dostęp i więcej miejsca do pracy. Układy 555 i LM386 wyglądają bardzo podobnie, dlatego należy sprawdzić ich oznaczenia i upewnić się, że zostały zamontowane we właściwym położeniu. Kropka lub wcięcie na obudowie układu powinny znajdować się przy górnej krawędzi płytki. Prawidłową orientację ułatwiają oznaczenia na płytce drukowanej.

Teraz nadszedł czas na montaż kondensatorów. Dla pojemności do 1 μF należy stosować kondensatory foliowe. Dobrze sprawdzą się zarówno kondensatory MKT, jak i Greencaps, choć w przypadku tych drugich może być konieczne odpowiednie wygięcie wyprowadzeń, aby dopasować je do rozstawu pól lutowniczych. Nie należy stosować kondensatorów ceramicznych, ponieważ mają duży współczynnik temperaturowy, a elementy o większych pojemnościach mogą nawet wykazywać efekt mikrofonowy.

Szczególnie ważny jest kondensator o pojemności 1 μF podłączony do wyprowadzenia 2 układu 555. Jego pojemność powinna być możliwie jak najbardziej zbliżona do 1 μF, dlatego należy zastosować kondensator o odpowiedniej tolerancji (najlepiej 5%, a w razie braku dostępności – 10%).

Następnie można zamontować kondensatory elektrolityczne. Należy upewnić się, że każdy z nich jest prawidłowo zorientowany, tak aby dodatnie wyprowadzenie znajdowało się po stronie oznaczonej symbolem „+". Pasek na obudowie wskazuje biegun ujemny, dlatego powinien znajdować się po przeciwnej stronie niż oznaczenie „+". Aby ułatwić montaż, wszystkie kondensatory elektrolityczne na płytce mają tę samą orientację.

Następnie należy zamontować dwa zaciski śrubowe o rastrze 5 mm oraz przewód z zatrzaskiem baterii. Lubimy stosować zaciski śrubowe do podłączania elementów zewnętrznych, ponieważ ułatwiają serwisowanie, ale jeśli wolisz, możesz po prostu przylutować przewody bezpośrednio do płytki. Przed przylutowaniem przewodów zatrzasku baterii warto nałożyć pod nie niewielką ilość silikonowego uszczelniacza o neutralnym utwardzaniu, co zapewni ich stabilne zamocowanie podczas użytkowania Styloclone'a.

Po obu stronach baterii przewidzieliśmy dwa otwory o średnicy 4 mm, które umożliwiają przymocowanie jej do płytki za pomocą opaski zaciskowej. Dzięki temu bateria nie będzie się przemieszczać ani wypadać podczas transportu.

Teraz zamontuj oba przełączniki. Zastosowaliśmy przełączniki przeznaczone do montażu na płytce drukowanej firmy Altronics. Podobne modele są dostępne również w ofercie Mouser oraz innych dużych dostawców. W razie potrzeby można połączyć pola lutownicze na płytce z przełącznikami montowanymi na panelu za pomocą przewodów.

Zastosowano dwa podobne, ale nieidentyczne potencjometry: liniowy 5 kΩ do regulacji wysokości dźwięku oraz logarytmiczny 5 kΩ do regulacji głośności. Oba są standardowymi elementami o średnicy 16 mm. Potencjometr głośności jest oznaczony jako A5K, gdzie litera A oznacza charakterystykę logarytmiczną („Audio Taper"), natomiast potencjometr do regulacji wysokości dźwięku ma charakterystykę liniową i jest oznaczony jako B5K. Nie należy ich pomylić.

Jeśli zamierzasz podłączyć Styloclone do wzmacniacza lub rejestratora, zamontuj teraz gniazdo jack 3,5 mm. Jeśli nie planujesz z niego korzystać, możesz nieco obniżyć koszt urządzenia, pomijając jego montaż.

Do zamocowania głośnika użyliśmy cienkiej warstwy silikonowego uszczelniacza o neutralnym utwardzaniu, nałożonej wokół otworu w płytce drukowanej. Po nałożeniu uszczelniacza delikatnie dociśnij głośnik do właściwego położenia. Alternatywnie można użyć 5-minutowego kleju Araldite (lub innego kleju epoksydowego), który również sprawdza się bardzo dobrze i zapewnia trwałe mocowanie. Głośnik należy zamontować tak, aby jego membrana była skierowana w tę samą stronę co pocynowane klawisze.

W przypadku płytki przeznaczonej do montażu w obudowie głośnik należy zamontować od strony przeciwnej do tej, po której znajdują się pozostałe elementy. Dzięki temu magnes będzie po tej samej stronie co elementy, a membrana będzie skierowana w stronę przedniego panelu.

Wykaz elementów:

1 obudowa z ABS do wersji biurkowej o wymiarach 134 mm × 189 mm × 55 mm, z pochyloną górną powierzchnią [Altronics H0400] lub
4 nylonowe podkładki dystansowe z gwintem M3 × 10 mm
1 dwustronna płytka drukowana o kodzie 23106241 (wersja do montażu w obudowie), 179 mm × 123 mm lub
1 dwustronna płytka drukowana o kodzie 23106242 (wersja bez obudowy), 207 mm × 124,5 mm
1 głośnik o średnicy 57 mm, 8 Ω, 700 mW (SPK1) [Altronics C0610]
2 miniaturowe przełączniki dźwigniowe SPDT do montażu na płytce drukowanej pod kątem prostym (S1, S2) [Altronics S1320]
1 miniaturowy potencjometr montażowy 200 Ω, regulowany od góry (VR1)
1 potencjometr liniowy 5 kΩ, 16 mm, pojedynczy (B5K) (VR2)
1 potencjometr logarytmiczny 5 kΩ, 16 mm (A5K) (VR3)
1 uchwyt baterii 9 V do montażu na płytce drukowanej (BAT1) [Altronics S5048]
1 gniazdo mono 3,5 mm do montażu na płytce drukowanej (SPST) (CON1, opcjonalnie) [Altronics P0090]
2 dwudrożne miniaturowe listwy zaciskowe o rastrze 5 mm/5,08 mm do montażu na płytce drukowanej (CON2, CON3)
4 śruby maszynowe M3 × 6 mm z łbem walcowym
4 podkładki sprężyste ząbkowane M3
1 obudowa długopisu
1 krótka śruba maszynowa M4 z łbem walcowym
1 bateria 9 V
2 krótkie opaski zaciskowe o szerokości 2,5 mm lub 3,5 mm
1 odcinek białego przewodu w izolacji silikonowej o długości 60 cm (średnica zewnętrzna około 2,5 mm) [Altronics W2407]

Półprzewodniki

1 układ czasowy 555, DIP–8 (IC1)
1 układ wzmacniacza mocy audio LM386N, DIP–8 (IC2)
1 tranzystor NPN BC549, 30 V, 100 mA, TO–92 (Q1)
1 dioda Schottky'ego 1N5819, 40 V, 1 A (D1)

Kondensatory (elektrolityczne 16 V, o ile nie podano inaczej)

1 470 μF	1 10 μF, 50 V	1 220 μF	2 1 μF, ±5%, 63 V/100 V MKT	1 100 μF
8 100 nF, 63 V/100 V MKT				

Rezystory (wszystkie osiowe 1/4 W, 1%, o ile nie podano inaczej)

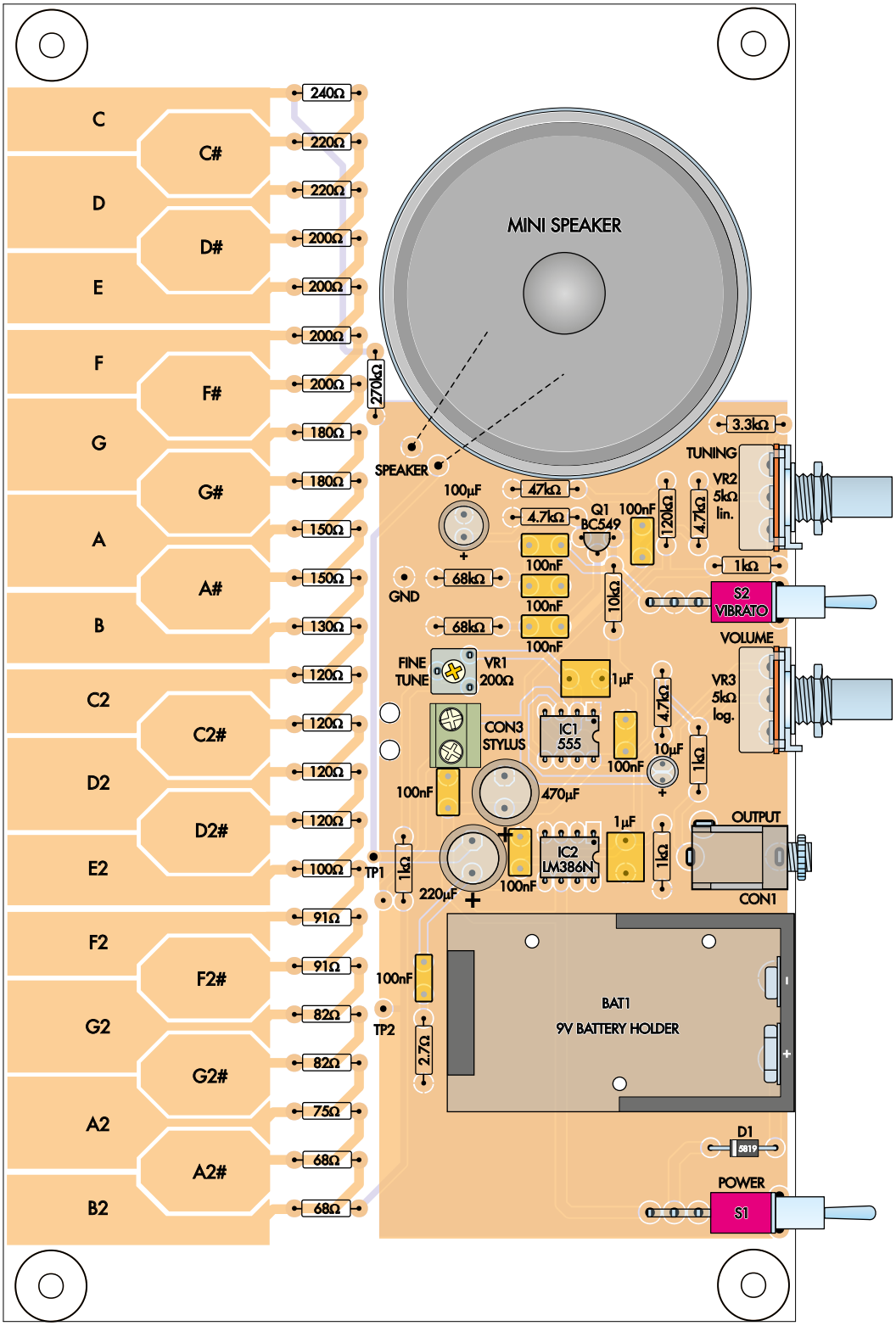
1 270 kΩ	4 1 kΩ	4 120 Ω	1 120 kΩ	1 240 Ω	1 100 Ω	2 68 kΩ
2 220 Ω	2 91 Ω	1 47 kΩ	4 200 Ω	2 82 Ω	1 10 kΩ	2 180 Ω
1 75 Ω	3 4,7 kΩ	2 150 Ω	2 68 Ω	1 3,3 kΩ	1 130 Ω	1 2,7 Ω (5% dopuszczalne)

eprasa.pl 657e0c02ec

Jeśli budujesz wersję bez obudowy, głośnik należy zamontować od tej samej strony co pozostałe elementy. W takim przypadku magnes będzie znajdował się od spodu płytki.

Po przyklejeniu głośnika warto zrobić krótką przerwę w montażu i poczekać, aż klej zwiąże. Gdy silikon się utwardzi, głośnik będzie zamocowany na stałe, ale wcześniej może wypaść i narobić bałaganu. Nie pytaj mnie, skąd to wiem!

Przylutuj przewody do zacisków głośnika, a następnie przykręć je do złącza głośnikowego.



Rysunek 6. W wersji wolnostojącej (bez obudowy) Styloclone'a wszystkie elementy montuje się na górnej stronie płytki, na której znajduje się również klawiatura. W obu wersjach stosuje się te same elementy. Ponownie należy zwrócić uwagę na prawidłową orientację diod, układów scalonych i kondensatorów elektrolitycznych oraz upewnić się, że rezystory o różnych wartościach nie zostały pomylone

eprasa.pl 657e0c02ec

Polaryzacja nie ma tu znaczenia. Do prób uruchomieniowych podłącz również przewód rysika do odpowiedniego złącza. W zależności od tego, czy jesteś prawo–, czy leworęczny, wywierć otwór o średnicy 3 mm w jednej ze ścianek obudowy, aby przeprowadzić przez niego przewód rysika. Otwór powinien znajdować się w górnej połowie obudowy, mniej więcej w połowie jej długości.

Testowanie urządzenia Styloclone

Po zamontowaniu wszystkich elementów podłącz nową baterię i zmierz napięcie na jej zaciskach. Powinno wynosić około 9 V. Jeśli napięcie jest zbyt niskie, sprawdź, czy któryś z elementów się nie nagrzewa. Jeśli nie, odłącz baterię i upewnij się, że jest nowa.

Gdy napięcie zasilania jest prawidłowe, ustaw regulatory głośności i wysokości dźwięku w położeniu środkowym, a następnie dotknij rysikiem jednego z klawiszy. Powinieneś usłyszeć dźwięk. Przesuwaj rysik po kolejnych klawiszach – powinieneś uzyskać odpowiednią sekwencję dźwięków. Jeśli nic nie słychać:

- Sprawdź napięcie na wyprowadzeniu 8 układu IC1 (układu czasowego 555). Powinno wynosić ponad 8 V. Jeśli tak nie jest, należy szukać przyczyny w układzie zasilania. Czy zasilanie jest włączone? Czy dioda D1 została zamontowana we właściwym kierunku?
- Sprawdź, czy układ IC1 jest rzeczywiście układem 555 oraz czy został zamontowany we właściwym położeniu.
- Sprawdź, czy napięcie na wyprowadzeniu 5 układu IC1 mieści się w zakresie 4 V...6 V. Ustawia je potencjometr regulacji wysokości dźwięku, więc spróbuj go wyregulować. Nie musi to być wartość dokładna, ale nie powinna być zbliżona do żadnej z szyn zasilania.
- Sprawdź, czy na wyprowadzeniu 3 układu IC1 występuje sygnał zmienny. Powinien mieć przebieg prostokątny.
- Jeśli sygnał jest obecny, prześledź jego drogę przez kondensator 10 µF do prawego wyprowadzenia regulatora głośności VR3, następnie do suwaka i dalej do wyprowadzenia 3 układu IC2 (LM386). Jeśli sygnał zanika na suwaku VR3, spróbuj zwiększyć głośność.
- Sprawdź, czy na wyprowadzeniu 6 układu IC2 występuje napięcie stałe 8 V...9 V. Jeśli nie, ponownie sprawdź połączenia z baterią.
- Sprawdź, czy na wyprowadzeniu 5 układu IC2 występuje sygnał zmienny. Jeśli tak, upewnij się, że kondensator wyjściowy został zamontowany z zachowaniem właściwej polaryzacji oraz że głośnik jest prawidłowo podłączony. Sprawdź również, czy jego zaciski nie są zwarte.

Jeśli żadna z powyższych wskazówek nie pomogła:

- Sprawdź, czy potencjometr montażowy VR1 o rezystancji 200 Ω jest ustawiony na około 110 Ω. Między punktami testowymi TP1 i TP2, znajdującymi się tuż pod baterią, powinien być odczyt zbliżony do 1110 Ω (pomiar obejmuje potencjometr VR1 oraz rezystor szeregowy 1 kΩ).
- Sprawdź, czy w rzędzie rezystorów znajdujących się w pobliżu klawiszy zastosowano rezystory o prawidłowych wartościach.
- Ustaw potencjometr regulacji wysokości dźwięku VR2 na około 2/3 zakresu. Włącz urządzenie Styloclone i zmierz napięcie na wyprowadzeniu 5 układu czasowego 555. Powinno wynosić około 5,3 V. Jeśli tak nie jest, wyreguluj potencjometr i sprawdź, czy można uzyskać napięcie zbliżone do 5,3 V. Sprawdź również, czy nie zostały zamienione miejscami potencjometry liniowy i logarytmiczny.
- Dotknij rysikiem klawisza wysokiego B. Powinieneś usłyszeć dość wysoki dźwięk o częstotliwości około 494 Hz. Jeśli częstotliwość znacznie odbiega od tej wartości, sprawdź pojemność kondensatora 1 µF w układzie czasowym. Jeśli wysokość tego dźwięku jest nieprawidłowa, wszystkie pozostałe dźwięki również będą miały nieprawidłową wysokość.
- Jeśli wysokie B jest prawidłowe, sprawdź kolejno pozostałe dźwięki, schodząc w dół skali. Jeśli natrafisz na dźwięk o nieprawidłowej wysokości, sprawdź odpowiadający mu rezystor i usuń usterkę. Powtarzaj tę czynność, aż wszystkie dźwięki będą miały właściwą wysokość.
- Pamiętaj, że wysokość każdego niższego dźwięku zależy od wszystkich dźwięków znajdujących się powyżej w skali. Dlatego rezystor odpowiadający dźwiękowi o nieprawidłowej wysokości należy sprawdzać dopiero wtedy, gdy wszystkie wyższe dźwięki są już poprawne.
- Włącz efekt wibrato za pomocą przełącznika S2 i sprawdź, czy uzyskasz charakterystyczne, śpiewne brzmienie. Jeśli wszystko działa prawidłowo, Twój Styloclone jest gotowy do użycia.

W naszym egzemplarzu za pomocą potencjometrów VR1 i VR2 ustawiliśmy częstotliwość dźwięku górnego A na 440 Hz. Przy tej częstotliwości dobrane przez nas rezystory zapewniają prawidłową wysokość dźwięków praktycznie w całym zakresie skali (co równie ważne, instrument będzie zgodny z fortepianem nastrojonym do standardu koncertowego). Procedura regulacji wygląda następująco:

1. Za pomocą multimetru cyfrowego wyreguluj potencjometr montażowy VR1 tak, aby rezystancja między punktami TP1 i TP2 wynosiła 1110 Ω.
2. Wyreguluj potencjometr VR2 tak, aby po zagraniu najwyższego dźwięku A na pinie 3 układu IC1 uzyskać sygnał o częstotliwości 440 Hz. Jeśli masz częstościomierz, zmierz częstotliwość sygnału na wyjściu głośnika.
3. Sprawdź, czy pozostałe dźwięki mają właściwą wysokość. Jeśli nie, użyj multimetru cyfrowego (DMM), aby sprawdzić wartości odpowiednich rezystorów.

Jak długo wytrzyma bateria? To zależy od tego, jak głośno będziesz grać. Gdy urządzenie jest włączone, ale nie odtwarza żadnych dźwięków, nasze egzemplarze pobierały prąd o natężeniu 8,5 mA. Typowa bateria 9 V wystarczy na około 50 godzin pracy w stanie spoczynku, zanim się wyczerpie. Przy umiarkowanej głośności pobór prądu wzrasta do około 60 mA, co oznacza, że bateria powinna zapewnić około 3...6 godzin pracy.

Teraz jesteś gotowy, aby stworzyć swoje muzyczne arcydzieło! ■

Phil Prosser

Materiały dodatkowe dostępne są na stronie Silicon Chip:
https://www.siliconchip.com.au/Shop/8/6966
https://www.siliconchip.com.au/Shop/8/6967

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 657e0c02ec

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 **-5%**

Kod ważny do 30.09.2025

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 657e0c02ec

Cyfrowy terminal wideo z Raspberry Pi Pico, część 2

Opisywany cyfrowy terminal wideo umożliwia korzystanie z modułów z mikrokontrolerem programowanych w języku BASIC (na przykład Micromite czy PicoMite) z użyciem klawiatury USB i wyświetlacza HDMI. Terminal można umieścić w jednej obudowie z modułem, uzyskując mały, samodzielny system.

„Cyfrowy terminal wideo" stanowi niejako aktualizację projektu „Terminala wideo ASCII" sprzed 10 lat. Terminale takie umożliwiają bezpośrednie dołączenie klawiatury i monitora do płytki z mikrokontrolerem, dzięki czemu nie jest wymagany oddzielny komputer.

„Terminal ASCII" działał z monitorem VGA i klawiaturą PS/2. Te urządzenia peryferyjne stają się jednak coraz trudniejsze do zdobycia. Niedrogie i powszechnie dostępne stały się natomiast klawiatury USB i monitory z wejściami HDMI.

Moduł PicoMite podłączony do opisywanego terminala staje się współczesnym odpowiednikiem starszych komputerów ośmiobitowych, takich jak Commodore 64 czy wczesne modele Apple. Ich charakterystyczną cechą była gotowość do programowania w języku BASIC natychmiast po włączeniu zasilania.

W poprzedniej części opisaliśmy działanie terminala, między innymi sposób, w jaki łączy się on z urządzeniami peryferyjnymi. Teraz omówimy jego montaż, konfigurację i użytkowanie. Wyjaśnimy również, jak umieścić wewnątrz obudowy terminala moduł PicoMite lub WebMite.

Opcje

Aby urządzenie działało jako standardowy terminal wideo, zworka powinna znajdować się wyłącznie w złączu JP2. Zworek nie powinno być w złączach JP1, JP3 ani JP4. Złącza te można wmontować, lecz należy pozostawić je otwarte. W złączu LK1 należy umieścić zworki między pinami 1 i 2 oraz 3 i 4. Jeśli terminal nie będzie wykorzystywany do żadnych innych celów, złącza JP2 i LK1 oraz zworki można zastąpić połączeniami stałymi.

Zworki JP3 i JP4 służą do wyboru domyślnego trybu wyświetlania, chociaż tryb ten można również skonfigurować programowo za pośrednictwem wirtualnego interfejsu USB/UART. Układ zworek na złączu LK1 można zmienić, co umożliwi zainstalowanie wewnątrz terminala modułu PicoMite lub WebMite zamiast dołączania go z zewnątrz przez złącze CON2.

Zalecamy zastosowanie w terminalu podstawek dla każdego modułu Raspberry Pi Pico oraz złączy wtykowych w modułach, co umożliwi ich odłączanie. Ułatwi to testowanie, diagnostykę i wstępne programowanie, choć wyklucza zastosowanie cieńszej obudowy H0190, ponieważ złącza zwiększają wysokość całej konstrukcji.

Do każdego rodzaju obudowy – H0190 i H0191 – pasuje inna wersja płytki drukowanej panelu przedniego. Panel tylny może wymagać otworu na przewód micro-USB. Nie zaprojektowaliśmy płytki drukowanej tego panelu. W panelu z tworzywa sztucznego otwór można łatwo wykonać ręcznie.

Tym, którzy chcą samodzielnie wyciąć panel przedni i tylny, udostępniamy odpowiednie rysunki.

Budowa

Najpierw sprawdzamy, czy dysponujemy sprzętem niezbędnym do podstawowych prac związanych z montażem elementów SMD. Będą to: cyna, topnik w postaci pasty (najlepiej w strzykawce), lutownica z cienkim lub średnim grotem, pęseta oraz wąska plecionka lutownicza do usuwania cyny. Zalecana byłaby też lupa oraz system odciągania oparów.

Przy montażu korzystamy z rysunku rozmieszczenia elementów (**rysunek 4**) oraz zdjęć. Terminal jest montowany na dwustronnej płytce drukowanej o wymiarach 98 × 69 mm (kod 07112231).

Zaczynamy od wmontowania gniazda HDMI (CON1), ponieważ ma ono najgęściej rozmieszczone piny. Zauważyliśmy, że piny tego gniazda wchodziły do otworów nieco za luźno, mimo że otwory miały zalecany rozmiar. W wycentrowaniu gniazda pomoże delikatne przytrzymanie go przy krawędzi płytki drukowanej. Nakładamy topnik na piny i pola lutownicze, a następnie czyścimy grot lutownicy i nanosimy minimalną ilość świeżej cyny. Lutujemy jeden z małych pinów lub dwa sąsiadujące i sprawdzamy pod lupą, czy połączenie jest prawidłowe i czy gniazdo leży równo. Jeśli wszystko wygląda prawidłowo, lutujemy cztery duże piny, mocując w ten sposób całe złącze. W przeciwnym razie przykładamy lutownicę do wykonanego połączenia i delikatnie przesuwamy gniazdo w odpowiednim kierunku. Trzeba je prawidłowo ustawić, zanim na pinie znajdzie się zbyt dużo cyny. Następnie przylutowujemy pozostałe piny, dodając w razie potrzeby topnik i cynę. Jeśli powstanie zwarcie, usuwamy nadmiar cyny za pomocą topnika i plecionki lutowniczej. Usuwamy pozostałości topnika rozpuszczalnikiem i dokładnie sprawdzamy jakość lutowania wąskich pinów. Lepiej zrobić to na tym etapie, ponieważ później będzie to utrudnione ze względu na znajdujące się w pobliżu rezystory.

eprasa.pl 657e0c02ec

Nieco trudniejsze może być przylutowanie CON4, ponieważ gniazdo to nie ma żadnych pinów pozycjonujących. Nakładamy topnik i umieszczamy gniazdo na swoim miejscu. Przylutowujemy jeden pin, sprawdzamy i ewentualnie poprawiamy położenie gniazda, zanim przylutujemy kolejne piny. Do sprawdzenia, czy CON4 jest prawidłowo ustawione, można użyć płytki drukowanej panelu przedniego. Gniazdo pozycjonujemy, a następnie lutujemy pozostałe piny. Są one rozmieszczone w większych odstępach niż w gnieździe HDMI, więc powstanie zwarć jest mało prawdopodobne. Jeśli wystąpią, usuwamy je plecionką lutowniczą.

Najmniejszymi elementami są dwa tranzystory w obudowach SOT-23 (Q1 i Q2). Można je wlutować jako następne. Znajdują się one w pobliżu prawej krawędzi płytki drukowanej. Nakładamy topnik, przylutowujemy jedno z wyprowadzeń, poprawiając przy tym położenie tranzystora, po czym lutujemy pozostałe wyprowadzenia.

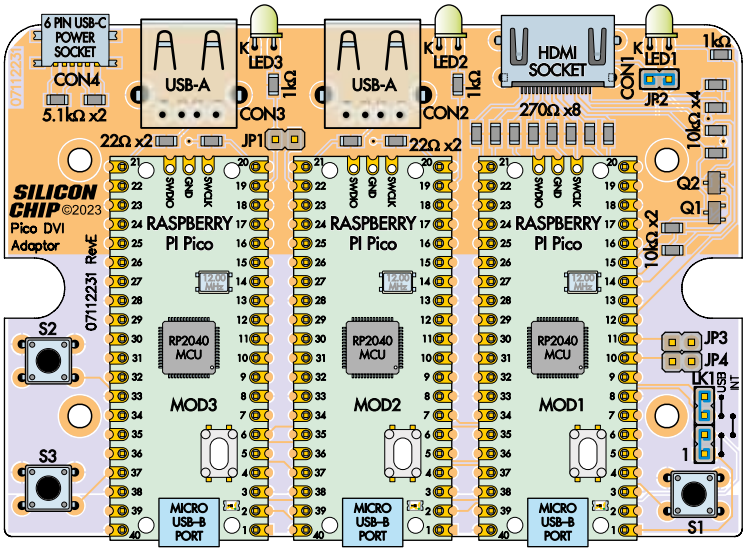
Ostatnia grupa elementów do montażu powierzchniowego to 23 rezystory o pięciu różnych wartościach. Należy uważać, aby nie pomylić ich wartości. Rezystory w rozmiarze 0805 (metrycznie 2012) są na tyle duże, że mają naniesione oznaczenia, więc można określić ich rezystancję, korzystając z **tabeli 1**. Przypis redaktora: dobrą praktyką jest sprawdzenie wartości każdego rezystora omomierzem, nawet jeśli jego oznaczenie nie pozostawia wątpliwości. Rezystory te nie są polaryzowane (kierunek ich ułożenia nie ma znaczenia).

Nakładamy topnik na pola lutownicze każdego rezystora, umieszczamy go pęsetą na płytce, a następnie lutujemy jedno z wyprowadzeń. W razie potrzeby poprawiamy położenie rezystora, a gdy pierwsze połączenie ostygnie, lutujemy drugie wyprowadzenie. Pierwsze połączenie można następnie poprawić, dodając nieco topnika.

Po zamontowaniu wszystkich rezystorów usuwamy nadmiar topnika rozpuszczalnikiem. Pozostawiamy płytkę do wyschnięcia. Czas schnięcia można wykorzystać na kontrolę wzrokową. Ewentualne błędy lepiej poprawić teraz, dopóki na płytce nie ma wszystkich elementów.

Tabela 1. Oznaczenia rezystorów SMD

wartość	stosowane oznaczenia
10 kΩ	103, 1002
5,1 kΩ	512, 5101
1 kΩ	102, 1001
270 Ω	271, 2700, 270R
22 Ω	22R, 220, 22R0



Rysunek 4. Terminal zawiera kilka małych elementów SMD. Ich montaż nie jest jednak skomplikowany. Do wyboru konfiguracji zalecamy stosowanie złączy, zworek i łączników, nawet jeśli obecnie przewidujemy jedno konkretne zastosowanie. Da to możliwość zmiany konfiguracji w przyszłości

Elementy przewlekane

Montaż pozostałych części najłatwiej przeprowadzić według ich wysokości – od najniższych do najwyższych. Umieszczamy na swoich miejscach trzy przyciski i lutujemy je. Następnie montujemy gniazda USB CON2 i CON3. Gniazda powinny dokładnie pasować do otworów w panelu przednim.

Teraz montujemy podstawki dla modułów MOD1, MOD2 i MOD3. Przed lutowaniem wkładamy w nie złącza podłączone do modułów, co zapewni prawidłowe położenie podstawek. W trakcie lutowania sprawdzamy, czy podstawki przylegają płasko do płytki.

W przylutowane podstawki wtykamy złącza modułów, nakładamy moduły i lutujemy piny złącz. Upewniamy się, że wszystkie piny są włożone do końca. Po przylutowaniu złącz wysuwamy moduły z podstawek – ostrożnie, aby nie wygiąć pinów.

Jeśli moduły Pico lutujemy bezpośrednio do płytki drukowanej, najlepiej tymczasowo wkręcić śruby M2 w otwory w rogach modułów, tak aby każdy moduł leżał równo na płytce. Moduły można również przylutować do płytki za pośrednictwem złączy wtykowych.

Następnie lutujemy cztery dwustykowe złącza JP1...JP4 oraz czterostykowe złącze LK1. W JP2 umieszczamy zworkę. W JP1, JP3 ani JP4 zworek nie umieszczamy. Dwie zworki umieszczamy również w złączu LK1 – między pinami 1–2 oraz 3–4. Odpowiadają one pozycjom oznaczonym na płytce drukowanej jako „USB".

Zmontowany terminal stanowi urządzenie zwarte i poręczne. Z pewnością nie będzie kłuł w oczy, umieszczony pod telewizorem obok odtwarzacza Blu-ray. Podłączamy klawiaturę bezprzewodową i możemy programować w języku BASIC, siedząc wygodnie w fotelu!

eprasa.pl 657e0c02ec

Trzy diody LED należy zamontować tak, aby pozioma część ich wyprowadzeń znajdowała się około 3,5 mm nad płytką drukowaną, dzięki czemu światło będzie trafiać do otworów w panelu przednim. Wyginamy wyprowadzenia diod pod kątem prostym bezpośrednio za soczewką. Zwracamy przy tym uwagę na prawidłowy kierunek zgięcia, uwzględniając oznaczenia biegunowości na płytce drukowanej: K = katoda (krótsze wyprowadzenie diody). Diody LED będą nieco cofnięte względem krawędzi płytki drukowanej, ale będą wystawać z panelu przedniego na tyle, że pozostaną widoczne. Jeśli chcemy, aby były lepiej widoczne, wyginamy ich wyprowadzenia nieco dalej od tylnej części soczewki.

Najłatwiejszym sposobem dopasowania diod LED do panelu przedniego jest tymczasowe zamontowanie głównej płytki drukowanej i płytki panelu przedniego w obudowie. Przycinamy wyprowadzenia diod na długość około 6 mm i umieszczamy ich soczewki w otworach w panelu przednim. Pola lutownicze diod LED są wystarczająco duże, aby przylutować wyprowadzenia od góry. Płytkę drukowaną wyjmujemy z obudowy i poprawiamy wszystkie połączenia lutowane diod LED. Na tym kończy się montaż elementów na płytce drukowanej.

Testy wstępne

Przed podłączeniem modułów Pico można przeprowadzić kilka podstawowych testów.

Do gniazda CON4 podłączamy zasilacz USB. Mierzymy napięcie między pinami złącza JP2 (lub pinami nr 40 modułów MOD1, MOD2 lub MOD3) a metalową osłoną dowolnego złącza (połączoną z masą). Powinno ono wynosić 5 V. Napięcie to powinno również występować w gniazdach CON2 i CON3 (do zasilania urządzeń USB podłączonych do tych gniazd).

Dwa rezystory 5,1 kΩ są potrzebne tylko w przypadku korzystania z kabla USB-C/USB-C. Jeżeli przy użyciu takiego kabla napięcia 5 V nie będzie, próbujemy użyć kabla USB-A/USB-C. Jeśli wtedy napięcie się pojawi, będzie to oznaczało problem z rezystorami 5,1 kΩ albo z pinami CC1 lub CC2 (kanał konfiguracyjny) złącza CON4. Sprawdzamy połączenia lutowane styków złączy CON4 i CON1. W złączu CON1 piny 5 V i GND sąsiadują ze sobą, więc ich zwarcie uniemożliwi doprowadzenie napięcia. Wszystkie te problemy musimy usunąć przed kontynuowaniem prac.

Programowanie

Teraz należy zaprogramować moduły Pico. Każdy z nich wymaga innej odmiany oprogramowania układowego i nie należy ich ze sobą pomylić. Moduły Pico są wyposażone w bootloader emulujący pamięć USB, więc do ich programowania wystarczą komputer i kabel USB z wtykiem micro-B.

Jeśli moduły Pico są niezaprogramowane, wystarczy podłączyć je do komputera. Jeśli były już programowane, należy przytrzymać przycisk S1, S2 lub S3 odpowiadający danemu modułowi (MOD1, MOD2 lub MOD3). Trzymając ten przycisk, należy nacisnąć i przytrzymać przycisk BOOTSEL na module, następnie zwolnić S1/S2/S3, a na koniec zwolnić BOOTSEL.

Po uruchomieniu bootloadera w komputerze powinien pojawić się wirtualny dysk o nazwie RPI-RP2. Plik oprogramowania układowego w formacie UF2 ładujemy do modułu Pico, kopiując go na ten dysk. Po załadowaniu oprogramowania dysk zniknie.

Zaczynamy od modułu MOD1, któremu odpowiada plik o nazwie 0711223A.uf2. Po skopiowaniu go na dysk RPI-RP2 na module powinna się zaświecić dioda LED. Dodaliśmy tę funkcję we wszystkich trzech modułach Pico, aby sygnalizować działanie oprogramowania układowego. Nie ma żadnych innych sygnałów potwierdzających. MOD1 powinien teraz być widoczny na komputerze jako wirtualne urządzenie USB/UART. W programach typu „terminal szeregowy", na przykład TeraTerm czy minicom, mogą być wyświetlane pewne dane, ale to wszystko, co zobaczymy, dopóki nie dołączymy modułu MOD1 do płytki drukowanej.

Wtykamy MOD1 w płytkę drukowaną i do CON4 podłączamy napięcie zasilające. Jeśli dioda LED na module zaświeci się, możemy podłączyć wyświetlacz lub monitor HDMI. Powinno to spowodować zaświecenie się diody LED1, która wskazuje, że na pinie HPD wykryto odbiornik sygnału HDMI.

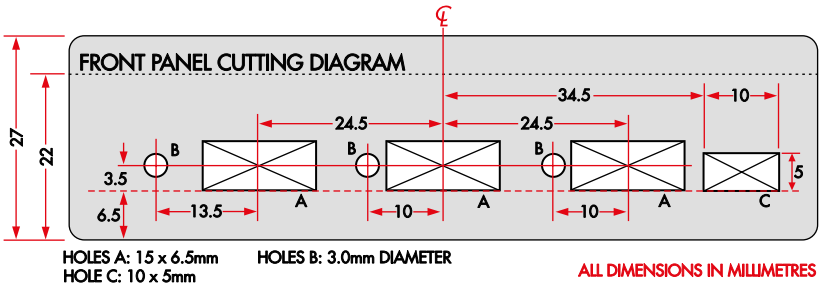
Na ekranie wyświetlacza powinno pojawić się czarne tło z białym migającym kursorem w lewym górnym rogu. Jeśli tak się stanie, oznacza to, że wszystko jak dotąd działa zgodnie z oczekiwaniami. Układ można wyłączyć.

MOD2 i MOD3

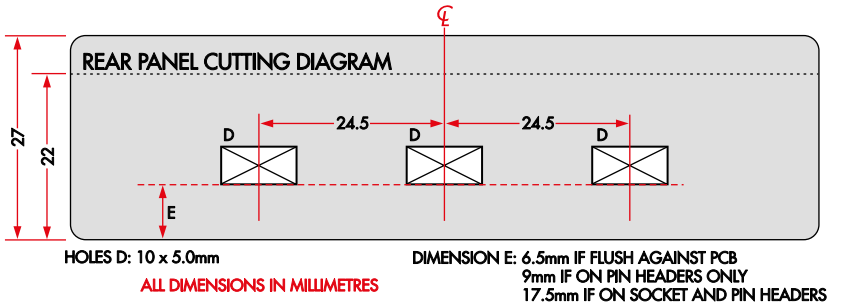
MOD2 programujemy plikiem 0711223B.uf2. Również w tym przypadku niewiele się wydarzy poza zaświeceniem się diody LED na module. Zostanie utworzony wirtualny port USB/UART, ale na razie nie będą przez niego przesyłane żadne dane.

MOD3 należy analogicznie zaprogramować plikiem 0711223C.uf2. Po zakończeniu programowania zaświeci się jego dioda LED. Moduł również udostępnia wirtualny port USB/UART, ale na razie nie będą przez niego przesyłane żadne dane.

Wtykamy MOD2 i MOD3 w odpowiednie podstawki na płytce drukowanej i do gniazda CON4 podłączamy zasilanie. Podłączenie klawiatury USB do gniazda CON3 powinno w ciągu około sekundy spowodować zaświecenie się diody LED3. Dioda



Rysunek 5. Wyprodukowaliśmy płytkę drukowaną panelu przedniego pasującą do obudów H0190 i H0191. Możecie jednak, korzystając z tego rysunku, wyciąć własny panel. Panele dołączane do obudów mają wysokość 22 mm (H0190) lub 27 mm (H0191)



Rysunek 6. Na tylnym panelu odstępy poziome wycięć są takie same jak na przednim. Ich rozmiar i położenie w pionie będą się jednak różnić w zależności od sposobu zamontowania modułów Pico. Panele obudów są przezroczyste, łatwo więc będzie wizualnie sprawdzić wymiary przed cięciem

eprasa.pl 657e0c02ec

ta mignie po naciśnięciu dowolnego klawisza na klawiaturze.

W celu przeprowadzenia testu możemy również podłączyć do CON2 adapter USB/UART. Dioda LED2 powinna się zaświecić i migać przy naciskaniu klawiszy na klawiaturze podłączonej do CON3. Jeśli nie mamy pod ręką adaptera USB/UART, podobny efekt powinno dać połączenie kablem USB gniazda CON2 z gniazdem micro-USB modułu MOD3, ponieważ MOD3 (tak jak MOD1 i MOD2) jest zaprogramowany jako urządzenie USB/UART.

Jeśli po podłączeniu klawiatury do CON2 zaświeci się dioda LED2, zapewne zamieniliśmy miejscami moduły MOD2 i MOD3. Dzięki podstawkom ich zamiana będzie łatwa.

Terminal można również zasilić z gniazda micro-USB wbudowanego w moduł MOD2, co powinno zapewnić przezroczystą transmisję danych z dowolnego urządzenia podłączonego do CON2.

Montaż końcowy

Jeśli wszystko jest w porządku, wsuwamy panel przedni na miejsce i mocujemy płytkę drukowaną śrubami do obudowy. Kilka czynności konfiguracyjnych wymaga dostępu do gniazd micro-USB wszystkich trzech modułów, dlatego należy je wykonać przed zamknięciem obudowy terminala, chyba że dostęp do tych gniazd jest zapewniony przez panel tylny.

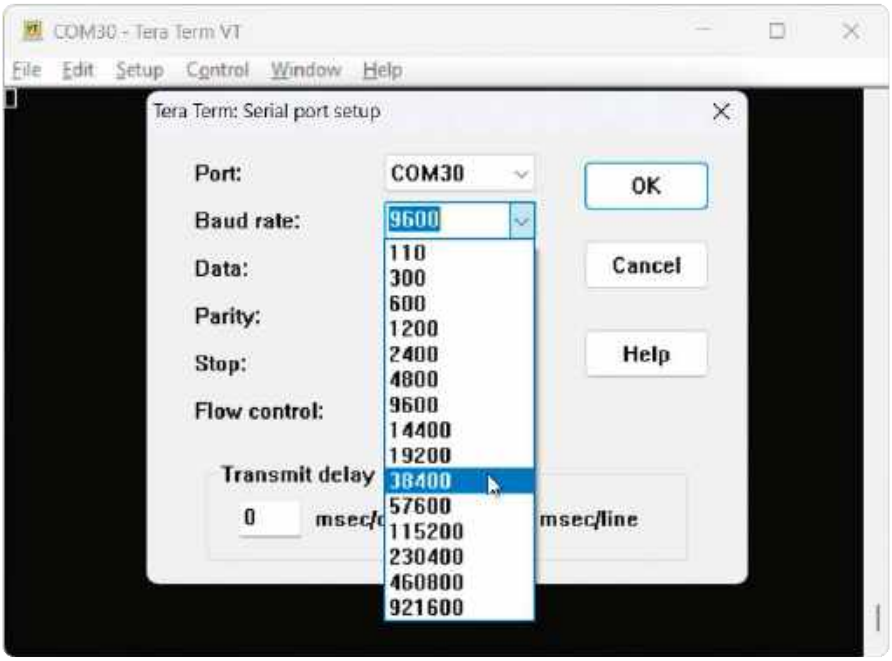
Jeśli chcecie samodzielnie wyciąć panel przedni, zapoznajcie się z **rysunkiem 5**. Schemat cięcia panelu tylnego przedstawiono na **rysunku 6**. Widać na nim trzy prostokątne wycięcia, chociaż większość użytkowników będzie potrzebować tylko środkowego (lub żadnego). Jeśli chcecie mieć dostęp od tyłu obudowy tylko do złącza USB w module MOD2, wystarczy wykonać jedynie otwór pokazany w środkowej części rysunku 6. Należy zwrócić uwagę, że wysokość otworu zależy od wybranego sposobu montażu modułów Pico. Rysunek 6 pokazuje także położenie dwóch otworów zapewniających dostęp do modułów MOD1 i MOD3.

Konfigurowanie

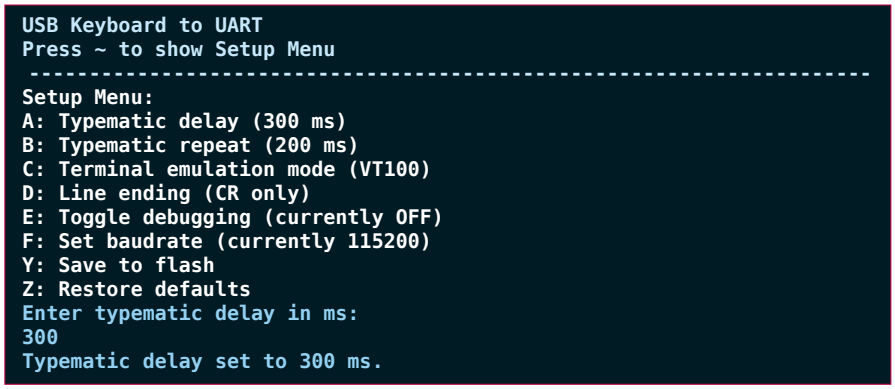
Do skonfigurowania modułów MOD1 i MOD3 można użyć samego terminala (z monitorem i klawiaturą), łącząc kablem gniazdo micro-USB w module MOD1 lub MOD3 ze złączem CON2. Jeśli wszystkie trzy moduły działają poprawnie, można wprowadzać polecenia z klawiatury USB podłączonej do CON3 i wyświetlać wyniki na monitorze podłączonym do CON1.

Nie powinno być jednak zaskoczeniem, że MOD2, jeśli zostanie w ten sposób połączony sam ze sobą, szybko się zawiesi!

Zrzut ekranu 1. Wyświetlanie stanu modułu MOD1 i jego menu konfiguracyjnego. Jest to zrzut ekranu z terminala. Podłączamy gniazdo micro-USB modułu MOD1 do złącza CON2. Terminal działa przy tym samodzielnie i już teraz nie ma potrzeby korzystania z oddzielnego komputera!

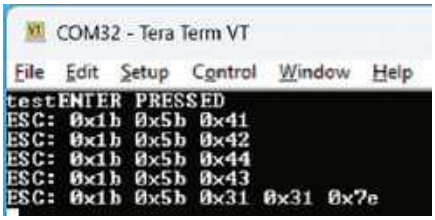


Zrzut ekranu 2. Jedynym ustawieniem dla modułu MOD2 jest szybkość transmisji szeregowej. Można ją po prostu ustawić w programie terminala szeregowego. Szybkość transmisji jest następnie zapisywana w pamięci Flash do późniejszego wykorzystania. Tutaj widzimy ustawianie szybkości transmisji w programie TeraTerm

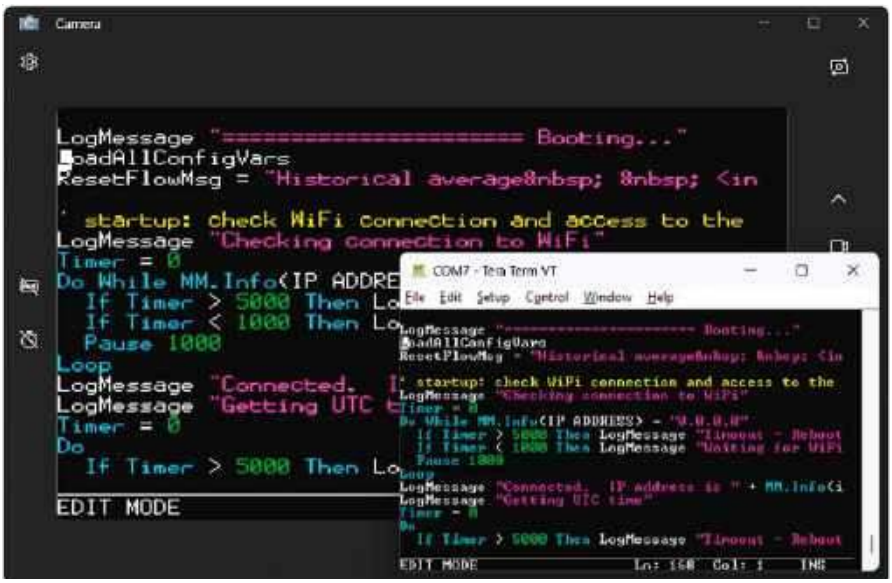


Zrzut ekranu 3. Moduł MOD3 ma liczne opcje konfiguracyjne. Żadna z nich nie dotyczy wariantu używania terminala z modułem Micromite lub PicoMite. Opcja „Toggle debugging" („debugowanie") pozwala oglądać pakiety danych z klawiatury USB w trakcie ich odbierania

eprasa.pl 657e0c02ec



Zrzut ekranu 4. Moduł MOD3 przekazuje również (przez interfejs USB/UART) informacje o danych wysyłanych do MOD2, w tym widoczne tutaj sekwencje Escape standardu VT100



Zrzut ekranu 5. Jeśli terminal został poprawnie skonfigurowany, wyświetlacz podłączony do CON1 powinien pokazywać to samo co program terminala szeregowego. Używając urządzenia do przechwytywania obrazu HDMI, nałożyliśmy na siebie obie treści ekranów. Jak widać, są one ze sobą zgodne

Warianty konfiguracji są inne dla każdego modułu Pico. Zostały one objaśnione poniżej.

Wszystkie trzy moduły Pico można skonfigurować za pośrednictwem wirtualnych portów szeregowych USB. Jeśli używacie w tym celu komputera, będziecie potrzebować programu do obsługi terminala szeregowego, na przykład TeraTerm w systemie Windows lub minicom w systemie Linux. Każdy moduł Pico podłączamy kolejno do komputera kablem podłączonym do jego gniazda micro-USB. Dzięki temu zmniejszamy ryzyko pomylenia modułów!

Otwieramy program terminala szeregowego i wybieramy port szeregowy odpowiadający modułowi Pico, który chcemy skonfigurować. TeraTerm wyświetla tylko urządzenia faktycznie podłączone, więc podłączanie tylko jednego modułu naraz pozwoli jednoznacznie określić, który z nich jest konfigurowany.

Opcje wyświetlania (MOD1)

Istnieją cztery grupy ustawień, z których każda odpowiada jednej z czterech możliwych kombinacji zworek w złączach JP3 i JP4. Oznacza to, że wyświetlacz terminala można skonfigurować za pomocą zworek albo bezpośrednio w terminalu.

Jeśli planowane są częste zmiany trybów, do jednego lub obu złączy JP3 i JP4 można dołączyć przełączniki SPST i za ich pomocą wybierać tryby. Dla uproszczenia w terminalu można ustawiać tylko te opcje, które są wybierane stanami JP3 i JP4.

Zmiana ustawień JP3 lub JP4 przy włączonym terminalu spowoduje ponowne uruchomienie modułu MOD1 i załadowanie nowych ustawień. Jest to konieczne ze względu na sposób, w jaki biblioteka cyfrowego wideo wykorzystuje pamięć modułu Pico. Ponadto niektórych ustawień nie można zmienić po ich wprowadzeniu. Najprostszym rozwiązaniem jest zatem ponowne uruchomienie modułu. Po zmianie ustawień należy ponownie uruchomić MOD1, aby upewnić się, że nowe ustawienia zostały poprawnie załadowane.

Ze względu na ograniczenia pamięci i mocy obliczeniowej modułu monochromatyczny tryb wideo ma większą rozdzielczość niż tryb kolorowy. Jedna z opcji umożliwia wybór między tymi dwoma trybami.

Dostępne są również opcje ustawiania liczby widocznych wierszy i kolumn. Ze względu na większe zapotrzebowanie na pamięć w trybie kolorowym liczba wierszy i kolumn jest mniejsza. W przypadku wybrania zbyt dużej wartości obraz na wyświetlaczu zostanie ucięty.

W trybie kolorowym można wyświetlać do 20 wierszy po 53 znaki. Aby znaki zmieściły się na wyświetlaczu o rozdzielczości 320×240 pikseli, każdy z nich ma wymiary 6×12 pikseli. W trybie monochromatycznym można wyświetlać 30 wierszy po 80 znaków, przy czym znaki mają wymiary 8×8 pikseli (są rozciągnięte w pionie), a obraz ma rozdzielczość 640×240 pikseli.

Domyślne ustawienia mogą Wam najzupełniej odpowiadać. Przy tych ustawieniach tekst jest biały na czarnym tle, jeśli w JP3 nie ma zworki, i czarny na białym tle, jeśli zworka jest założona.

Gdy w JP4 nie ma zworki, wybierany jest tryb monochromatyczny o rozdzielczości 80×24 znaki. Jest to domyślne ustawienie dla różnych modeli Micromite i PicoMite. Gdy w JP4 jest zworka, wybierany jest tryb kolorowy o rozdzielczości 53×20 znaków. Tryb ten wymaga użycia odpowiednich sekwencji sterujących Escape w celu wyświetlania kolorów innych niż domyślne.

Zrzut ekranu 1 pokazuje stan początkowy wyświetlacza. Można go uzyskać, naciskając w oknie terminala szeregowego klawisz „~”, po czym pojawi się menu opcji konfiguracyjnych. Naciśnięcie klawisza „A” wybiera tryb kolorowy, natomiast klawisza „B” – tryb czarno-biały.

Wpisanie „C” lub „D”, a następnie liczby spowoduje zmianę odpowiednio liczby kolumn lub wierszy. Wprowadzenie „E” lub „F” pozwoli wybrać kolory znaków i tła. Do wyboru jest osiem kolorów, takich jak w terminalach VT100.

Użycie litery „G” (włączenie debugowania) spowoduje wyświetlenie informacji o dekodowanych danych VT100, w tym o zwykłych naciśnięciach klawiszy oraz sekwencjach Escape VT100.

Po ustawieniu parametrów naciskamy klawisz „Y”, aby zapisać zmiany, a następnie „X”, aby ponownie uruchomić urządzenie i wczytać ustawienia. Jeśli zamierzamy korzystać z różnych ustawień zworek, po każdej ich zmianie powtarzamy procedurę ponownego uruchomienia. Innymi słowy, zworki umożliwiają utworzenie do czterech konfiguracji niestandardowych, zastępujących cztery konfiguracje domyślne.

Opcje szeregowe (MOD2)

W MOD2 można zmienić tylko jedno ustawienie: szybkość transmisji konwertera USB/UART. Ma to znaczenie tylko wtedy, gdy podłączamy urządzenie do czegoś, co zawiera sprzętowy UART (uniwersalny asynchroniczny nadajnik/odbiornik).

Na przykład moduł Microbridge w urządzeniu Micromite BackPack domyślnie komunikuje się z modułem

eprasa.pl 657e0c02ec

Micromite za pośrednictwem interfejsu UART z szybkością transmisji 38400 bodów. Inne płytki, takie jak PicoMite, nie wykorzystują tego sygnału, więc ustawienie to jest w praktyce ignorowane.

Szybkość transmisji jest ustawiana przez MOD2 za każdym razem, gdy zmienia ją host. Ustawienie to jest natychmiast zapisywane w pamięci Flash, dzięki czemu jest zachowywane nawet po wyłączeniu terminala.

Aby ustawić szybkość transmisji do pracy z urządzeniem takim jak Micromite, otwieramy program terminalowy, wybieramy żądaną szybkość transmisji, a następnie zamykamy program. To wszystko! **Zrzut ekranu 2** pokazuje ustawianie szybkości transmisji w programie TeraTerm, w menu Setup → Serial Port.

Opcje klawiatury (MOD3)

Naciśnięcie klawisza „~" w oknie terminala szeregowego MOD3 powinno wyświetlić coś takiego jak górna część ekranu na **zrzucie ekranu 3**. Każde wyświetlone ustawienie można zmienić, wybierając odpowiednią literę i ewentualnie wprowadzając wartość liczbową, a następnie naciskając Enter. Na przykład, aby zmienić okres automatycznego powtarzania klawisza („Typematic repeat") na 300 ms, naciskamy klawisz „A", następnie wpisujemy „300" i naciskamy Enter. Następnie naciskamy klawisz „Y", aby zapisać zmiany w pamięci Flash.

Funkcja „Typematic" to automatyczne powtarzanie znaku po naciśnięciu i przytrzymaniu klawisza. „Typematic delay" („opóźnienie") to czas od naciśnięcia klawisza do ponownego pojawienia się znaku. „Typematic repeat" („powtarzanie") to odstęp czasowy między kolejnymi powtarzanymi znakami (drugim i trzecim, trzecim i czwartym itd.). Czasy te podajemy w milisekundach.

Terminal obsługuje trzy tryby emulacji, podobnie jak adapter klawiatury USB dla komputerów Micros („Silicon Chip", luty 2019; www.siliconchip.au/Article/11414). Domyślnie używany jest tryb VT100, który nadaje się do współpracy z komputerami Micromite i podobnymi urządzeniami.

W trybie podstawowych kodów ASCII wysyłane są tylko 7-bitowe kody znaków i nie są obsługiwane żadne klawisze specjalne, takie jak klawisze strzałek czy klawisze funkcyjne. W trybie rozszerzonych kodów ASCII obsługiwane są dodatkowe kody 8-bitowe, wykraczające poza te zdefiniowane w 7-bitowym standardzie ASCII, dzięki czemu obsługiwane są również klawisze specjalne. Kody są takie same jak w przypadku adaptera klawiatury USB dla komputerów Micros. Zostały one wymienione w artykule, na który powołaliśmy się powyżej. Tryby te można wykorzystywać w niestandardowych aplikacjach z mikrokontrolerami, unikając w ten sposób stosowania złożonych wielobajtowych sekwencji Escape VT100.

Jako znak końca linii, wysyłany po naciśnięciu klawisza Enter, można ustawić sam znak CR (kod 13), sam znak LF (jak w systemie Linux; kod 10) albo sekwencję CR i LF (jak w systemie Windows).

Po włączeniu opcja debugowania będzie wyświetlać zawartość pakietów USB HID w miarę ich odbierania z klawiatury podłączonej do CON3. Terminal będzie również wyświetlał dane debugowania podczas naciskania klawiszy na klawiaturze podłączonej do CON3. **Zrzut ekranu 4** pokazuje wynik wpisania słowa „test" i naciśnięcia klawisza Enter, a następnie czterech różnych klawiszy strzałek oraz klawisza funkcyjnego.

Ustawienie szybkości transmisji dotyczy tutaj danych odbieranych z pinu GP4 modułu MOD3. Domyślna wartość 115200 jest zgodna z ustawieniem modułu MOD2, więc nie należy jej zmieniać – chyba że moduł MOD3 jest podłączony do urządzenia innego niż terminal.

Opcja „Save to flash" („zapisz w pamięci Flash") pozwala zapisać bieżące ustawienia w pamięci nieulotnej. Są one przywracane po każdym włączeniu zasilania. Funkcja „Restore defaults" („przywróć ustawienia domyślne") przyda się w przypadku uszkodzenia tych ustawień. Jest ona uruchamiana automatycznie, gdy w danych zapisanych w pamięci Flash zostanie wykryty błąd.

Przy standardowym użytkowaniu terminala nie powinno być konieczne zmienianie żadnych ustawień klawiatury. Można jednak dostosować opcje automatycznego powtarzania klawisza („Typematic") do własnych preferencji. Przypis redakcji „Silicon Chip": ustawienie krótszego opóźnienia i krótszego odstępu między powtórzeniami przyspieszy poruszanie się kursorem po ekranie.

Przytwierdzamy pokrywę i mocujemy nóżki do spodu obudowy. Terminal jest gotowy do użycia.

Jeśli któryś z modułów Pico zachowuje się w nieoczekiwany sposób, spróbujcie zaprogramować go plikiem flash_nuke.uf2. Spowoduje to całkowite wyczyszczenie pamięci Flash, w tym wszelkich zapisanych ustawień, które mogły ulec uszkodzeniu. Następnie ponownie wgrajcie plik oprogramowania układowego w formacie UF2 przeznaczony dla danego modułu.

Testowanie końcowe

Pełny test funkcjonalny wymaga podłączenia do CON2 odpowiedniego urządzenia. Urządzenie to wraz z interaktywnym terminalem pozwoli dokładnie przetestować główne funkcje. Do tego celu doskonale nadaje się moduł Micromite, PicoMite lub WebMite.

Jeśli dysponujecie zapasowym modułem Pico lub Pico W, łatwo załadujecie do niego oprogramowanie PicoMite lub WebMite. Pliki UF2 dla tych urządzeń znajdziecie na stronie Geoffa Grahama pod adresem https://geoffg.net lub na stronach „Silicon Chip":
www.siliconchip.au/Shop/6/20
www.siliconchip.au/Shop/6/230

Podczas podłączania modułu Pico do komputera przytrzymujemy przycisk BOOTSEL, a następnie kopiujemy plik UF2 na dysk RPI-RP2, który pojawi się w komputerze.

Zrzut ekranu 6. Z terminalem będzie współpracować wiele różnych urządzeń z interfejsami USB/UART, w tym większość opartych na układach PIC16F1455 i PIC16F1459. Oto projekt „Ol' Timer II" z 2020 roku, konfigurowany bez użycia komputera

eprasa.pl 657e0c02ec

Potem można odłączyć moduł Pico od komputera i podłączyć go do terminala.

Można również użyć modułu Micromite, ale wtedy w MOD2 należy ustawić taką samą szybkość transmisji jak w Micromite. Domyślna wartość wynosi 38400 bodów, można ją jednak zmienić poleceniem „OPTION BAUDRATE".

Podłączamy wszystkie urządzenia do terminala zgodnie z wymaganiami. Monitor lub wyświetlacz HDMI należy podłączyć do CON1, a klawiaturę USB do CON3. Moduł Micromite lub PicoMite podłączamy do CON2.

Nie ma potrzeby podłączania zasilania do CON4. Łączymy terminal z komputerem przez gniazdo micro-USB modułu MOD2 i otwieramy program terminalowy obsługujący ten wirtualny port USB/UART.

Teraz wpisujemy coś na klawiaturze i sprawdzamy, czy w programie terminalowym jest wyświetlane to samo co na monitorze HDMI. W przypadku różnych modeli Mite można użyć polecenia EDIT do przeglądania i modyfikowania programu, co powinno dość dobrze sprawdzić obsługę sekwencji Escape standardu VT100.

Zrzut ekranu 5 pokazuje sytuację po podłączeniu WebMite do terminala. Okno programu TeraTerm umieściliśmy na tle obrazu z urządzenia przechwytującego HDMI podłączonego do CON1. W obu przypadkach wyświetlana jest bardzo podobna treść, co oznacza, że terminal działa i jest poprawnie skonfigurowany.

Jeśli wszystko jest w porządku, można odłączyć przewód micro-USB od modułu MOD2 i używać terminala jako samodzielnego urządzenia. Jeśli coś nie działa zgodnie z oczekiwaniami, może być konieczna zmiana niektórych ustawień. W przypadku Micromite i PicoMite dostępnych jest kilka opcji, które można odpowiednio skonfigurować.

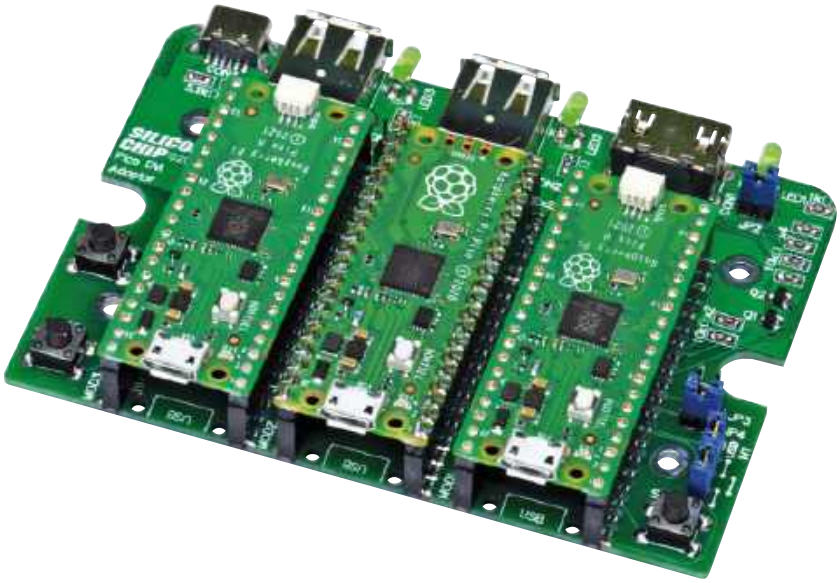
Aby w Micromite lub PicoMite korzystać z edytora z kolorowaniem składni, należy włączyć kolorowy tryb wyświetlania i uruchomić w Micromite/PicoMite następujące polecenie:

```
OPTION COLOURCODE ON
```

Ponieważ w trybie kolorowym dostępne są 53 kolumny zamiast 80 domyślnie używanych przez Micromite i PicoMite, można również użyć następującego polecenia:

```
OPTION DISPLAY rows,columns
```

Spowoduje to dostosowanie ustawień terminala Mite do ustawień używanych przez MOD1. Jeśli tekst zawija się lub przewija w nieoczekiwany sposób, spróbujcie zmniejszyć liczbę wierszy lub kolumn o jeden.



Środkowy moduł Pico to wersja standardowa, natomiast te po jego obu stronach to wersje z przyrostkiem H, fabrycznie wyposażone już w złącza

Niektóre telewizory mają funkcję „overscan", przez co część obrazu znajduje się poza widocznym obszarem ekranu. Jeśli nie da się tego skorygować w ustawieniach telewizora, zmniejszamy w ustawieniach MOD1 liczbę wierszy lub kolumn. Być może konieczna będzie również zmiana ustawienia OPTION DISPLAY.

Inne urządzenia

Zapewne podłączyliście już do terminala klawiaturę bezprzewodową i 65-calowy telewizor i zamierzacie programować Micromite z wygodnego fotela. Jeśli chodzi o inne urządzenia, które mogą współpracować z terminalem, mamy na myśli konkretnie te, które podłącza się do CON2 i które komunikują się przez interfejs USB/UART.

Wspomnieliśmy już wcześniej, że moduły Micromite i PicoMite nie są jedynymi urządzeniami, które mogą współpracować z terminalem. Obsługuje on wiele urządzeń z interfejsem USB/UART, zwłaszcza tych, które do działania nie wymagają specjalnych sterowników.

W wirtualny port USB/UART wyposażono liczne płytki z mikrokontrolerami. Stwierdziliśmy, że z terminalem będzie współpracować znaczna część z nich. Porty USB/UART są często konfigurowane programowo, więc nie możemy zagwarantować, że zawsze będą skonfigurowane w sposób zapewniający kompatybilność.

Przetestowaliśmy płytki Arduino Leonardo. MOD2 rozpoznaje je i komunikuje się z nimi. Terminal dobrze współpracuje również z biblioteką USB/UART, której używamy w projektach opartych na układach PIC16F1455 i PIC16F1459. Dotyczy to modułu Microbridge (wbudowanego w niektóre modele Micromite), ale przetestowaliśmy również układy takie jak „Ol' Timer II" („Silicon Chip" z lipca 2020 r.; www.siliconchip.au/Article/14493). Zrzut ekranu 6 przedstawia interfejs konfiguracyjny „Ol' Timer II", do którego terminal zapewnił dostęp.

Nie przetestowaliśmy oczywiście wszystkich układów, ale spodziewamy się, że z terminalem będą współpracować urządzenia takie jak regulator prędkości silnika prądu stałego („Silicon Chip", październik i grudzień 2018 r.; www.siliconchip.au/Series/328) czy moduł interfejsu cyfrowego USB i SPI („Silicon Chip", listopad 2018 r.; www.siliconchip.au/Article/11299).

A zatem, jeśli nie możecie (lub nie chcecie) podłączać do urządzenia w swojej pracowni pełnoprawnego komputera, macie teraz alternatywę. Terminal z małą bezprzewodową klawiaturą USB i przenośnym wyświetlaczem HDMI sprawdzi się tam, gdzie nie chcemy ryzykować uszkodzenia laptopa – lub po prostu nie mamy na niego miejsca.

Odkryliśmy też, że z terminalem komunikują się moduły oparte na układzie USB/UART CP2102. Umożliwia to łatwą komunikację z układami wyposażonymi wyłącznie w sprzętowy interfejs UART, ponieważ moduły z CP2102 mają sygnały o poziomie 3,3 V. Takie moduły sprzedajemy w naszym sklepie internetowym (www.siliconchip.au/Shop/7/3543).

eprasa.pl 657e0c02ec

Programowanie w języku Python za pomocą terminala

Testowaliśmy moduły Pico programowane w językach MicroPython i CircuitPython. Po podłączeniu do złącza CON2 zostały one rozpoznane przez terminal.

MicroPython i CircuitPython to odmiany języka programowania Python zoptymalizowane do pracy z mikrokontrolerami. Zazwyczaj zawierają one interfejs REPL („read, evaluate, print, loop" – „odczytaj, wykonaj, wypisz, wróć do pętli"), podobny do tego w Micromite, dzięki czemu z Pythona można korzystać interaktywnie, tak jak z BASIC-a.

Te wersje Pythona najwyraźniej nie mają wbudowanego edytora, choć kilka osób pracuje już nad dodaniem takiej funkcji. Tak czy inaczej, terminal stanowi dobry sposób na interakcję z takim urządzeniem, jeśli działa już na nim jakiś program.

Wbudowanie PicoMite/WebMite

Jeśli chcecie pobawić się językiem BASIC, a nie będziecie często potrzebować dostępu do zewnętrznych pinów wejścia/wyjścia, możecie wbudować moduł PicoMite lub WebMite do wnętrza obudowy terminala.

W takim przypadku Mite zastępuje moduł MOD2 i komunikuje się bezpośrednio z MOD1 oraz MOD3 za pośrednictwem odpowiednich łączy szeregowych. Złącze CON2 i odpowiadające mu rezystory 22 Ω nie są wówczas potrzebne. Diodę LED2 można pozostawić i sterować nią z poziomu języka BASIC za pomocą wyjścia cyfrowego GP14.

Zaczynamy od załadowania oprogramowania sprzętowego PicoMite/WebMite do modułu Pico lub Pico W. Aby skonfigurować PicoMite za pośrednictwem portu USB/UART, trzeba będzie użyć komputera lub terminala, ponieważ domyślnie sprzętowy port szeregowy nie jest skonfigurowany. Uruchamiamy następujące polecenie OPTION (w jednym wierszu):

```
OPTION SERIAL CONSOLE COM1,GP0,GP1,BOTH
```

Wtykamy teraz moduł PicoMite w miejsce MOD2 i ustawiamy zworkę LK1 tak, aby połączone były tylko piny 2 i 3. Odpowiada to ustawieniu INT zaznaczonemu na warstwie opisowej płytki drukowanej. Zakładamy użycie domyślnej konfiguracji MOD1, pozostawiamy więc JP3 i JP4 rozłączone.

Jeśli korzystamy z kolorowego trybu wideo, zakładamy zworkę na JP4 i ustawiamy następujące opcje:

Samodzielna kompilacja programu

Aby ułatwić programowanie, dostarczamy wstępnie skompilowane pliki UF2. Jeśli jednak chcecie, możecie w środowisku Arduino IDE samodzielnie kompilować szkice. Wykorzystaliśmy profil płytki Arduino PICO w wersji 3.6.0 wraz z biblioteką PicoDVI w wersji 1.1.0 oraz biblioteką Pico PIO USB w wersji 0.5.3.

Zarówno biblioteki, jak i profil płytki PICO można zainstalować z poziomu środowiska IDE. Więcej informacji na temat profilu płytki można znaleźć na stronie https://github.com/earlephilhower/arduino-pico.

Terminal (dla porównania wielkości leżący obok 15-calowego laptopa), podłączony do 40-calowego monitora i płytki WebMite. Tekst jest wyraźny, nawet gdy na ekran pada światło słoneczne. Jeśli szukacie wyświetlacza większego niż 3,5-calowy ekranik LCD, terminal będzie tutaj oferował wiele możliwości

```
OPTION COLOURCODE ON
OPTION DISPLAY 20, 52
```

Teraz można zasilić terminal przez CON4 lub kabel USB podłączony do PicoMite zastępującego MOD2. Na wyświetlaczu powinien pojawić się znak zachęty BASIC (spróbujcie nacisnąć Ctrl-C) i powinna być możliwa obsługa poleceń BASIC wprowadzanych z klawiatury.

Grafika

Emulacja terminala VT100 zapewniana przez terminal nie obsługuje grafiki. Dołączone czcionki zawierają jednak znaki umożliwiające realizację grafiki o małej rozdzielczości oraz zawierające fragmenty linii i inne symbole. Można je wykorzystać do tworzenia prostej grafiki, rysowania linii i zapisywania równań matematycznych.

Pełny zestaw znaków przedstawiono na **zrzucie ekranu 7**. Jest to wynik działania odpowiedniego programu w języku BASIC. W dolnym wierszu znajduje się fragment programu pokazujący, w jaki sposób można wyświetlić znak o kodzie wykraczającym poza standardowy zestaw ASCII.

Przyszłe ulepszenia

Terminal to bardzo przydatne urządzenie. Omówiliśmy niektóre z wielu możliwych zastosowań utworzonego przez nas oprogramowania. Biblioteki, zarówno Pico-PIO-USB, jak i PicoDVI, są aktywnie rozwijane i można się w przyszłości spodziewać ich ulepszonych wersji.

Możliwe będzie dodanie obsługi różnych urządzeń USB (podłączanych przez złącza CON2 lub CON3) oraz nowych funkcji wyświetlacza. W szczególności biblioteka

eprasa.pl 657e0c02ec

Zrzut ekranu 7. Czcionka zawiera znaki rozszerzone ze strony kodowej 437 używanej w oryginalnym komputerze IBM PC. Są tam symbole i znaki, które można wykorzystać do wyświetlania ramek, równań matematycznych i grafiki o małej rozdzielczości. Jak wyświetlić na ekranie znak o kodzie rozszerzonym, pokazuje dolny wiersz programu w języku BASIC

Pico-PIO-USB jest stale rozszerzana o obsługę nowych urządzeń w trybie hosta.

Wygląda na to, że w bibliotece jest już obsługa urządzeń takich jak pamięci USB i myszy. Jeśli zatem chcecie zbudować niestandardowy system współpracujący z innymi urządzeniami USB, w końcu staje się to możliwe.

W miarę rozwoju biblioteki PicoDVI pojawi się zapewne więcej trybów wyświetlania. Przez interfejs TMDS w HDMI można przesyłać cyfrowy sygnał audio, a zatem przyszłe wersje mogą zyskać obsługę dźwięku.

Aktualizacje bibliotek mogą ogólnie poprawiać działanie terminala bez wpływu na jego podstawowe funkcje. Bądźcie zatem na bieżąco!

Wnioski końcowe

„Cyfrowy terminal wideo" stanowi całościową aktualizację dawnego projektu „Terminala wideo ASCII". Umożliwia on współpracę nowoczesnej klawiatury USB i monitora HDMI z urządzeniami takimi jak Micromite i PicoMite, zamieniając je w samodzielne komputery przypominające modele z lat 80.

Jego interfejs USB współpracuje również z różnego rodzaju urządzeniami zawierającymi interfejs USB/UART.

Jeśli do systemu należy dołączyć jedynie klawiaturę i wyświetlacz, terminal będzie stanowić niedrogi i wygodny zamiennik pełnoprawnego komputera.

Terminal to urządzenie modułowe. Spodziewamy się, że niejeden Czytelnik przerobi go i przeprogramuje, aby pełnił różne funkcje, być może nawet symulował inne komputery i różne typy terminali. ■

Tim Blythman

Materiały dodatkowe dostępne są na stronie Silicon Chip:
https://www.siliconchip.com.au/Shop/8/6914

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

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

REKLAMA

eprasa.pl 657e0c02ec

Nauka elektroniki z modułem ESP32, część 2

Wejścia i wyjścia cyfrowe

W pierwszej części naszego cyklu przedstawiliśmy ogólnie moduł ESP32, zaprezentowaliśmy też jego środowisko programistyczne. Pokazaliśmy, jak przy użyciu komputera monitorować czujniki dotykowe wbudowane w ten moduł. Projekt praktyczny dotyczył wykorzystania ESP32 w przenośnym nadajniku sygnału alarmowego. W niniejszym odcinku przyjrzymy się bardziej szczegółowo wejściom i wyjściom cyfrowym. Pokażemy, jak podłączać przyciski i przełączniki, a także jak sterować różnymi obciążeniami – takimi jak diody LED, przekaźniki i sygnalizatory dźwiękowe. Przedstawimy również monitor portu szeregowego – bardzo przydatne narzędzie stanowiące część środowiska Arduino IDE. Użycie monitora portu szeregowego to doskonały sposób na testowanie programu.

Celem tego odcinka cyklu jest nabycie następujących umiejętności:

- korzystanie z monitora portu szeregowego
- konfigurowanie i obsługa prostych wejść i wyjść cyfrowych
- poznanie sposobów sterowania większymi obciążeniami za pomocą wyjść ESP32.

Użycie monitora portu szeregowego

Podczas testowania nawet najprostszego programu często okazuje się, że potrzebujemy jakiegoś sposobu, aby dowiedzieć się, co się w nim dzieje. Bez zaawansowanego interfejsu użytkownika (klawiatury, wyświetlacza) nie jest to łatwe. Środowisko Arduino IDE ułatwia to dzięki wbudowanemu monitorowi portu szeregowego. Zanim jednak zaczniemy korzystać z tego narzędzia, musimy je zainicjować w funkcji `setup()` w następujący sposób:

```
void setup() {
Serial.begin(9600); // Inicjalizacja monitora portu szeregowego
}
```

Rysunek 2.1. Program do przetestowania czujnika Halla wbudowanego w moduł ESP32

Zwróciliście chyba uwagę na parametr użyty w wywołaniu funkcji `Serial.begin()`. Określa on szybkość transmisji szeregowej w bitach na sekundę. Zazwyczaj ustawia się ją na 9600 lub 115200 bitów na sekundę, ale w razie potrzeby można wybrać inne wartości. Opcjonalny drugi argument określa liczbę bitów danych i bitów stopu oraz sposób kontroli parzystości. Domyślnie stosuje się osiem bitów danych, brak bitu parzystości i jeden bit stopu. Takie ustawienie powinno działać poprawnie zarówno z Arduino IDE, jak i z wieloma innymi aplikacjami. W przypadku niektórych urządzeń zewnętrznych może być jednak konieczna zmiana tych ustawień.

Poniższy przykładowy program konfiguruje interfejs szeregowy (UART) do pracy z szybkością 9600 bitów na sekundę, ośmioma bitami danych, bitem parzystości i dwoma bitami stopu:

```
void setup() {
Serial.begin(9600, SERIAL_8E2); // Inicjalizacja monitora
portu szeregowego
}
```

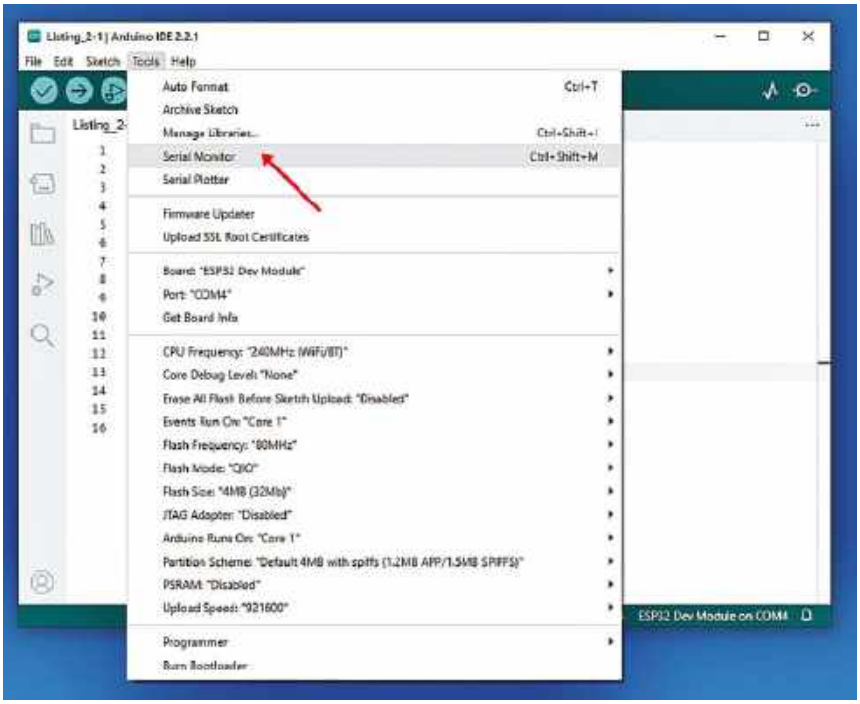
Nauka elektroniki

Jest to nasz nowy cykl edukacyjny, poświęcony wykorzystaniu popularnego modułu ESP32 do nauki podstaw elektroniki i programowania. Nie zakładamy u Czytelnika żadnych wcześniejszych umiejętności programistycznych ani doświadczenia w elektronice. Jeśli znacie się na jednym, ale nie na drugim, to dobrze trafiliście, a jeśli w obu tych dziedzinach jesteście kompletnymi nowicjuszami, to też nie ma powodu do obaw, ponieważ cykl polega na stopniowym i praktycznym zdobywaniu wiedzy. Będzie mnóstwo czasu na jej poszerzanie i wiele okazji do wypróbowania nowych rzeczy.

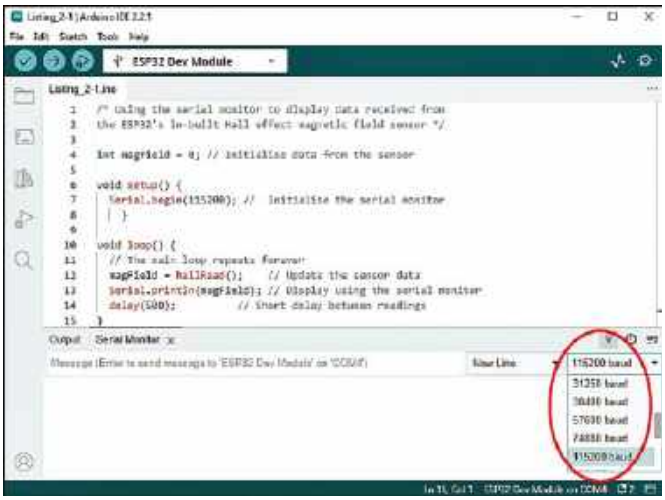
Nie zamieszczamy zbyt wielu podstawowych informacji teoretycznych, ponieważ można je znaleźć w innych miejscach, między innymi w numerach „Practical Electronics" w odcinkach serii „Teach-In": https://bit.ly/pe-ti, https://bit.ly/pe-ti-bundle

W prezentowanym cyklu pojawią się projekty i zadania, które pomogą Wam lepiej zrozumieć poruszane tematy.

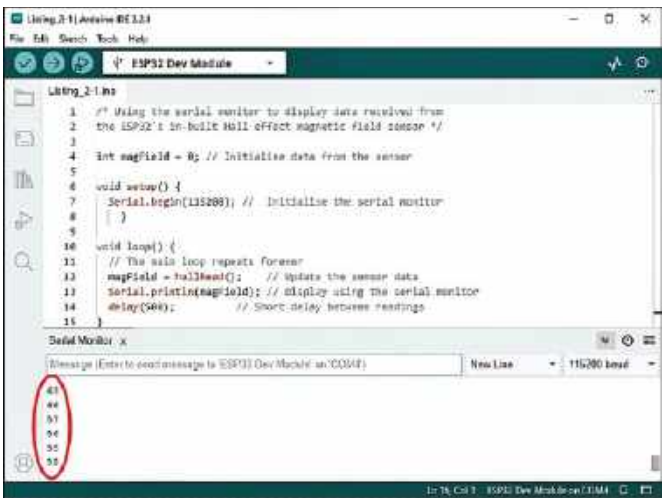
eprasa.pl 657e0c02ec



Rysunek 2.2. Uruchamianie monitora szeregowego z menu Tools środowiska IDE



Rysunek 2.3. Ustawianie szybkości transmisji monitora szeregowego



Rysunek 2.4. Dane zwracane przez czujnik magnetyczny Halla w ESP32

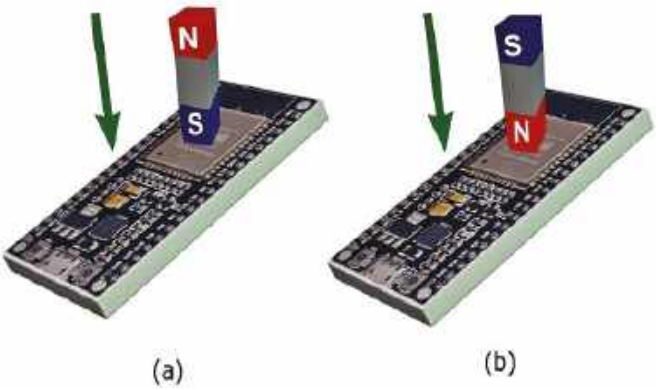
Aby wysłać komunikat tekstowy do monitora portu szeregowego, można użyć funkcji `Serial.print()` lub `Serial.println()`. Jedyna różnica między tymi funkcjami polega na tym, że druga z nich dodaje na końcu komunikatu znak nowego wiersza. Oto przykład:

```
Serial.print(„Wybrany pin = „);
```

Instrukcja ta spowoduje wyświetlenie ciągu znaków ujętego w cudzysłowy. Element, który wyślemy jako następny, pojawi się bezpośrednio za powyższym ciągiem (za końcową spacją). Jeśli więc chcielibyśmy dopisać tam numer pinu zapisany w zmiennej selectedPin, a następnie przejść do następnego wiersza, użylibyśmy:

```
Serial.println(selectedPin);
```

Programy przedstawione na **listingach 2.1** i **2.2** pokazują, w jaki sposób monitor portu szeregowego może zarówno odbierać dane z modułu ESP32, jak i wysyłać do niego dane. W pierwszym przykładzie (listing 2.1) wykorzystano czujnik Halla wbudowany w ESP32. Pamiętajmy,



Rysunek 2.5. Testowanie czujnika magnetycznego Halla małym magnesem. Odwracanie kierunku pola, pokazane na rysunkach (a) i (b), spowoduje zmianę znaku zwracanych danych

Listing 2.1. Wykorzystanie monitora szeregowego do wyświetlania danych z magnetycznego czujnika Halla wbudowanego w ESP32

```
/* Wykorzystanie monitora szeregowego do wyświetlania
danych otrzymanych z czujnika pola magnetycznego Halla
wbudowanego w ESP32 */

int magField = 0;    // Inicjalizacja danych z czujnika

void setup() {
Serial.begin(115200);   // Zainicjuj monitor szeregowy
}

void loop() {
// Pętla główna powtarza się w nieskończoność
magField = hallRead();      // Aktualizacja danych
                            // z czujnika
Serial.println(magField);   // Wyświetlanie na monitorze
                            // szeregowym
delay(500);   // Krótkie opóźnienie między odczytami
}
```


eprasa.pl 657e0c02ec

No jasne!

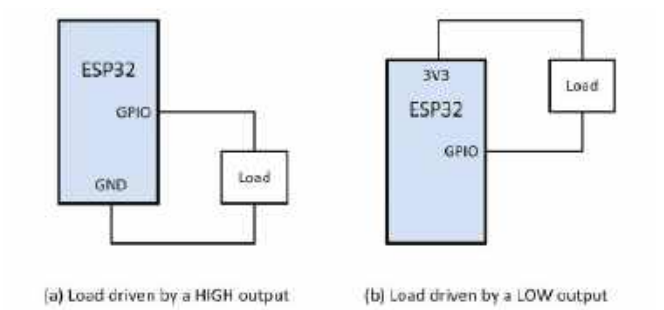
Podczas kompilacji programu może pojawić się komunikat o błędzie informujący, że „hallRead was not declared in this scope" („hallRead nie została zadeklarowana w tym zakresie"). W takim przypadku warto sprawdzić aktualnie zainstalowaną wersję pakietu ESP32 firmy Espressif Systems. W wersji 3.0.0 funkcja hallRead() została usunięta, dlatego program wykorzystujący tę funkcję nie skompiluje się. Aby to naprawić, można użyć menedżera płytek IDE (patrz 1. odcinek tego cyklu), usunąć bieżącą wersję i zainstalować poprzednią. My użyliśmy wersji 2.0.11 i z nią problemu nie było.

Listing 2.2. Sterowanie diodą LED w ESP32 poprzez monitor szeregowy

```
/* Użycie monitora szeregowego do przełączania wbudowanej diody LED ESP32
na GPIO2 klawiszem „x" klawiatury */

int ledPort = 2;                    // dioda LED jest dołączona do GPIO2
boolean LEDstatus = HIGH;

void setup() {
pinMode(ledPort, OUTPUT);           // Inicjalizacja diody LED
Serial.begin(115200);               // Zainicjuj monitor szeregowy
}

void loop() {
char ch = Serial.read();            // Sprawdź, czy jest znak
// Sprawdź, czy wprowadzono prawidłowy znak z klawiatury
if ((ch == ‚X') || (ch == ‚x')) {
digitalWrite(ledPort, LEDstatus); // Włącz lub wyłącz
LEDstatus = !LEDstatus;             // Przełącz stan na przeciwny
}
delay(100);                         // Krótkie opóźnienie
}
```

że po wpisaniu lub pobraniu z Internetu kodu źródłowego (**rysunek 2.1**) należy w menu Tools włączyć monitor portu szeregowego, jak pokazano na **rysunku 2.2**, oraz wybrać szybkość transmisji (**rysunek 2.3**). Po uruchomieniu programu w oknie monitora pojawi się lista wartości z czujnika, aktualizowana co 500 ms (**rysunek 2.4**). Są to wartości natężenia pola magnetycznego. Zmieniają się, aczkolwiek są dość małe. Czujnik Halla można przetestować, umieszczając w pobliżu górnej powierzchni modułu ESP32 mały magnes, co pokazano na **rysunku 2.5**.

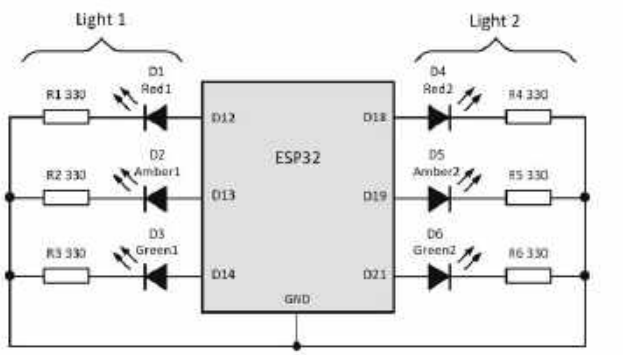
Rysunek 2.6. Wprowadzanie znaków w polu tekstowym monitora szeregowego



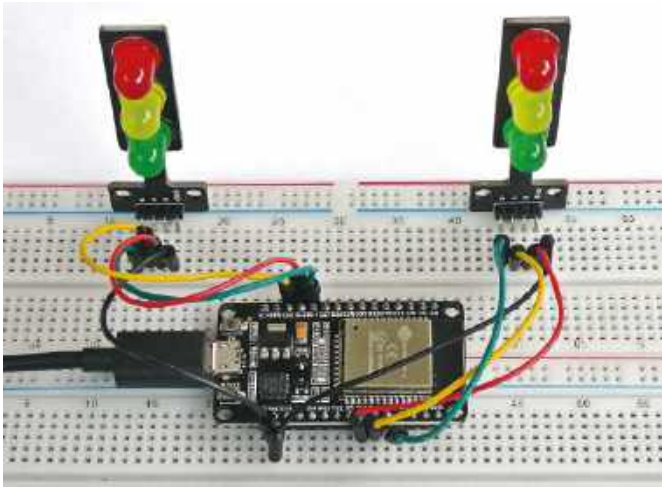
Rysunek 2.7. Obciążenia na wyjściach cyfrowych, aktywowane stanami HIGH (a) i LOW (b)

Gdy magnes zostanie przesunięty w kierunku modułu ESP32, nastąpi wyraźna zmiana zmierzonego natężenia pola. Jeśli kierunek pola zostanie odwrócony, co również pokazano na rysunku 2.5, zaobserwujemy zmianę znaku mierzonych wartości.

Drugi przykład (**listing 2.2**) ilustruje, w jaki sposób przez łącze szeregowe można wysyłać pojedyncze znaki z komputera do modułu. Dane do wysłania (pojedynczy znak, po którym następuje znak nowego wiersza) wprowadza się w polu tekstowym monitora portu szeregowego, jak pokazano na **rysunku 2.6**. Program pozwala przełączać diodę LED na module ESP32 (linia GPIO2) między stanem włączonym



Rysunek 2.8. Schemat sterownika sygnalizacji świetlnej z ESP32



Rysunek 2.9. Okablowanie sterownika sygnalizacji świetlnej

eprasa.pl 657e0c02ec

a wyłączonym poprzez wysyłanie litery „X” (małej lub wielkiej) wpisanej z klawiatury.

Konfigurowanie wyjść cyfrowych

Stan logiczny linii GPIO skonfigurowanych jako wyjścia (bloku mikrokontrolera zawierającego programowane wejścia/wyjścia; przypis redaktora) może być wysoki („HIGH”; około 3,3 V) lub niski („LOW”; blisko 0 V). Piny GPIO mogą w stanie HIGH dostarczać prąd, a w stanie LOW – pobierać go. Aby nie przekraczać maksymalnych wartości parametrów modułu ESP32, zaleca się, aby prąd w obu przypadkach był zawsze mniejszy niż 10 mA (co odpowiada obciążeniu o rezystancji nie mniejszej niż około 330 Ω). Układ na wyjściu („obciążenie”) można podłączyć na dwa sposoby. W pierwszym przypadku prąd popłynie, gdy wyjście będzie w stanie HIGH, w drugim – w stanie LOW (**rysunek 2.7**).

Do zasilania diody LED niezbędny jest rezystor szeregowy ograniczający prąd. Jego rezystancja zazwyczaj mieści się w przedziale 220...470 Ω. W większości naszych przykładów stosujemy rezystor 330 Ω, co daje dość typowy prąd diody LED wynoszący około 4 mA. Jeśli wymagana jest większa jasność diody, rezystancję można zmniejszyć do 220 Ω. To prowadzi nas do istotnego pytania: jaki prąd możemy bezpiecznie pobierać z pinu wyjściowego ESP32? W karcie katalogowej firmy Espressif podano, że maksymalny prąd wyjściowy wynosi 12 mA. Zalecamy jednak, aby prąd pojedynczej linii GPIO nie przekraczał 10 mA. Musimy jednocześnie zagwarantować, że sumaryczny prąd wyjść cyfrowych ESP32 będzie mniejszy niż 100 mA. W większości zastosowań to wystarczy. Gdy wymagany jest większy prąd, można zastosować zewnętrzny tranzystor, co opisano w dalszej części artykułu, w opisie projektu praktycznego.

Listing 2.3. Program sterownika dwukierunkowej sygnalizacji świetlnej na ESP32

```
/* Sygnalizacja świetlna ESP32.
Wyświetla sygnały czerwone,
żółte i zielone dla skrzyżowania
dwukierunkowego
*/

// Zdefiniuj piny GPIO
const int Red1 = 12;
const int Amber1 = 13;
const int Green1 = 14;
const int Red2 = 18;
const int Amber2 = 19;
const int Green2 = 21;
const int delaytime = 1000;

void setup() {
// Wszystkie piny skonfigurowane jako
wyjścia
pinMode(Red1, OUTPUT);
pinMode(Amber1, OUTPUT);
pinMode(Green1, OUTPUT);
pinMode(Red2, OUTPUT);
pinMode(Amber2, OUTPUT);
pinMode(Green2, OUTPUT);
}

void loop() {
// Stan 0
digitalWrite(Red1, HIGH);
digitalWrite(Amber1, LOW);
digitalWrite(Green1, LOW);
digitalWrite(Red2, HIGH);
digitalWrite(Amber2, LOW);
digitalWrite(Green2, LOW);
delay(delaytime);
// Stan 1
digitalWrite(Red1, HIGH);
digitalWrite(Amber1, LOW);
digitalWrite(Green1, LOW);
digitalWrite(Red2, HIGH);
digitalWrite(Amber2, HIGH);
digitalWrite(Green2, LOW);
delay(delaytime);
// Stan 2
digitalWrite(Red1, HIGH);
digitalWrite(Amber1, LOW);
digitalWrite(Green1, LOW);
digitalWrite(Red2, LOW);
digitalWrite(Amber2, LOW);
digitalWrite(Green2, HIGH);
delay(5 * delaytime);
// Stan 3
digitalWrite(Red1, HIGH);
digitalWrite(Amber1, LOW);
digitalWrite(Green1, LOW);
digitalWrite(Red2, LOW);
digitalWrite(Amber2, HIGH);
digitalWrite(Green2, LOW);
delay(delaytime);
// Stan 4
digitalWrite(Red1, HIGH);
digitalWrite(Amber1, LOW);
digitalWrite(Green1, LOW);
digitalWrite(Red2, HIGH);
digitalWrite(Amber2, LOW);
digitalWrite(Green2, LOW);
delay(delaytime);
// Stan 5
digitalWrite(Red1, HIGH);
digitalWrite(Amber1, HIGH);
digitalWrite(Green1, LOW);
digitalWrite(Red2, HIGH);
digitalWrite(Amber2, LOW);
digitalWrite(Green2, LOW);
delay(delaytime);
// Stan 6
digitalWrite(Red1, LOW);
digitalWrite(Amber1, LOW);
digitalWrite(Green1, HIGH);
digitalWrite(Red2, HIGH);
digitalWrite(Amber2, LOW);
digitalWrite(Green2, LOW);
delay(5 * delaytime);
// Stan 7
digitalWrite(Red1, LOW);
digitalWrite(Amber1, HIGH);
digitalWrite(Green1, LOW);
digitalWrite(Red2, HIGH);
digitalWrite(Amber2, LOW);
digitalWrite(Green2, LOW);
delay(delaytime);
}
```

Przypis redaktora: Szczegółowe i aktualne dane dotyczące parametrów prądowych oraz konfiguracji GPIO znajdują się w ESP32 Series Datasheet (https://documentation.espressif.com/esp32_datasheet_en.pdf) oraz w ESP32 Technical Reference Manual (https://documentation.espressif.com/esp32_technical_reference_manual_en.pdf).

Sprawdź sam!

W ramach tego działu zbudujemy prosty sterownik sygnalizacji świetlnej dla dwóch kierunków ruchu drogowego. Układ przedstawiono na **rysunku 2.8**. Każdy z dwóch sygnalizatorów (Light 1 i Light 2) będzie się składał z trzech diod LED: czerwonej, żółtej i zielonej. Zamiast stosować pojedyncze diody

State	Time (sec)	Light 1			Light 2		
		Red	Amber	Green	Red	Amber	Green
0	1	HIGH	LOW	LOW	HIGH	LOW	LOW
1	1	HIGH	LOW	LOW	HIGH	HIGH	LOW
2	5	HIGH	LOW	LOW	LOW	LOW	HIGH
3	1	HIGH	LOW	LOW	LOW	HIGH	LOW
4	1	HIGH	LOW	LOW	1	LOW	LOW
5	1	HIGH	HIGH	LOW	1	LOW	LOW
6	5	LOW	LOW	HIGH	1	LOW	LOW
7	1	LOW	HIGH	LOW	1	LOW	LOW

Rysunek 2.10. Tablica sekwencji sterownika sygnalizacji świetlnej

Rysunek 2.11. Popularne typy przycisków i przełączników, idealne do stosowania z ESP32

eprasa.pl 657e0c02ec

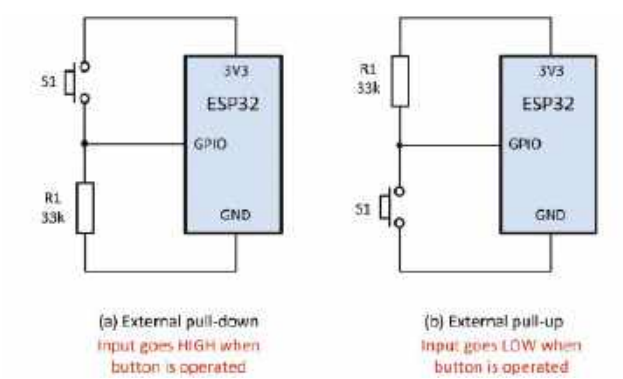
i rezystory szeregowe, wybraliśmy prostsze rozwiązanie i zastosowaliśmy gotowe miniaturowe moduły sygnalizatorów świetlnych, zawierające czerwone, żółte i zielone diody LED wraz z szeregowymi rezystorami 330 Ω. Moduły te można nabyć w wielu sklepach internetowych. Wystarczy wpisać w wyszukiwarce hasło „5V Mini Traffic Light LED Display" (przypis redaktora: szukając u polskich dostawców, wpisujemy „moduł sygnalizatora świetlnego"). Diody LED mają wspólne połączenie z masą (GND) i zapalają się, gdy odpowiadające im piny są ustawione w stan HIGH.

Połączenia sterownika sygnalizacji świetlnej pokazano na **rysunku 2.9**. Program przedstawiony na **listingu 2.3** należy wpisać ręcznie lub pobrać ze strony internetowej „Practical Electronics" (https://bit.ly/pe-downloads; kwiecień 2024 r.).

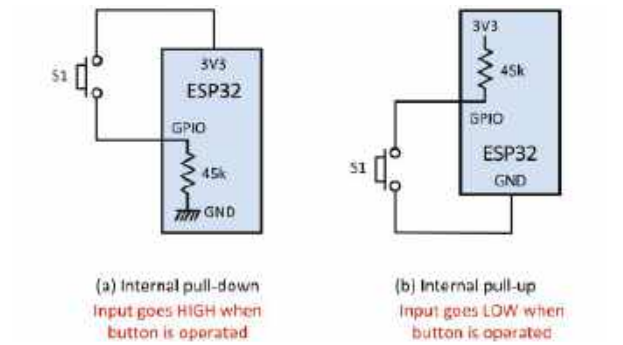
Po uruchomieniu programu oba sygnalizatory powinny działać zgodnie z sekwencją przedstawioną w tabeli stanów na **rysunku 2.10**. Zwróćcie uwagę, że stany 2 i 6 trwają pięć sekund, a pozostałe – sekundę. Czasy te są realizowane przez wprowadzenie do programu opóźnień o odpowiedniej długości. Zauważmy, że aby zmienić czasy działania świateł, wystarczy zmodyfikować tylko jeden wiersz programu. Program jest bardzo prosty i nie wymaga obszerniejszych wyjaśnień.

Konfigurowanie wejść cyfrowych

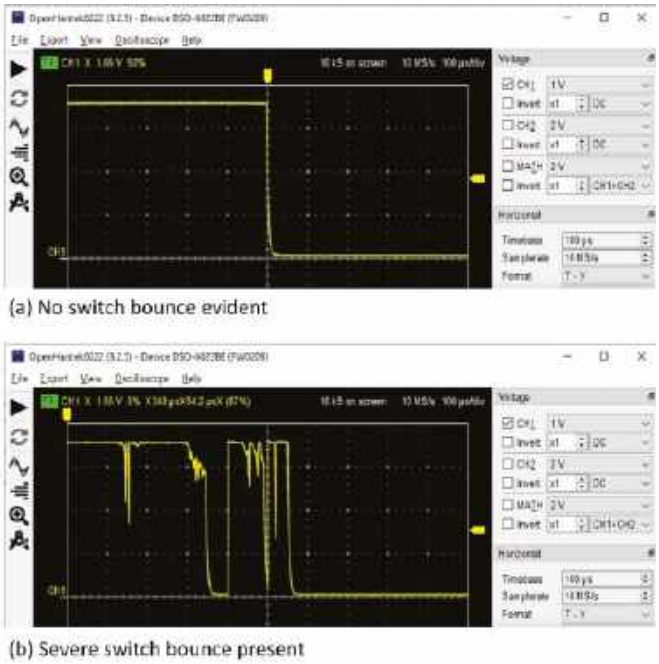
Istnieje wiele zastosowań wymagających wykorzystania jednego lub kilku wejść cyfrowych ESP32. Należą do nich wykrywanie stanów przycisków i przełączników, a także odczyt sygnałów z czujników z wyjściami cyfrowymi, takich jak przełączniki pływakowe, ciśnieniowe i dotykowe, mikroprzełączniki, czujniki zbliżeniowe oraz kontaktrony. Wszystkie te elementy można w prosty sposób dołączać do pinów GPIO skonfigurowanych jako wejścia. Kilka powszechnie stosowanych typów przycisków i przełączników pokazano na **rysunku 2.11**.



Rysunek 2.12. Zewnętrzne rezystory podciągające i ściągające

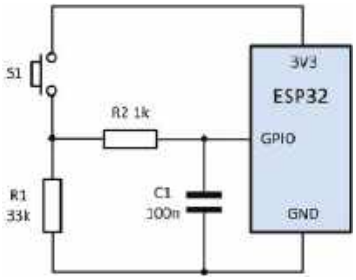


Rysunek 2.13. Wewnętrzne rezystory podciągające i ściągające mikrokontrolera



Rysunek 2.14. Przebieg przedstawiający drgania styków przełącznika

Podciąganie i ściąganie



Rysunek 2.15. Wykorzystanie obwodu RC w celu zmniejszenia skutków drgań styków

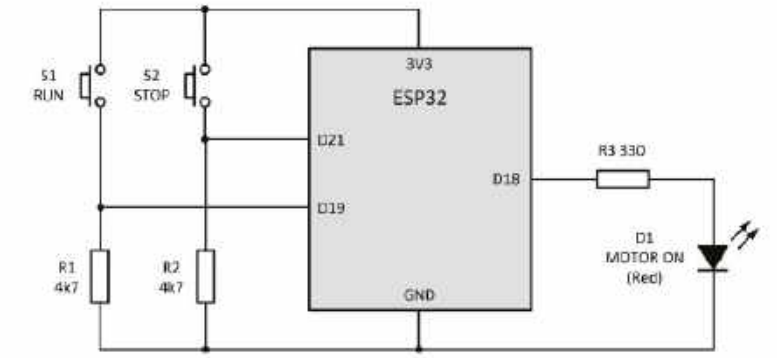
Wejście cyfrowe musi znajdować się w jednym z dwóch stanów: HIGH lub LOW, bez żadnych stanów pośrednich. Pierwszy z tych stanów definiuje się zazwyczaj jako poziom napięcia powyżej 75% nominalnego napięcia zasilania (3,3 V), natomiast drugi – jako poziom poniżej 25% tego napięcia. Stany te odpowiadają napięciom odpowiednio powyżej 2,5 V i poniżej 0,8 V. Pamiętajmy, że niepodłączone wejście GPIO znajduje się standardowo w stanie wysokiej impedancji, czego skutkiem jest nieokreślony i nieprzewidywalny stan logiczny tego wejścia (wejście „wisi w powietrzu" i nawet niewielkie zmiany pola elektrycznego, na przykład w wyniku zbliżenia ręki, mogą zmieniać jego stan logiczny; przypis redaktora). Z tego powodu często stosuje się zewnętrzne rezystory: podciągające piny do stanu HIGH („pull-up") albo ściągające je do stanu LOW („pull-down"). Rezystancje tych rezystorów nie są na ogół krytyczne i zwykle mieszczą się w zakresie 4,7 kΩ...100 kΩ. Użycie rezystorów zilustrowano na **rysunku 2.12**.

Zwróćmy uwagę, że ESP32 ma bardzo przydatną możliwość podciągnięcia wejścia do stanu HIGH lub ściągnięcia go do stanu LOW bez konieczności stosowania rezystorów zewnętrznych. Można tego dokonać

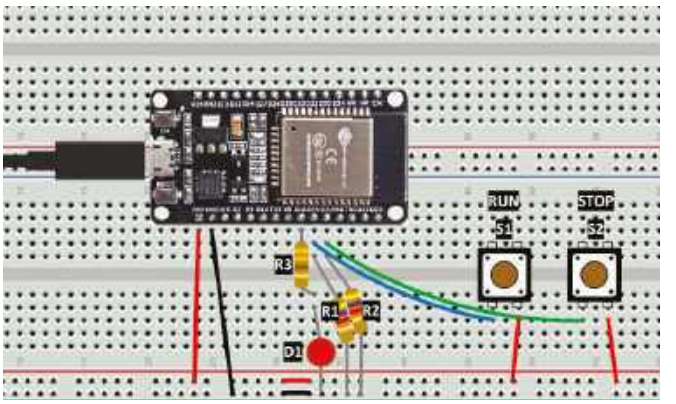
No jasne!

Piny GPIO 34, 35, 36 i 39 mogą służyć wyłącznie jako wejścia cyfrowe. Nie są przy tym wyposażone w wewnętrzne rezystory podciągające ani ściągające. Jeśli chcecie wykorzystać te piny jako wejścia cyfrowe, pamiętajcie o dodaniu rezystorów zewnętrznych.

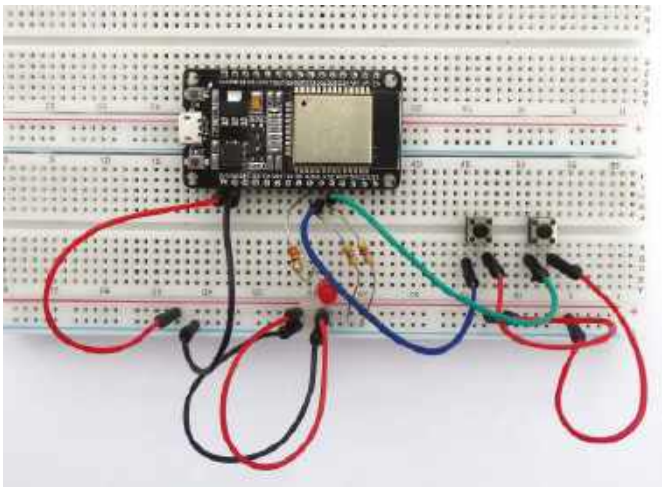
eprasa.pl 657e0c02ec



Rysunek 2.16. Schemat prototypowego układu sterownika silnika



Rysunek 2.17. Rozmieszczenie elementów i połączeń sterownika silnika opartego na 30-pinowym module ESP32



Rysunek 2.18. Okablowanie sterownika silnika z 30-pinowym modułem ESP32

Rysunek 2.19. Przekaźniki półprzewodnikowe przeznaczone do sterowania obciążeniami w sieci energetycznej prądu przemiennego, o maksymalnym prądzie obciążenia 10 A...45 A

No jasne!

W przypadku większości przełączników mechanicznych pojawia się problem polegający na tym, że przełączenie nie przebiega czysto. Stan wyjściowy ulega gwałtownym wahaniom, zanim ustabilizuje się na stałej wartości. Zjawisko to nazywane jest „drganiem styków" (**rysunek 2.14**) i w wielu zastosowaniach jest mocno niepożądane. Skutki odbijania styków przełącznika można ograniczyć lub wyeliminować na różne sposoby, między innymi poprzez wprowadzenie opóźnień programowych lub spowolnienie przełączania prostym obwodem rezystor/kondensator (RC), umieszczonym między stykami przełącznika a wejściem cyfrowym, co pokazano na **rysunku 2.15**.

Przypis redaktora: zagadnienie „drgania styków" omówiono również w artykule „Migające diody LED i śliniący się inżynierowie, część 26" w listopadowym wydaniu „EdW" z 2025 r.

za pomocą funkcji pinMode() podczas inicjalizacji bloku GPIO, jak pokazano w poniższym fragmencie programu:

```
pinMode(18, INPUT); // D18 jest standardowym
wejściem cyfrowym
pinMode(19, INPUT_PULLUP); // D19 to wejście cyfrowe
podciągnięte do poziomu HIGH
pinMode(21, INPUT_PULLDOWN); // D21 to wejście cyfrowe
ściągnięte do poziomu LOW
```

Działanie parametrów INPUT_PULLDOWN i INPUT_PULLUP pokazano na **rysunku 2.13**. Wewnętrzne rezystory podciągające i ściągające w ESP32 mają typową rezystancję 45 kΩ. Przypis redaktora: rezystancje wewnętrznych rezystorów podciągających i ściągających w mikrokontrolerach wykazują z reguły duże odchylenia od wartości typowej. Podczas projektowania należy brać to pod uwagę.

Projekt praktyczny, część 1

Zadanie praktyczne obejmuje zaprojektowanie, wykonanie i oprogramowanie prostego sterownika silnika. Schemat tego prostego układu i połączenia przewodowe prototypu przedstawiono na **rysunkach 2.16...2.18**. Sposób podłączenia diody LED pokazano w poprzednim odcinku na rysunku 1.21. Przy przyciskach RUN („start") i STOP zastosowaliśmy zewnętrzne rezystory ściągające 4,7 kΩ, a dla diody LED – rezystor szeregowy 330 Ω. Diodę LED zastąpimy później wzmacniaczem sterującym i małym silnikiem.

Po wykonaniu połączeń, nawiązaniu przez USB połączenia z komputerem i uruchomieniu środowiska IDE można wpisać lub wkleić kod źródłowy przedstawiony na **listingu 2.4**. Po uruchomieniu programu dioda LED powinna zaświecić się po naciśnięciu przycisku RUN i pozostać zapalona do momentu naciśnięcia przycisku STOP. Kolejne naciśnięcie przycisku RUN powinno spowodować ponowne zaświecenie diody i tak dalej.

Przejdźmy teraz do omówienia programu. W pierwszych kilku wierszach definiowane są stałe przypisujące numery pinów GPIO do obu przycisków i do diody LED. Przypis redaktora: zwróćmy uwagę na kwalifikator const, który oznacza, że deklarowany obiekt jest stałą, a nie zmienną. Każda instrukcja próbująca zmienić jej wartość zostanie podczas kompilacji programu zgłoszona jako błędna. Następnie definiujemy zmienne, które będą reprezentować

eprasa.pl 657e0c02ec

stany każdego z przycisków oraz stan wyjścia sterującego diodą LED. Dalej, w funkcji `setup()`, konfigurowane są piny GPIO.

Główna pętla programu powtarza się w nieskończoność. Rozpoczyna się od odczytania stanu obu przycisków. Po ich odczytaniu podejmujemy decyzję, co zrobić, w zależności od aktualnego stanu każdego z nich. Jeśli naciśnięto przycisk RUN, włączamy diodę LED, a jeśli naciśnięto przycisk STOP – wyłączamy ją. Później, podczas warsztatów programowania, przyjrzymy się bliżej sposobowi podejmowania tych decyzji.

Po sprawdzeniu działania prototypu możemy dołączyć do układu mały silnik. Będzie on sterowany przyciskami RUN i STOP w analogiczny sposób. Biorąc pod uwagę wspomniane wcześniej ograniczenia prądowe wyjść ESP32, będziemy musieli zastosować dodatkowe układy zapewniające większy prąd, niezbędny do zasilania silnika. Wrócimy do tego nieco później, w drugiej części projektu. Najpierw warto przemyśleć, jak zasilać obciążenia wymagające prądu i/lub napięcia większego, niż może zapewnić moduł ESP32.

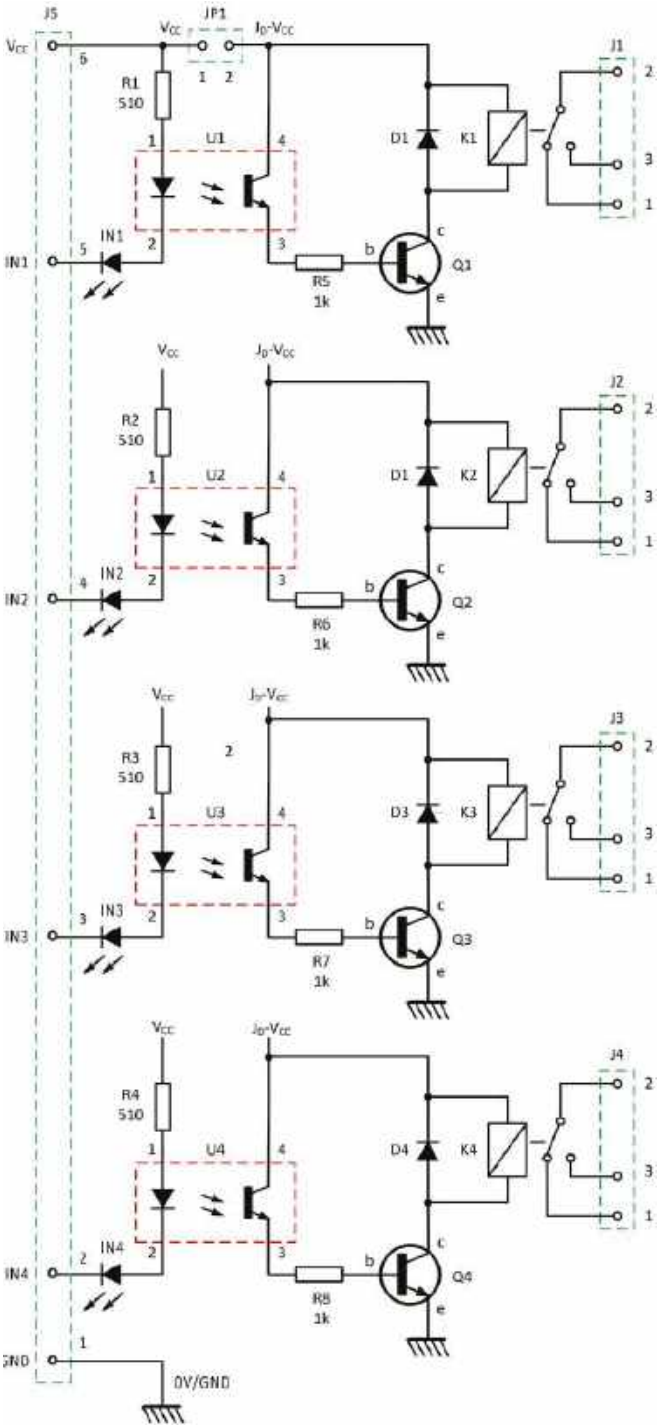
Sterowanie obciążeniami o dużym prądzie/napięciu

Wydajność prądowa modułu ESP32 wystarcza do wielu zastosowań, na przykład do zasilania diod LED, ale jest zbyt mała do sterowania siłownikami, silnikami, reflektorami i wieloma innymi urządzeniami. Na szczęście problem sterowania większością obciążeń wymagających dużego napięcia i prądu można łatwo rozwiązać, stosując miniaturowe przekaźniki. Są to elementy elektromechaniczne składające się z cewki nawiniętej na rdzeniu o dużej przenikalności magnetycznej oraz ruchomej kotwicy połączonej mechanicznie z układem styków, które są przełączane po załączeniu przekaźnika. Gdy przez cewkę popłynie odpowiedni prąd, powstałe pole magnetyczne spowoduje przyciągnięcie kotwicy z miękkiego żelaza, co z kolei spowoduje otwarcie lub zamknięcie styków przekaźnika. Typowy miniaturowy przekaźnik przeznaczony do montażu na płytce drukowanej ma cewkę o napięciu

Tabela 2.1. Parametry typowego miniaturowego przekaźnika elektromagnetycznego

parametr	wartość
Nominalne napięcie robocze	5 V DC
Nominalny prąd roboczy	73 mA
Maksymalne obciążenie znamionowe	250 V AC/10 A, 30 V DC/10 A
Typowe napięcie zadziałania	3,8 V
Rezystancja cewki	70 Ω
Pobór mocy (typowy)	0,36 W
Czas zadziałania (maksymalny)	10 ms
Czas zwolnienia (maksymalny)	5 ms
Rezystancja styku (maksymalna)	0,11 Ω
Żywotność	100 000 przełączeń przy obciążeniu znamionowym
Maksymalna częstotliwość przełączania	30 razy na sekundę

Rysunek 2.20. Czterokanałowy moduł przekaźnikowy



Rysunek 2.21. Schemat czterokanałowego modułu przekaźnikowego

eprasa.pl 657e0c02ec

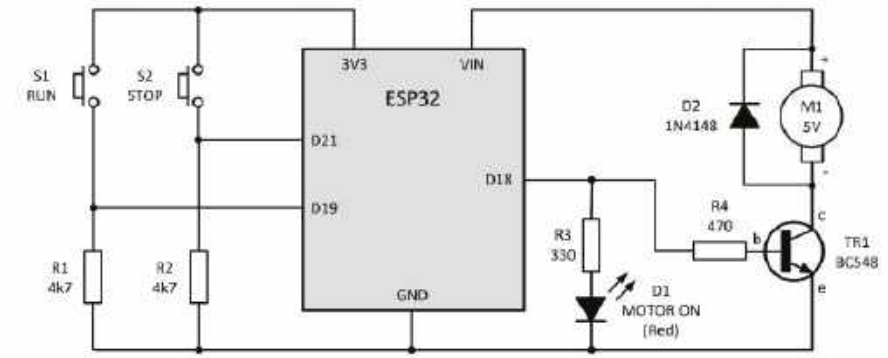
```
Listing 2.4. Proste sterowanie silnikiem

/* Przykład obsługi przycisków w ESP32. Jeden przycisk będzie służył
do uruchamiania silnika, a drugi do zatrzymywania go. Stan silnika będzie
wyświetlany na diodzie LED */

// Zdefiniuj stałe dla pinów GPIO
const int runButton = 19;      // GPIO19
const int stopButton = 21;     // GPIO21
const int ledOutput = 18;      // GPIO18

// Zdefiniuj stany zmiennych
int runButtonState = LOW;      // na początku stany obu
int stopButtonState = LOW;     // przycisków będą niskie
int outputState = LOW;         // Początkowo musi to być stan niski

void setup() {
// Zainicjuj pin LED jako wyjście
pinMode(ledOutput, OUTPUT);
// Zainicjuj dwa piny przycisków jako wejścia
pinMode(runButton, INPUT);
pinMode(stopButton, INPUT);
}

void loop() {
// Odczyt aktualnego stanu obu przycisków
runButtonState = digitalRead(runButton);
stopButtonState = digitalRead(stopButton);
// Sprawdź, czy któryś z przycisków jest wciśnięty
if (runButtonState == HIGH) {
outputState = HIGH;
digitalWrite(ledOutput, HIGH);
}
if (stopButtonState == HIGH) {
outputState = LOW;
digitalWrite(ledOutput, LOW);
}
}
```

znamionowym 5 V, a jego styki są przełączane już przy około 75% tej wartości. Parametry takiego przekaźnika podano w **tabeli 2.1**. Do sterowania znacznymi obciążeniami w sieci elektroenergetycznej prądu przemiennego (o prądzie do 45 A) za pomocą małego napięcia wejściowego mogą być używane przekaźniki półprzewodnikowe – takie jak pokazane na **rysunku 2.19**.

Z tabeli 2.1 wynika, że cewka przekaźnika elektromagnetycznego wymaga prądu sterującego znacznie przekraczającego możliwości pinów wyjściowych układu ESP32. Potrzebujemy zatem układu pośredniczącego, który zapewni ten dodatkowy prąd. Na szczęście, jak się przekonamy w drugiej części projektu praktycznego, wystarczy do tego zaledwie jeden tranzystor małej mocy i kilka innych elementów.

Bardziej elegancką i często tańszą alternatywą jest zastosowanie gotowego modułu przekaźnikowego. Na szczęście dostępnych jest wiele takich modułów. Najpopularniejsze z nich są wyposażone w dwa, cztery lub osiem przekaźników, z których każdy ma własny układ sterujący.

Schemat typowego czterokanałowego modułu przekaźnikowego przedstawiono na **rysunku 2.20**. Każdy kanał zawiera tranzystor sterujący przekaźnikiem oraz transoptor. Takie moduły można kupić bardzo tanio – często już za kilka złotych – więc zakup jednego z nich jest bardziej opłacalny niż próba samodzielnego zbudowania takiego układu.



Rysunek 2.22. Tranzystorowy wzmacniacz wyjściowy sterujący silnikiem

Programowanie wyjść przekaźnikowych

Sterowanie jednym lub kilkoma przekaźnikami jest bardzo proste i wymaga zaledwie kilku prostych wierszy programu. Najpierw należy zdefiniować numery pinów GPIO skonfigurowanych jako wyjścia, do których podłączone są przekaźniki. Wpisujemy następujące wiersze:

```
int pompa = 18;  // pompa
podłączona przez przekaźnik
do pinu GPIO-18
int grzalka = 21; // grzałka
podłączona przez przekaźnik
do pinu GPIO 21
```

Następnie do funkcji setup() należy dodać następujące wiersze:

```
pinMode(pompa, OUTPUT);   //
konfigurujemy wyjście sterujące pompą
pinMode(grzalka,
OUTPUT); // konfigurujemy wyjście
sterujące grzałką
```

Przekaźniki i podłączone do nich obciążenia można włączać i wyłączać, umieszczając w odpowiednich miejscach głównej pętli programu następujące wiersze:

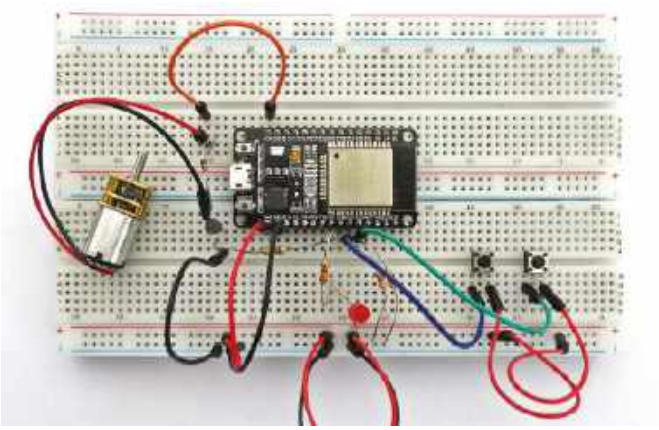
```
digitalWrite(pompa, LOW);          //
wyłącz pompę
digitalWrite(pompa, HIGH);         //
włącz pompę
digitalWrite(grzalka, LOW);        //
wyłącz grzałkę
digitalWrite(grzalka, HIGH);       //
włącz grzałkę
```

Przypis redaktora: Jeśli przedstawiony kod ma służyć do sterowania modułem przekaźnikowym pokazanym na **rysunku 2.21**, należy uwzględnić jego sposób sterowania: anody diod wejściowych transoptorów są podłączone przez rezystory do VCC, a sygnały sterujące są doprowadzone do ich katod. W takim układzie przekaźniki są załączane stanem LOW i wyłączane stanem HIGH, więc komentarze w kodzie powinny zostać odpowiednio zmienione.

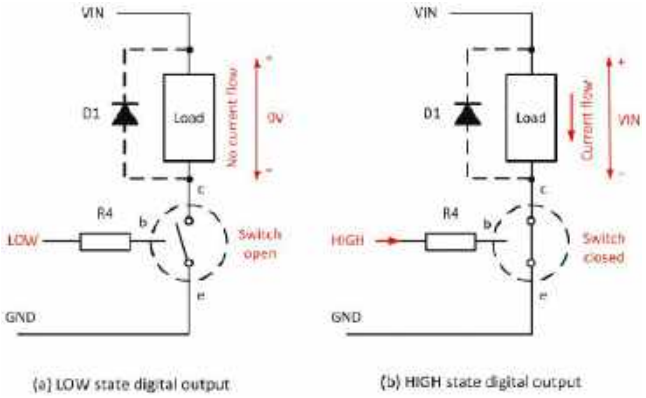
Projekt praktyczny, część 2

Wróćmy teraz do projektu praktycznego. Do wyjścia ESP32 (pin GPIO2) możemy dołączyć silnik poprzez tranzystorowy układ sterujący, podobny do stosowanych w czterokanałowym module przekaźnikowym z rysunku 2.20. Zmodyfikowany schemat oraz połączenia przewodowe układu sterowania

eprasa.pl 657e0c02ec



Rysunek 2.23. Okablowanie zmodyfikowanego sterownika silnika



Rysunek 2.24. Działanie przełączające tranzystora ze schematu na rysunku 2.22

silnikiem przedstawiono odpowiednio na **rysunkach 2.22** i **2.23**. Silnik to niedrogi, miniaturowy model na napięcie 5 V z wbudowaną przekładnią. Tranzystor TR1 zapewnia większy prąd dla silnika (zazwyczaj 50...100 mA) i działa jak przełącznik – jest wyłączony, gdy pin GPIO2 znajduje się w stanie LOW, a włączony, gdy pin ten znajduje się w stanie HIGH (**rysunek 2.24**). Dioda D1 służy do ochrony tranzystora przed przepięciem powstającym w momencie wyłączenia silnika. Takie diody stosuje się zawsze, gdy obciążenie ma charakter indukcyjny, na przykład w przypadku przekaźników, elektromagnesów czy silników. Przypis redaktora: w momencie wyłączenia tranzystora prąd płynący przez indukcyjność usiłuje nadal płynąć. Dioda zamyka obwód tego prądu, umożliwiając rozładowanie energii zgromadzonej w indukcyjności.

Warsztaty programowania

Podstawowym i niezbędnym elementem każdego języka programowania jest możliwość podejmowania decyzji na podstawie bieżącej sytuacji i odpowiedniego reagowania. Język C++, używany w środowisku Arduino IDE, oferuje wiele różnych konstrukcji warunkowych, które to umożliwiają. Proste decyzje można podejmować, używając jedynie instrukcji `if` oraz `else`. Z kolei powtarzanie instrukcji można realizować za pomocą pętli `while`, `do...while` i `for`, a w środowisku Arduino wielokrotnie wykonywany kod umieszcza się w funkcji `loop()`. Przyjrzymy się wszystkim tym konstrukcjom. Zaczniemy od `if/else`.

Instrukcja if

Jest to najprostsza instrukcja warunkowa. Stosuje się ją, gdy instrukcja lub ciąg instrukcji ma zostać wykonany, jeśli jest spełniony określony warunek. Podstawowa składnia wygląda następująco:

```
if (wyrażenie warunkowe) {
// instrukcje do wykonania, jeśli warunek jest prawdziwy
// każda instrukcja kończy się znakiem ;
}
```

Przykładem może być liczenie elementów na taśmociągu w partiach po 10. Załóżmy, że gdy liczba elementów osiągnie lub przekroczy dziesięć, musi zostać włączona dioda LED. Dokonuje tego poniższy fragment programu:

```
if (count>=10) {
digitalWrite(fullLED, HIGH);
}
```

Jeśli wartość zmiennej count jest mniejsza niż 10, warunek jest fałszywy, a instrukcja następująca po nim zostanie po prostu pominięta. Jeśli jednak wartość zmiennej wynosi 10 lub więcej, warunek jest prawdziwy, a instrukcja następująca po nim zostanie wykonana. Niekiedy używa się ciągu kilku instrukcji if, sprawdzających różne warunki i podejmujących odpowiednie działania.

Instrukcja if...else

Instrukcja ta jest również bardzo prosta. Jej podstawowa składnia wygląda następująco:

```
if (wyrażenie warunkowe) {
// instrukcje do wykonania, jeśli warunek jest prawdziwy
// każda instrukcja kończy się znakiem ;
} else {
// instrukcje do wykonania, jeśli warunek jest fałszywy
// każda instrukcja kończy się znakiem ;
}
```

Oto prosty przykład. Załóżmy, że monitorujemy napięcie analogowe i chcemy zastosować wartość progową równą 512. Po osiągnięciu lub przekroczeniu tej wartości powinna się zapalać zielona dioda LED, a poniżej niej – czerwona. Nasza konstrukcja `if...else` wyglądałaby wtedy mniej więcej tak:

```
if (inVoltage>=512) {
digitalWrite(greenLED, HIGH);
} else {
digitalWrite(redLED, HIGH);
}
```

Niestety to nie wszystko. Działanie obu diod LED, wskazujących stan napięcia, powinno się wzajemnie wykluczać. Musimy zadbać o to, aby gdy jedna dioda jest włączona, druga była na pewno wyłączona. Możemy to osiągnąć na różne sposoby. Możemy albo wyłączyć obie diody tuż przed wykonaniem instrukcji `if...else`, albo, włączając jedną, zawsze wyłączać drugą, stosując bloki zawierające więcej niż jedno polecenie – czyli instrukcje złożone.

Zgodnie z pierwszą metodą otrzymujemy:

```
// zacznij od wyłączenia obu diod LED
digitalWrite(redLED, LOW);
digitalWrite(greenLED, LOW);
// teraz zdecyduj, którą diodę LED włączyć
```


eprasa.pl 657e0c02ec

```
if (inVoltage>=512) {
digitalWrite(greenLED, HIGH);
} else {
digitalWrite(redLED, HIGH);
}
```

Druga możliwość to:

```
// Odczytaj napięcie wejściowe i włącz diodę czerwoną
albo zieloną
if (inVoltage>=512) {
digitalWrite(greenLED, HIGH);
digitalWrite(redLED, LOW);
} else {
digitalWrite(redLED, HIGH);
digitalWrite(greenLED, LOW);
}
```

Zwróćcie uwagę, jak w tym przykładzie po `if` i po `else` łączymy ze sobą po kilka instrukcji. Nawiasy klamrowe `{ }` zapewniają, że logika tego łączenia jest jasna i jednoznaczna.

Oczywiście wcześniej w programie musimy zdefiniować piny, których używamy do sterowania diodami LED, oraz zainicjować zmienne (`inVoltage`, `redLED` i `greenLED`).

Warunki logiczne

Istnieje szereg warunków logicznych, które możemy sprawdzać. Zostały one zestawione w **tabeli 2.2**. Zwróćcie uwagę na wykrzyknik, który oznacza „nie".

W poprzednim przykładzie na pewno zauważyliście warunek `>=`, który służył do sprawdzania, czy napięcie wejściowe przekroczyło lub osiągnęło wartość progową 512. Jak pokazuje tabela 2.2, warunek „większe lub równe" jest jednym z kilku, których możemy używać.

Instrukcja while

Instrukcja ta pozwala na cykliczne wykonywanie jednej lub wielu instrukcji, dopóki sprawdzany warunek jest prawdziwy. Gdy tylko stanie się on fałszywy, pętla zostanie zakończona, a wykonywanie programu będzie kontynuowane od instrukcji następującej po pętli. Podstawowa składnia wygląda następująco:

```
while (wyrażenie warunkowe) {
// instrukcje wykonywane, jeśli warunek jest prawdziwy
// każda zakończona znakiem ;
}
```

Oto przykład pokazujący, jak można sterować silnikiem przenośnika taśmowego, korzystając z pętli while. Silnik będzie pracował tak długo, jak długo przedmiot umieszczony na taśmie będzie się zbliżał do wyłącznika krańcowego. Nie można zapomnieć, że wewnątrz pętli musimy na bieżąco sprawdzać stan wyłącznika krańcowego. Jeśli o tym zapomnimy, silnik będzie pracował w nieskończoność!

```
while (limitSwitchStatus == LOW) {
// wyłącznik krańcowy nie został aktywowany, więc
silnik pracuje:
digitalWrite(motorRun, HIGH);
// sprawdź, czy coś się zmieniło:
limitSwitchStatus = digitalRead(limitSwitch);
}
```

Sprawdzając w wyrażeniu warunkowym wartość pewnego licznika modyfikowanego wewnątrz pętli, zyskujemy prosty sposób na wykonanie jednej lub kilku instrukcji określoną liczbę razy – w następujący sposób:

```
count = 0;
while (count < 50) {
// fragment wykonywany 50 razy:
// każda instrukcja kończy się znakiem ;
count = count + 1;
}
```

W tej pętli zwiększamy licznik przy każdym jej wykonaniu, aż osiągnie on wartość 50. W tym momencie wyrażenie warunkowe stanie się fałszywe, a wykonywanie programu przejdzie do następnej instrukcji. Zauważmy, że istnieje bardziej elegancki sposób zwiększania wartości licznika, co pokazano poniżej:

```
count = 0;
while (count < 50) {
// fragment wykonywany 50 razy:
// każda instrukcja zakończona znakiem ;
count++;
}
```

Wyrażenie count++ służy w tym przypadku do postinkrementacji zmiennej count. Innymi słowy, pobierana jest aktualna wartość tej zmiennej, dodawane jest do niej 1, a nowa wartość jest zapisywana z powrotem w zmiennej.

Na koniec przykład pokazujący, jak za pomocą prostej pętli można dziesięciokrotnie mignąć alarmową diodą LED:

```
flashCount = 0;
while (flashCount < 10) {
digitalWrite(alarmLED, HIGH);
delay(500); // odczekaj pół sekundy
digitalWrite(alarmLED, LOW);
```

Tabela 2.2. Warunki logiczne

zapis	znaczenie	uwagi
a == b	a jest równe b	spełnione, jeśli a i b mają tę samą wartość
a != b	a jest nierówne b	spełnione, jeśli a i b mają różne wartości
a > b	a jest większe od b	spełnione, jeśli a jest większe od b (ale niespełnione, jeśli oba mają tę samą wartość)
a < b	a jest mniejsze od b	spełnione, jeśli a jest mniejsze od b (ale niespełnione, jeśli oba mają tę samą wartość)
a >= b	a jest większe lub równe b	spełnione, jeśli a jest większe niż b, a także gdy oba mają tę samą wartość
a <= b	a jest mniejsze lub równe b	spełnione, jeśli a jest mniejsze niż b, a także gdy oba mają tę samą wartość

eprasa.pl 657e0c02ec

```
delay(500); // odczekaj pół sekundy
flashCount++;
}
```

Instrukcja do...while

Pętla `do...while` działa podobnie jak `while`, z tą różnicą, że warunek jest sprawdzany dopiero na końcu pętli, a nie na jej początku. Oznacza to, że instrukcje zawarte wewnątrz pętli zostaną zawsze wykonane co najmniej raz. Składnia wygląda następująco:

```
do {
// program, który ma zostać wykonany co najmniej raz
// każda instrukcja kończy się znakiem ;
} while (wyrażenie warunkowe);
```

Oto przykład odczytu czujnika ciśnienia z krótkim oczekiwaniem, aż wartość wyjściowa się ustabilizuje:

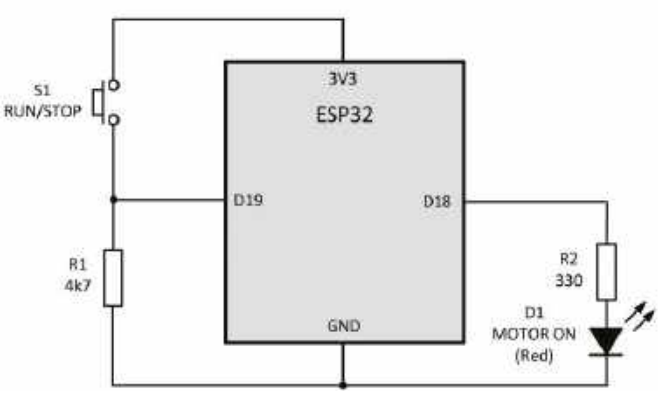
```
x = 0;
do {
delay(100);
// poczekaj, aż wartość się ustabilizuje:
cp = readPressure();// odczyt czujnika ciśnienia
x++;
} while (x < 10);
```

W przykładzie tym wywołujemy funkcję `readPressure()` 10 razy, zanim uzyskamy ostateczną wartość zwracaną przez czujnik.

Instrukcja for

Pętla typu `for` jest szeroko stosowana w niemal każdym języku programowania i język C nie jest tu wyjątkiem. Konstrukcja ta służy do powtarzania instrukcji (lub ciągu instrukcji) tak długo, jak długo jest spełniony warunek. Jeśli warunek stanie się fałszywy, pętla zostanie zakończona, a wykonywanie programu będzie kontynuowane od instrukcji następującej bezpośrednio za pętlą. Pętla `for` jest bardziej rozbudowana niż `while`, ponieważ pozwala w jednym miejscu określić inicjalizację licznika, warunek zakończenia oraz sposób zmiany jego wartości. Jej podstawowa składnia wygląda następująco:

```
for (inicjalizacja pętli; wyrażenie warunkowe; przyrost) {
// instrukcje do wykonania, o ile warunek jest prawdziwy
// każda kończy się ;
}
```



Rysunek 2.25. Sterownik silnika z jednym przyciskiem RUN/STOP o działaniu przełączającym

Podobnie jak w przypadku pętli `while`, do sterowania pętlą `for` używa się zwykle pewnego licznika, który jest zwiększany lub zmniejszany przy każdym wykonaniu pętli. Dzięki temu konstrukcja ta idealnie nadaje się do stosowania w dowolnych sytuacjach wymagających operacji powtarzalnych, na przykład do sprawdzania stanu kilku linii wejścia/wyjścia. Należy pamiętać, że inicjalizacja pętli następuje tylko raz, przed jej pierwszym wykonaniem.

Poniższy fragment programu pokazuje, jak można wysłać zestaw znaków ASCII do monitora szeregowego. Pamiętajmy, że najpierw należy zainicjalizować interfejs portu szeregowego poleceniem w rodzaju `Serial.begin(9600)`. Zauważmy też, że zmienną liczbową i zadeklarowaliśmy bezpośrednio w instrukcji inicjalizującej pętlę.

```
for (int i = 0; i <= 63; i++)
{
testValue = 64 + i;
Serial.print(testValue);
Serial.print(„\n”);
delay(100);
}
```

Struktura programu

Powinniście już teraz orientować się, jak wygląda typowy program i jak jest zbudowany, ale zanim przejdziemy dalej, warto nieco dokładniej wyjaśnić jego układ. Być może zauważyliście, że pierwsze kilka wierszy programu ma zazwyczaj formę nagłówka ujętego w parę znaków `/*` i `*/`, który stanowi blok komentarza. Wszystko pomiędzy tymi dwoma znakami traktowane jest jako zwykły tekst i nie ma wpływu na działanie programu. Można umieścić tutaj różne zapiski o dowolnej liczbie wierszy.

Po bloku komentarza tytułowego następuje zwykle kilka deklaracji zmiennych. Wynika to po prostu z tego, że w języku C zmienne muszą być zawsze zadeklarowane przed ich użyciem. Ściślej mówiąc, deklaracje nie muszą znajdować się na początku programu, tyle że miejsce, w którym są deklarowane (to znaczy ich pozycja w treści programu), może nakładać ograniczenia na zakres, w jakim mogą być używane. Ponieważ używamy na ogół zmiennych o zakresie globalnym (czyli takich, które mogą być używane w dowolnym miejscu), umieszczamy zwykle ich deklaracje przed jakąkolwiek inną częścią programu. Deklaracje obejmują przypisanie zmiennej: typu (patrz poprzedni odcinek), nazwy i (opcjonalnie) wartości początkowej.

Za deklaracjami znajduje się część programu służąca do konfiguracji. Kod ten umieszcza się w funkcji o nazwie `setup()`. Jest on wykonywany tylko raz, na samym początku programu. Funkcja `setup()` służy często do określenia trybów pracy pinów wejścia/wyjścia oraz do skonfigurowania interfejsu portu szeregowego w środowisku IDE. Jeśli działań tych się nie przeprowadza, funkcję `setup()` zwyczajnie pozostawiamy pustą.

Główna część programu jest umieszczona w funkcji `loop()`. Jest to zamknięta pętla, która wykonuje się w nieskończoność (w praktyce – do momentu naciśnięcia przycisku RESET albo do wyłączenia zasilania). Funkcja ta zawiera wywołania innych funkcji, które są wykonywane podczas działania programu.

Każda funkcja ma postać bloku programu wykonywanego za każdym razem, gdy funkcja ta zostaje wywołana. Funkcje mogą być wbudowane w język programowania lub zdefiniowane przez użytkownika. Możliwość ta pozwala rozszerzać podstawową wersję języka i realizować konkretne potrzeby dzięki funkcjom definiowanym przez nas. Funkcje mogą w razie potrzeby wywoływać

eprasa.pl 657e0c02ec

inne funkcje, zarówno zdefiniowane przez użytkownika, jak i wbudowane. Definicje funkcji mają postać jednej lub więcej instrukcji ujętych w nawiasy klamrowe `{ }`. Pamiętajmy, że każda pojedyncza instrukcja musi kończyć się średnikiem `;`

Oprócz wspomnianych wcześniej komentarzy blokowych istnieją komentarze, które można umieszczać na końcu wiersza programu. Składają się one z tekstu umieszczonego po dwóch znakach dzielenia `//`. Jak już wspomniano, komentarze stanowią przydatną wskazówkę do tego, co się dzieje w programie, i okazują się nieocenione przy późniejszym modyfikowaniu i analizowaniu działania programu.

Poprawie czytelności programu służą wcięcia w tekście, zwykle o trzy lub cztery spacje. Przydają się szczególnie wtedy, gdy pewne części programu są zagnieżdżone w innych częściach. Tu wskazówka: samo środowisko IDE może bardzo ładnie uporządkować Wasz kod źródłowy. Wystarczy wybrać opcję Tools, a następnie Auto Format.

Zadanie praktyczne

Drugie zadanie w tym cyklu sprawdzi Wasze umiejętności programistyczne. **Rysunek 2.25** przedstawia uproszczoną wersję sterownika silnika, w której jest tylko jeden przycisk. Przycisk ten ma pełnić funkcję przełącznika – naciskamy go raz, aby uruchomić silnik (RUN), a drugi raz, aby go zatrzymać (STOP). Spróbujcie tak zmodyfikować program z `listingu 2.4`, aby to zrealizować.

Za miesiąc

W przyszłym odcinku przejdziemy do świata analogowego i przyjrzymy się możliwościom wejść i wyjść analogowych modułu ESP32. Przedstawimy sposoby wytwarzania przebiegów analogowych, a w ramach projektu praktycznego zrealizujemy prosty tester baterii. Podczas warsztatów programowania omówimy systemy liczbowe: dwójkowy, ósemkowy i szesnastkowy. ■

Mike Tooley

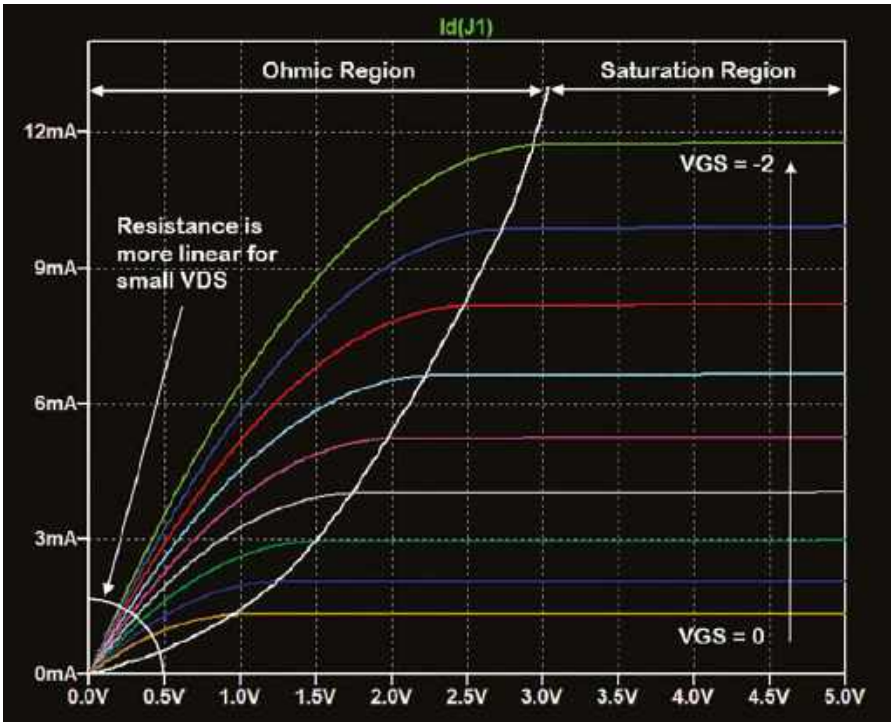
Ten artykuł był wcześniej opublikowany na łamach „Practical Electronics", kwiecień 2024 (www.epemag3.com)

REKLAMA

eprasa.pl 657e0c02ec

Rezystancja sterowana elektronicznie, część 2

W zeszłym odcinku, w części 1, rozpoczęliśmy omawianie działania rezystorów sterowanych elektronicznie. Impulsem do tego było pytanie użytkownika Kintaro, zamieszczone na forum EEWeb.



Rysunek 1. Wykres LTspice przedstawiający obszary pracy tranzystora JFET na rodzinie charakterystyk Id w funkcji V_{DS} przy różnych wartościach V_{GS}. Szczegóły dotyczące symulacji można znaleźć w poprzednim odcinku

Dwa kluczowe podejścia do rezystancji sterowanej elektronicznie to:

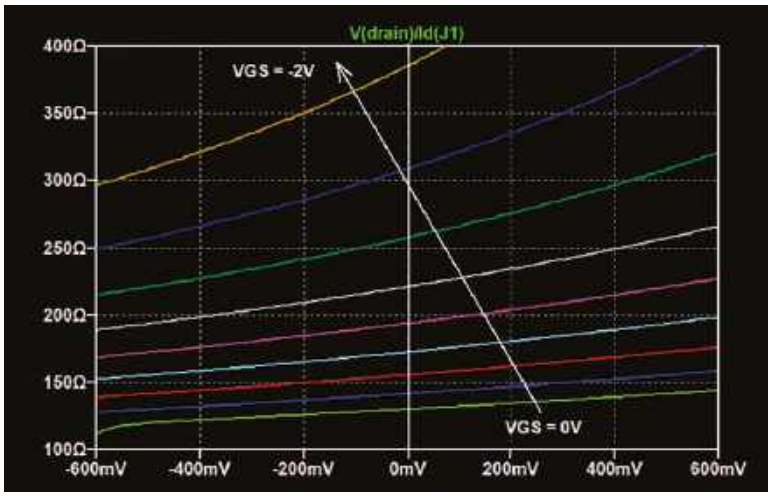
- wykorzystanie tranzystorów, w szczególności typu JFET, jako rezystorów sterowanych napięciem
- wykorzystanie cyfrowych układów scalonych pełniących funkcję potencjometrów, sterowanych przez mikrokontrolery za pośrednictwem standardowej magistrali SPI lub I²C.

W części 1 omówiliśmy kilka konkretnych kwestii poruszonych przez Kintaro i przeanalizowaliśmy właściwości tranzystorów JFET w kontekście ich stosowania jako rezystorów sterowanych napięciem.

W części 2 przyjrzymy się układom wykorzystującym tę technikę do budowy tłumików, w których tranzystory JFET pracują w układach dzielników napięcia.

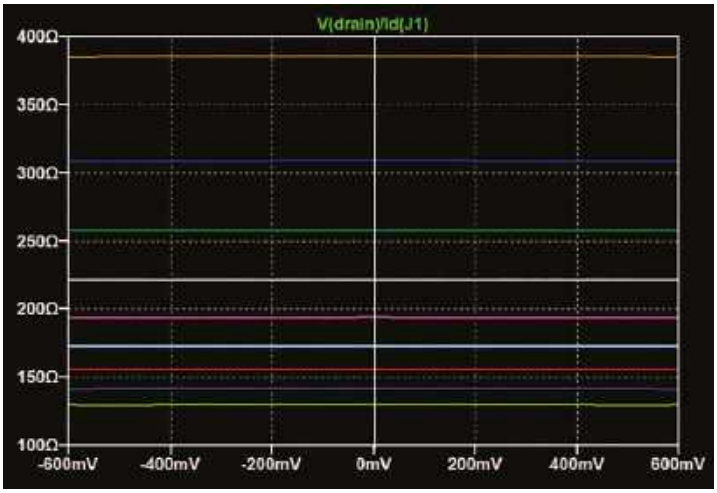
Wiemy już, jak za pomocą programu LTspice sporządzić charakterystyki tranzystora JFET pokazane na **rysunku 1**. Podobne wykresy są często zamieszczane w notach katalogowych tranzystorów polowych. Z rysunku 1 wynika, że charakterystykę tranzystora JFET można podzielić na obszar nasycenia i obszar omowy. W obszarze nasycenia tranzystor JFET działa jak źródło prądowe sterowane napięciem. Znajduje to zastosowanie w układach wzmacniających.

W obszarze omowym tranzystor typu JFET zachowuje się jak rezystor. Wzrost napięcia między drenem a źródłem powoduje wzrost natężenia prądu drenu, przy czym zależność ta jest określona przez napięcie bramka-źródło. Nachylenie krzywych

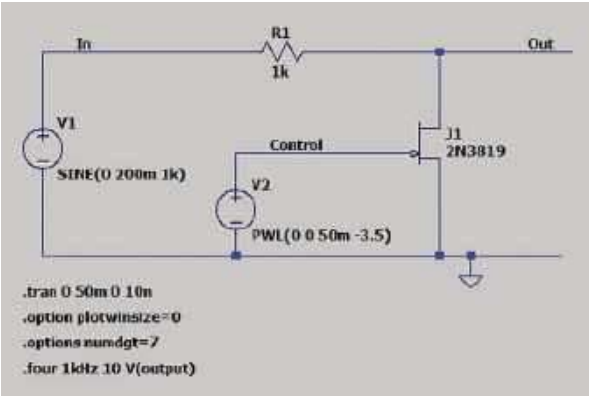


Rysunek 2. Rezystancja dren-źródło tranzystora JFET dla różnych napięć bramka-źródło przy napięciach dren-źródło bliskich zeru (±600 mV) – patrz również rysunek 1

eprasa.pl 657e0c02ec



Rysunek 3. Rezystancja dren-źródło tranzystora JFET dla różnych napięć bramka-źródło przy napięciach dren-źródło bliskich zeru, w układzie ze sprzężeniem zwrotnym (porównaj z rysunkiem 2)



Rysunek 6. Schemat LTspice podstawowego układu tłumika JFET

widocznych na rysunku 1 maleje, a tym samym rezystancja rośnie wraz ze wzrostem wartości napięcia bramka-źródło tranzystora. W przeciwieństwie do zwykłego rezystora wykres natężenia prądu w funkcji napięcia dren-źródło nie jest liniowy. Mimo to w zakresie małych napięć, w obrębie łuku narysowanego w pobliżu początku układu współrzędnych, zależność można uznać za liniową. To właśnie ta część charakterystyki może być wykorzystana do stworzenia rezystora sterowanego napięciem.

Jak wspomniano w zeszłym odcinku i jak pokazano na **rysunku 2**, za pomocą programu LTspice można wyznaczyć zależność rezystancji dren-źródło od napięcia dren-źródło przy różnych wartościach napięcia bramka-źródło. Wynika z tego, że rezystancja tranzystora JFET zmienia się w zakresie od około 130 Ω do 390 Ω przy zmianach napięcia bramka-źródło od 0 V do –2 V (przy V_{DS} = 0 V). Wykresy widoczne na rysunku 1 i rysunku 2 dotyczą tranzystorów JFET z kanałem typu n. Do sterowania rezystancją wymagane są ujemne wartości napięcia bramka-źródło. W przypadku stosowania tranzystorów JFET z kanałem typu p wymagane są dodatnie wartości napięcia bramka-źródło.

Analiza wyznaczonych charakterystyk

Z rysunku 2 wynika, że w zakresie napięć dren-źródło wynoszącym ±600 mV rezystancja tranzystora zachowuje względną liniowość, która poprawia się przy niższych wartościach napięcia bramka-źródło. Zarówno w przypadku tranzystorów z kanałem typu n, jak i p napięcie dren-źródło może mieć dowolną polaryzację. Na rysunku 2 widoczne są zarówno dodatnie, jak i ujemne wartości napięcia dren-źródło, co oznacza, że do takiego rezystora sterowanego napięciem można doprowadzić sygnał przemienny o zerowej składowej stałej.

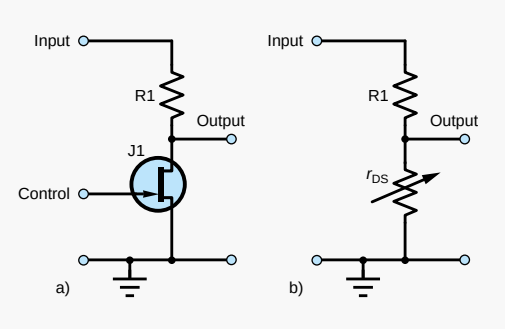
Wykres przedstawiony na rysunku 2 dotyczy tranzystora JFET typu 2N3819. Przedstawione wartości będą się różnić dla innych typów, jednak będą wykazywać podobną zależność. Typ 2N3819 nie został wybrany celowo, był po prostu pierwszym tranzystorem na liście elementów w programie LTspice. Zakres rezystancji dla różnych tranzystorów JFET może się znacznie różnić, od setek omów do kilku kiloomów. Kluczowym parametrem każdego tranzystora jest rezystancja dren-źródło przy V_{GS} = 0 V, która zależy od jego fizycznej struktury. Nota katalogowa Vishay Siliconix dla 2N3819 podaje typową wartość wynoszącą 150 Ω przy prądzie drenu równym 1 mA, co oznacza, że V_{DS} wynosi 150 mV. Jest to wynik zbliżony do tego, co widzimy na rysunku 2. Jednak nie wszystkie noty katalogowe dotyczące 2N3819 podają tę wartość bezpośrednio. Zastosowanie innych tranzystorów JFET oznacza potencjalnie inne wartości rezystancji dren-źródło, w efekcie czego może zaistnieć konieczność zmiany wartości innych elementów.

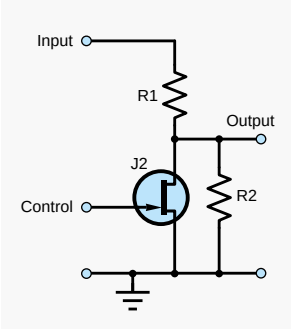
Jak wspomniano w zeszłym odcinku, fakt, że rezystancja między drenem a źródłem zmienia się wraz ze zmianami napięcia V_{DS}, oznacza, że układy wykorzystujące rezystory sterowane napięciem, oparte na tranzystorach JFET, powodują zniekształcenia sygnału. W konsekwencji konieczne jest obniżenie amplitudy regulowanego sygnału do kilkuset miliwoltów, co z kolei może prowadzić do pogorszenia stosunku sygnału do szumu. Jak pokazaliśmy w poprzednim odcinku, nieliniowość układu można zmniejszyć przez zastosowanie sprzężenia zwrotnego.

Na **rysunku 3** przedstawiono wykresy rezystancji tranzystora JFET dla napięć bramka-źródło zmienianych w zakresie od 0 do –2 V w krokach co 0,25 V. Widać, że krzywe dla poszczególnych wartości V_{GS} nie są rozmieszczone w równych odstępach. Świadczy to o tym, że zależność między napięciem sterującym a rezystancją również nie jest liniowa. Ponadto mogą wystąpić znaczne odchyłki nawet dla tranzystorów tego samego typu.

Tłumik sterowany napięciem

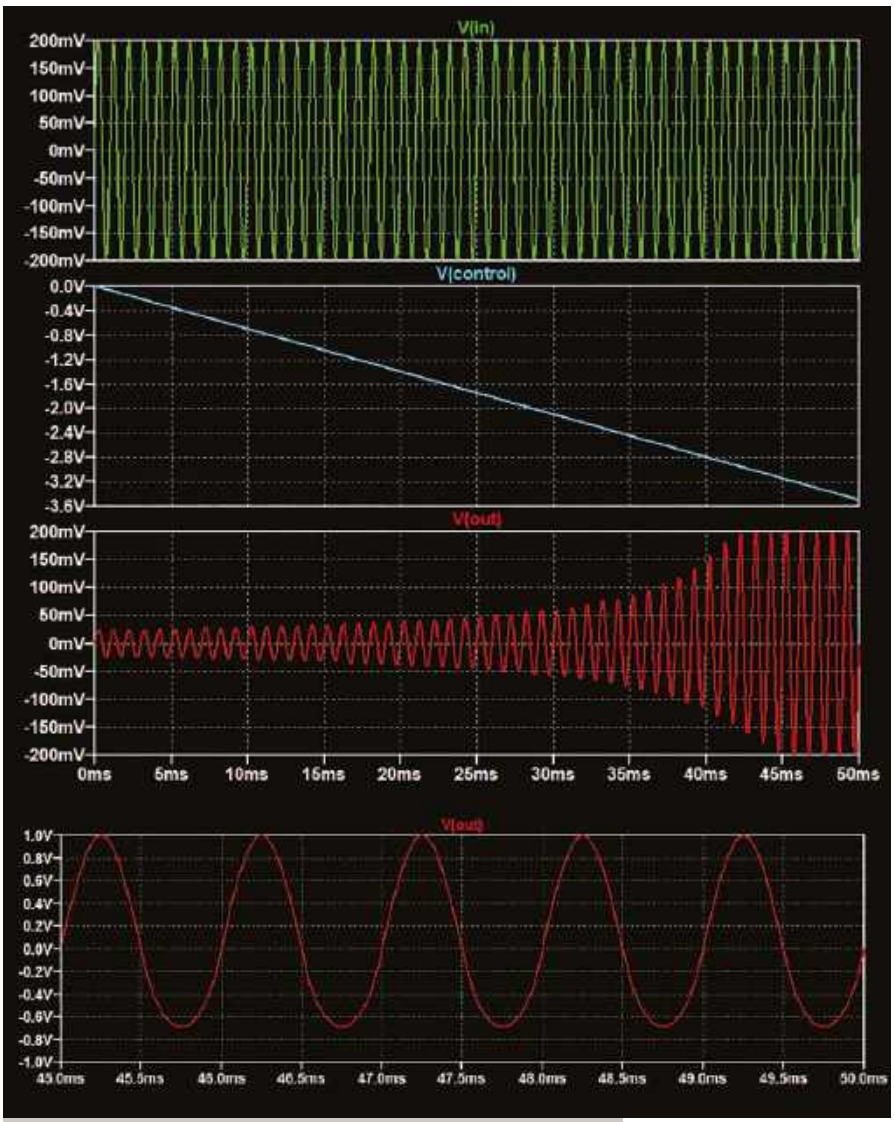
Podstawowym obszarem zastosowań rezystorów sterowanych napięciem opartych na tranzystorach JFET są tłumiki sterowane



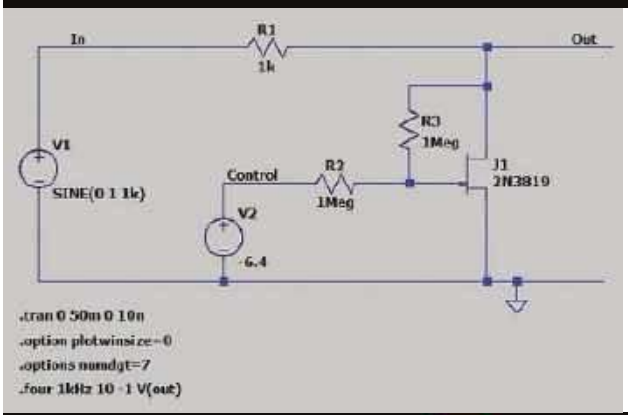


Rysunek 4. (po lewej) (a) Podstawowy układ tłumika JFET. (b) Układ równoważny dzielnika napięcia
Rysunek 5. (po prawej) Tłumik JFET z równoległym rezystorem R2

eprasa.pl 657e0c02ec

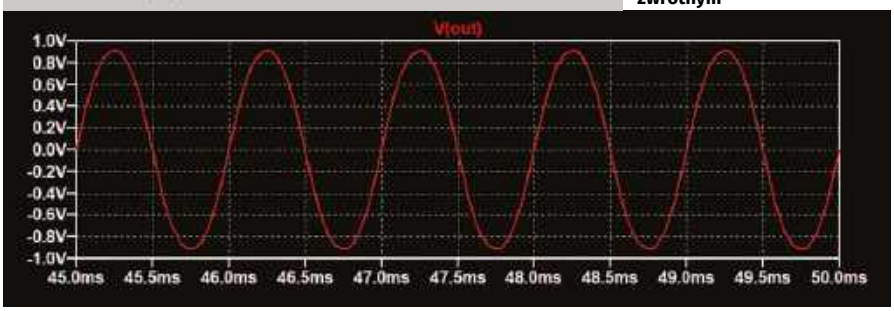


Rysunek 7. Wyniki symulacji w programie LTspice układu tłumika JFET z rysunku 6



Rysunek 8. Zniekształcenia na wyjściu tłumika JFET

Rysunek 9. Schemat LTspice tłumika JFET ze sprzężeniem zwrotnym



napięciem, w których tranzystory JFET stanowią część dzielnika napięcia. Najprostszą postać takiego układu przedstawiono na **rysunku 4**. Napięcie wyjściowe oblicza się według wzoru:

$$V_{out} = \left(\frac{r_{DS}}{R_1 + r_{DS}}\right) V_{in}$$

Amplituda sygnału wyjściowego może się zmieniać od najniższej wartości, występującej, gdy tranzystor jest w stanie silnego przewodzenia (przy V_{GS} = 0 V), do wartości zbliżonej do amplitudy sygnału wejściowego, gdy tranzystor JFET zostanie wyłączony przez przyłożenie dużego ujemnego napięcia między bramką a źródłem. Maksymalną amplitudę sygnału wyjściowego można ograniczyć, dodając rezystor R2 połączony równolegle z tranzystorem JFET, jak pokazano na **rysunku 5**. Amplitudę sygnału wyjściowego można obliczyć, podstawiając do wzoru wartość rezystancji wynikającą z równoległego połączenia tranzystora z rezystorem R2. W poprzednim odcinku omówiliśmy równoległe połączenia rezystorów sterowanych napięciem i rezystorów stałych.

Jeśli w dzielniku widocznym na rysunku 5 rezystancja R2 będzie znacznie większa od R1, to maksymalna amplituda sygnału wyjściowego będzie niemal równa amplitudzie sygnału wejściowego, ale za to wyjście nie będzie stanowiło obwodu otwartego, gdy tranzystor JFET zostanie wyłączony. Może to być istotne w zastosowaniach, w których otwarte wyjście nie jest pożądane dla elementów podłączonych do tłumika.

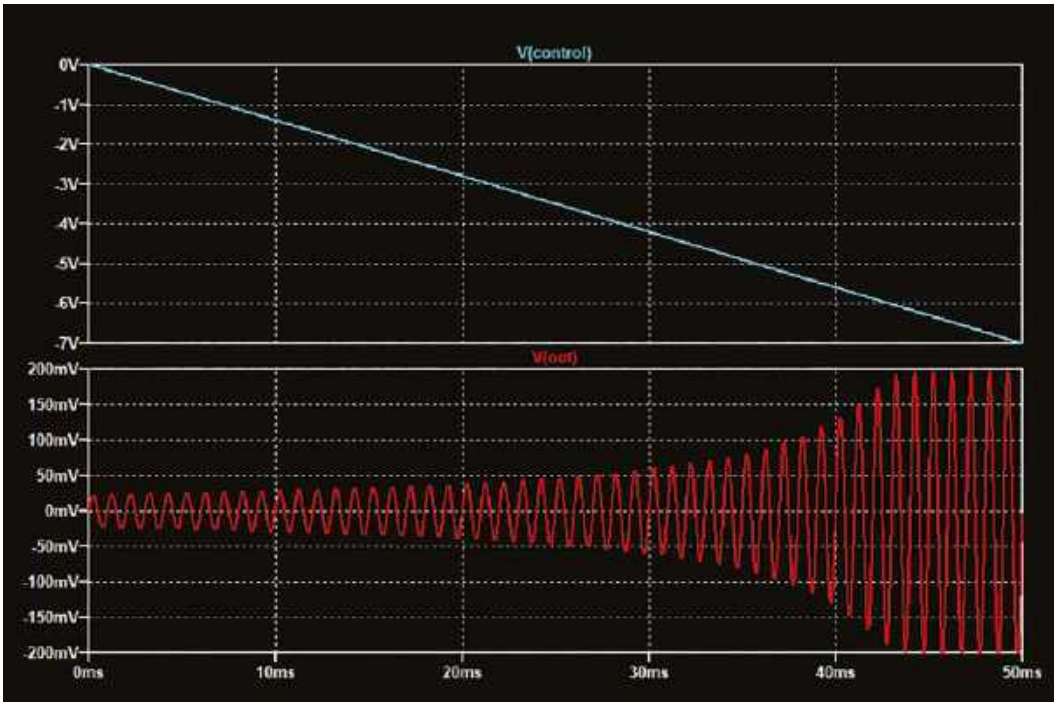
Symulacja tłumika

Na **rysunku 6** przedstawiono schemat układu służącego do badania tłumika opartego na tranzystorze JFET, utworzony w programie LTspice. Sinusoidalny sygnał wejściowy ma częstotliwość 1 kHz, a napięcie sterujące jest liniowo zwiększane w zakresie od 0 V do –3,5 V w ciągu 50 ms. Zastosowano następujące dyrektywy SPICE:

```
.tran 0 50m 0 10n
.option plotwinsize=0
.options numdgt=7
.four 1 kHz 10 V(output)
```

Rysunek 10. Sygnał wyjściowy z tłumika JFET ze sprzężeniem zwrotnym (układ z rysunku 9). Zniekształcenia są mniejsze w porównaniu z widocznymi na rysunku 8

eprasa.pl 657e0c02ec



Rysunek 11. Wyniki symulacji układu z rysunku 9 przy napięciu wejściowym 200 mV i napięciu sterującym zmieniającym się od 0 do –7 V

Dla ułatwienia analizy wyników w obliczeniach FFT (szybkiej transformaty Fouriera) zastosowano minimalny krok czasowy wynoszący 10 ns. Sposób prowadzenia analizy fourierowskiej w programie LTspice omówiono w numerze z lipca 2022 r., dlatego nie będziemy tutaj wracać do szczegółów. Jeśli tak dokładna analiza nie jest wymagana, krok czasowy można zwiększyć, aby skrócić czas obliczeń i zmniejszyć objętość pliku.

Wyniki symulacji układu przedstawionego na rysunku 6 pokazano na **rysunku 7**. Sinusoidalny sygnał wejściowy ma stałą wartość szczytową równą 200 mV. W przeciwieństwie do przebiegu napięcia sterującego obwiednia amplitudy sygnału wyjściowego nie jest linią prostą. Zależność między napięciem sterującym a amplitudą sygnału wyjściowego nie jest liniowa. Sygnał wyjściowy osiąga swoją maksymalną wartość, równą wartości wejściowej, dla napięć sterujących poniżej około –3,2 V. Należy zauważyć, że przebieg wyjściowy nie jest symetryczny, szczególnie przy poziomach przekraczających 100 mV. Wynika to z niesymetrycznych zmian rezystancji tranzystora JFET podczas wahań sygnału wokół zerowego napięcia dren-źródło (patrz rysunek 2). W przypadku niskich napięć sterujących zależność poziomu sygnału wyjściowego od napięcia sterującego jest niewielka, więc ograniczenie zakresu zmian napięcia sterującego może być korzystne.

Minimalna wartość szczytowa sygnału wyjściowego wynosi około 23 mV i występuje, gdy napięcie sterujące jest zerowe. Można to stwierdzić, powiększając początkowy fragment krzywej V(out) i używając kursorów. Przekształcając równanie opisujące działanie dzielnika napięcia w następujący sposób:

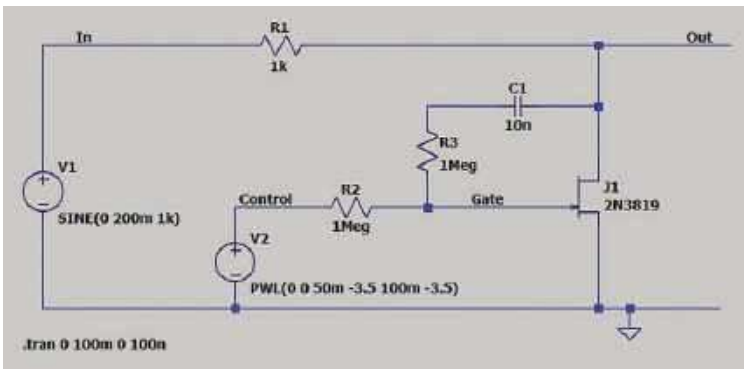
$$r_{DS} = R_1\left(\frac{V_{out}}{V_{out}-V_{in}}\right)$$

możemy obliczyć wartość rezystancji dren-źródło w tym punkcie jako 1000×23/(200–23)=130 Ω, co zgadza się z wartością przedstawioną na rysunku 2 dla V_{GS} = 0 V.

Zniekształcenia

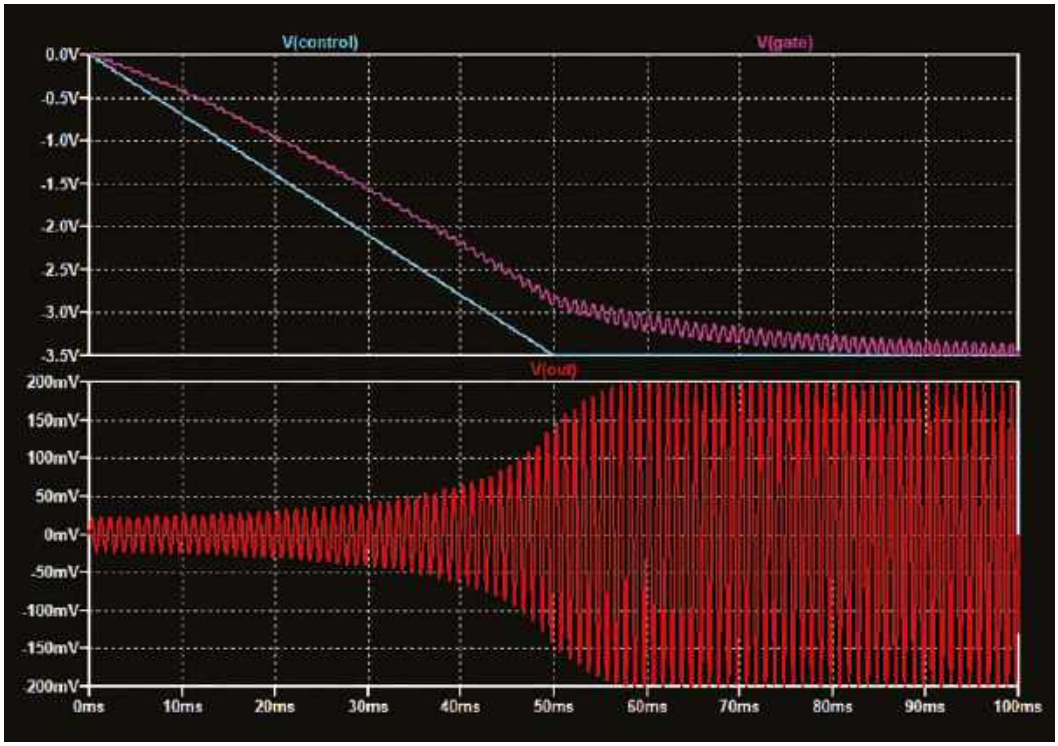
Chociaż obwiednia sygnału wyjściowego widoczna w dolnym okienku na rysunku 7 wygląda na asymetryczną, po rozwinięciu przebiegu sinusoidalnego zniekształcenia są trudno zauważalne. Jeśli zwiększymy wartość szczytową napięcia wejściowego do 1 V, stają się one wyraźniejsze, patrz **rysunek 8**. Analiza zniekształceń harmonicznych w programie LTspice wskazuje dla tego sygnału wartość THD na poziomie 10%. Symulację przeprowadzono po zastąpieniu źródła napięcia sterującego V2 źródłem napięcia stałego o wartości –3,2 V.

Jak wspomniano w zeszłym odcinku, poziom zniekształceń można zmniejszyć poprzez zastosowanie sprzężenia zwrotnego, czyli przez doprowadzenie części napięcia dren-źródło do bramki tranzystora. Osiąga się to za pomocą dwóch rezystorów tworzących dzielnik napięcia. Rezystory użyte w gałęzi sprzężenia zwrotnego muszą mieć duże wartości, aby zapobiec obciążeniu toru sygnałowego. Ponieważ bramka ma bardzo wysoką rezystancję wejściową, obwód sprzężenia zwrotnego wykorzystujący duże rezystory nie zostanie przez nią obciążony. Dodanie elementów sprzężenia zwrotnego do układu z rysunku 6 powoduje powstanie układu z **rysunku 9**. Parametry źródła sygnału sterującego zostały zmodyfikowane tak, aby uzyskać ten sam poziom sygnału wyjściowego jak na rysunku 8. Maksymalna wartość napięcia sterującego została podwojona do –6,4 V, a dzielnik napięcia utworzony przez R2 i R3 powoduje jej ponowne zmniejszenie o połowę, a także zapewnia sprzężenie zwrotne przez podanie połowy napięcia wyjściowego na bramkę tranzystora. Wykres przebiegu wyjściowego w warunkach podobnych do tych z rysunku 8 pokazano na **rysunku 10**.



Rysunek 12. Tłumik JFET z pojemnościowym sprzężeniem zwrotnym

eprasa.pl 657e0c02ec



Rysunek 13. Wyniki symulacji układu przedstawionego na rysunku 12

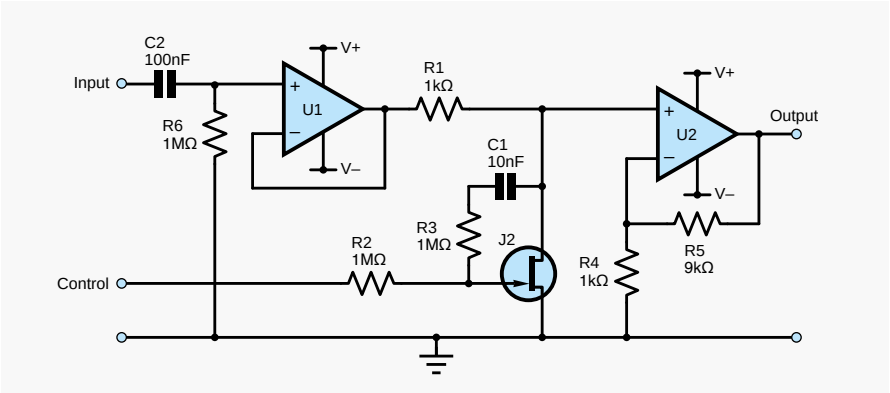
Zniekształcenia są znacznie mniej widoczne, a ich poziom obliczony przez program LTspice wynosi 2,7%.

Możemy również przeprowadzić test narastania napięcia sterującego dla tego układu, ponownie zmniejszając wartość V1 do 200 mV i stosując końcowe napięcie sterujące równe –7 V, aby uwzględnić efekt dzielenia napięcia przez rezystory sprzężenia zwrotnego. Parametry V2 ustawiono na PWL(0 0 50m –7). Wyniki symulacji przedstawiono na **rysunku 11**. Zakres zmian amplitudy sygnału wyjściowego jest taki sam jak na rysunku 7, ale przebieg jest bardziej symetryczny.

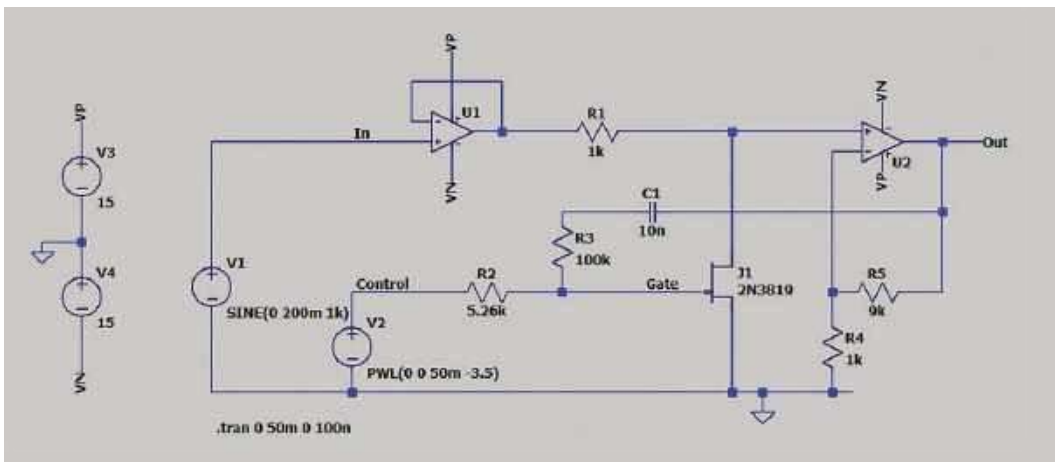
Sprzężenie zwrotne

Aby zmniejszyć poziom zniekształceń, należy objąć sprzężeniem zwrotnym jedynie składową zmienną sygnału wejściowego. Można to osiągnąć poprzez zastosowanie dodatkowego kondensatora, jak pokazano na **rysunku 12**. W przedstawionym układzie, przy R = 2 MΩ i C = 10 nF, stała czasowa wynosi 20 ms, więc reakcja na zmiany napięcia sterującego jest opóźniona. Parametry dotyczące napięcia sterującego w układzie z rysunku 12 są skonfigurowane tak jak na rysunku 6. Napięcie maleje od 0 do –3,5 V. Podwojenie wartości napięcia sterującego zastosowane w układzie z rysunku 9 nie jest wymagane, ponieważ przepływ prądu stałego jest blokowany przez kondensator umieszczony w gałęzi sprzężenia zwrotnego.

Wyniki symulacji układu przedstawionego na rysunku 12 pokazano na **rysunku 13**. Czynnikiem wpływającym na zmiany tłumienia jest napięcie stałe doprowadzone do wejścia sterującego. Na rysunku jest to linia w kolorze błękitnym. Faktyczne napięcie na bramce tranzystora JFET zawiera także składową zmienną nałożoną na przebieg sterujący. Zmiana wartości napięcia stałego na bramce następuje z opóźnieniem o około 100 ms względem wejściowego napięcia sterującego. Kształt obwiedni sygnału

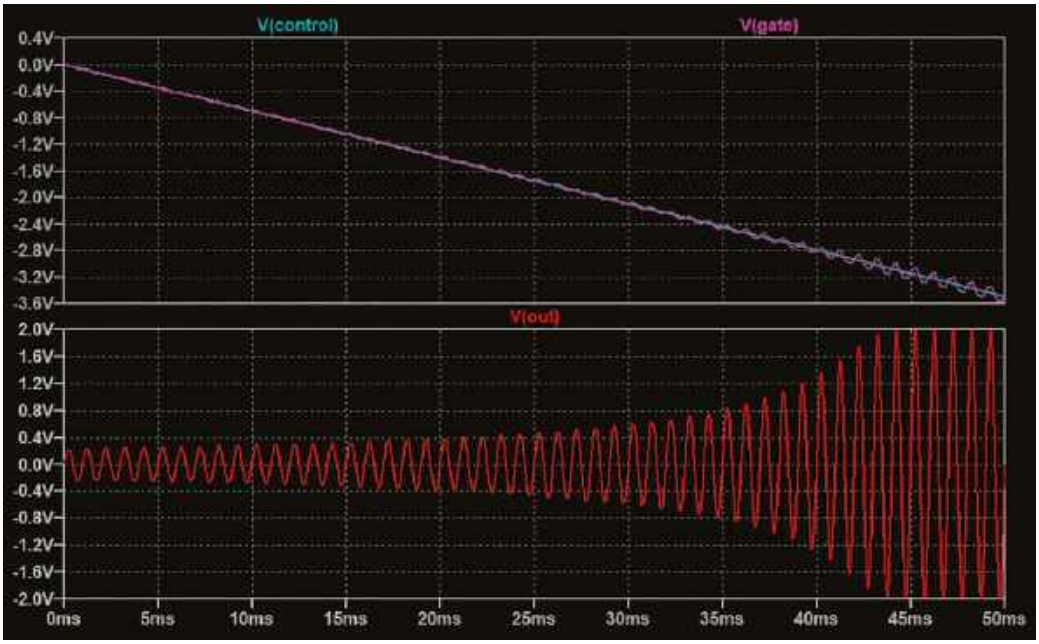


Rysunek 14. Przykład wzmacniacza sterowanego napięciem opartego na tłumiku JFET



Rysunek 15. Wykorzystanie wyjścia wzmacniacza operacyjnego jako źródła sygnału sprzężenia zwrotnego dla tłumika JFET

eprasa.pl 657e0c02ec



Rysunek 16. Wyniki symulacji układu z rysunku 15

różni się od pokazanego na rysunku 7 i rysunku 11 w pierwszych 50 ms, ponieważ napięcie na bramce nie nadąża już dokładnie za napięciem sterującym. W porównaniu z rysunkiem 7 sprzężenie zwrotne zmniejsza asymetrię sygnału wyjściowego, co widać na rysunku 11.

Jeśli do wejścia sterującego zostanie doprowadzony skok napięcia, napięcie stałe na bramce wzrośnie o połowę jego wartości, a następnie będzie się zmieniać zgodnie z krzywą ładowania kondensatora. Powolna reakcja układu na zmiany napięcia sterującego może stanowić problem w niektórych zastosowaniach. Gwałtowne zmiany napięcia sterującego mogą również oddziaływać na sygnał wyjściowy.

Dodanie wzmacniaczy operacyjnych

Tłumiki JFET są powszechnie stosowane w połączeniu ze wzmacniaczami operacyjnymi w celu buforowania sygnału wyjściowego i zapewnienia odpowiedniej wartości wzmocnienia, a niekiedy również buforowania sygnału wejściowego. Stosowny przykład pokazano na **rysunku 14**, na którym widoczny jest bufor wejściowy o wzmocnieniu równym 1, zbudowany na układzie U1. Jest on przydatny, gdyż impedancja wejściowa tłumika, na którą składa się sumaryczna rezystancja rezystora R1 i tranzystora JFET, jest niska i mogłaby nadmiernie obciążać źródło sygnału. Sygnał wyjściowy z tłumika JFET jest wzmacniany przez wzmacniacz operacyjny U2 pracujący w układzie nieodwracającym, o wzmocnieniu równym 10. Gdy napięcie sterujące jest mniejsze od –3,2 V, cały sygnał wejściowy jest przekazywany na wyjście, więc maksymalne wzmocnienie układu wynosi 10. Maksymalne tłumienie występuje przy najmniejszej wartości rezystancji dren-źródło, która w tym przypadku wynosi 130 Ω, co daje tłumienie równe 130/(1000+130)=0,115, zgodnie ze wzorem na dzielnik napięcia. Minimalne wzmocnienie całego układu wynosi zatem: 0,115×10=1,15

Użycie wzmacniacza operacyjnego podłączonego do wyjścia tłumika pozwala zmodyfikować gałąź sprzężenia zwrotnego. Niska impedancja wyjściowa tego wzmacniacza pozwala na zastosowanie rezystorów o mniejszych wartościach, co skraca stałą czasową w obwodzie sprzężenia zwrotnego i eliminuje niekorzystny podział napięcia sterującego.

Na **rysunku 15** przedstawiono schemat układu utworzony w programie LTspice na podstawie przykładu z rysunku 14. Ponieważ do bramki tranzystora należy doprowadzić połowę sygnału występującego na jego drenie, a sygnał ten podlega dziesięciokrotnemu wzmocnieniu, sygnał wyjściowy należy podzielić w proporcji 0,05. Uzyskuje się to przy użyciu dzielnika złożonego z rezystorów R2 i R3 o wartościach 5,26 kΩ i 100 kΩ. Dla zastosowanych wartości uzyskujemy 5,26 kΩ/(100 kΩ + 5,26 kΩ) = 0,04997, co jest wartością bardzo zbliżoną do wymaganej. Wyniki symulacji przedstawiono na **rysunku 16**. Wynika z nich, że napięcie bramki prawidłowo nadąża za narastającym napięciem sterującym, w przeciwieństwie do tego, co widzimy na rysunku 13. ■

Ian Bell

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

REKLAMA

eprasa.pl 657e0c02ec

KickStart

Część 12: Twój pierwszy oscyloskop

Nasza okazjonalna seria KickStart ma na celu pokazanie czytelnikom, jak wykorzystywać łatwo dostępne, niedrogie elementy i urządzenia do rozwiązywania szerokiej gamy typowych problemów w możliwie najkrótszym czasie. Każdy z przykładów i projektów można zrealizować przy użyciu gotowych podzespołów w czasie nie dłuższym niż kilka godzin. Oprócz krótkiego objaśnienia podstawowych zasad i zastosowanych technik seria dostarczy wielu reprezentatywnych rozwiązań i przykładów wraz z wystarczającą liczbą informacji, aby można je było dostosować i rozszerzyć do własnych potrzeb.

Niniejsza, dwunasta część serii różni się od poprzednich, ponieważ jest poświęcona prezentacji przyrządu pomiarowego, który w miarę rozwoju zainteresowań elektroniką jego posiadacza stanie się bez wątpienia niezastąpiony. Przedstawiamy kilka cennych wskazówek dla osób, które zamierzają kupić swój pierwszy oscyloskop lub planują w najbliższej przyszłości modernizację posiadanego sprzętu.

Mój pierwszy oscyloskop wspominam bardzo miło. Przyrząd ten, zbudowany ponad 60 lat temu na kuchennym stole, był dosyć niebezpieczny dla otoczenia. Zawierał 3,5-calową lampę oscyloskopową VCR138 pochodzącą z nadwyżek wojskowych, lampy elektronowe z cokołami oktalowymi i zasilacz wysokiego napięcia 1,2 kV. Pomimo trudności związanych z montażem przyrząd ten okazał się prawdziwym objawieniem. Pozwolił mi zrozumieć, co się dzieje wewnątrz układów, z którymi eksperymentowałem. Nic dziwnego, że szybko przekonałem się, iż oscyloskop stanie się stałym elementem mojego stanowiska pomiarowego. Upojony sukcesem zabrałem się za projektowanie ulepszonej wersji z 5-calową lampą VCR97 i jeszcze bardziej niebezpiecznym zasilaczem 2 kV!

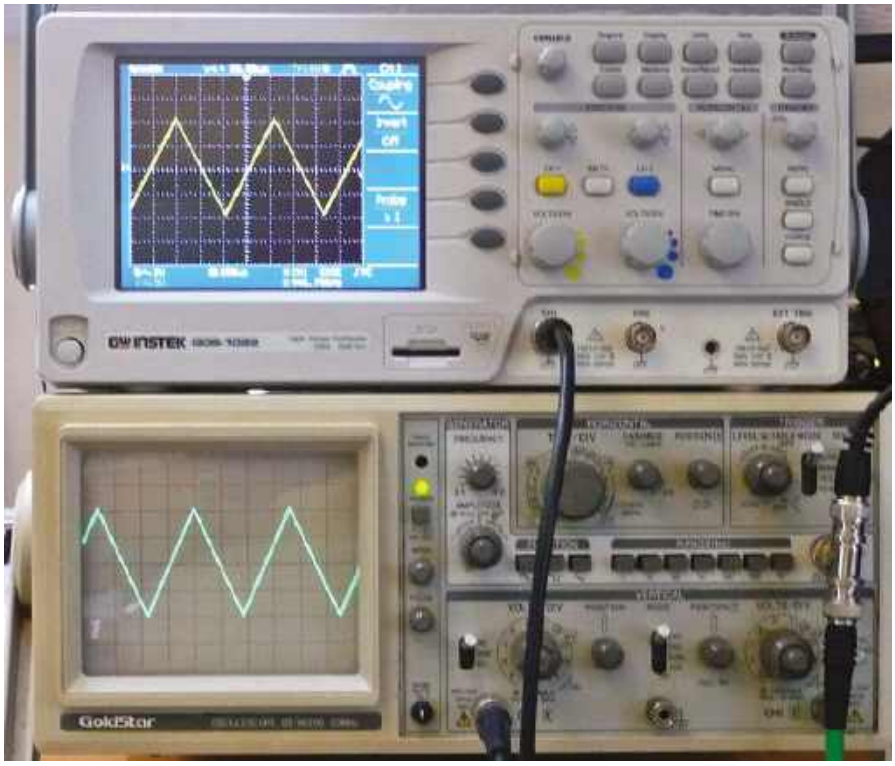
Od tego czasu przetestowałem ponad dwadzieścia oscyloskopów różnych typów i klas – zarówno takich kosztujących zaledwie nieco ponad sto złotych, jak i kilku o cenie znacznie przekraczającej 25 tysięcy złotych.

Mój obecny zestaw obejmuje szybki oscyloskop cyfrowy z pamięcią (DSO), uniwersalny oscyloskop USB (podłączany do komputera stacjonarnego, laptopa, tabletu czy telefonu) oraz trzy starsze modele z lampami oscyloskopowymi, zdobiące półki w moim warsztacie.

Do czego służy oscyloskop?

Zanim opiszemy szeroką gamę przyrządów, które można rozważać jako kandydatów na „pierwszy oscyloskop", warto zastanowić się, co ten przyrząd potrafi i do czego może się przydać. Najważniejsze jest to, że oscyloskop może dostarczyć mnóstwo informacji o tym, co dzieje się wewnątrz obwodu. Pozwala niejako „zajrzeć do obwodu", wyświetlając przebiegi występujących tam sygnałów i napięć. Oscyloskopy mogą być używane w wielu różnych sytuacjach, między innymi do:

- Wyświetlania przebiegów sygnałów. Kształt przebiegu może wskazywać na nieliniowość i występowanie zniekształceń, a także na obecność szumów, niepożądanych harmonicznych i innych pasożytniczych składowych sygnału.
- Pomiaru amplitudy sygnału (wartości szczytowej lub międzyszczytowej).
- Pomiaru częstotliwości/okresu sygnału.



Fotografia 1. Na górze: cyfrowy oscyloskop z pamięcią; na dole: tradycyjny oscyloskop analogowy, oba wyświetlają ten sam przebieg

eprasa.pl 657e0c02ec

- Pomiaru opóźnienia czasowego oraz czasów narastania i opadania impulsów prostokątnych.
- Pomiaru przesunięcia fazowego i różnicy faz między sygnałami.
- Pomiaru poziomów i przesunięć składowej stałej nałożonej na sygnały zmienne (oscyloskopem można też wykonywać pomiary napięcia stałego, ale do tego znacznie lepiej sprawdzi się zwykły woltomierz).
- Badania stanów przejściowych i innych niepowtarzających się zjawisk krótkotrwałych.
- Obserwacji dryftu i innych zmian długotrwałych, mogących wpływać na parametry sygnału (amplitudę, częstotliwość i fazę).

Wybór modelu

Dla większości entuzjastów elektroniki zakup oscyloskopu stanowi poważną i długoterminową inwestycję. Dlatego warto dokładnie przemyśleć swój wybór, biorąc pod uwagę kilka czynników, z których najważniejszym jest uwzględnienie obecnych i przyszłych wymagań dotyczących testów i pomiarów. Niestety, ze względu na dużą różnorodność oferowanych funkcji, parametrów, rodzajów wyświetlaczy i układów elementów sterujących wybór odpowiedniego modelu bywa trudny.

Można wyróżnić następujące główne kategorie oscyloskopów:

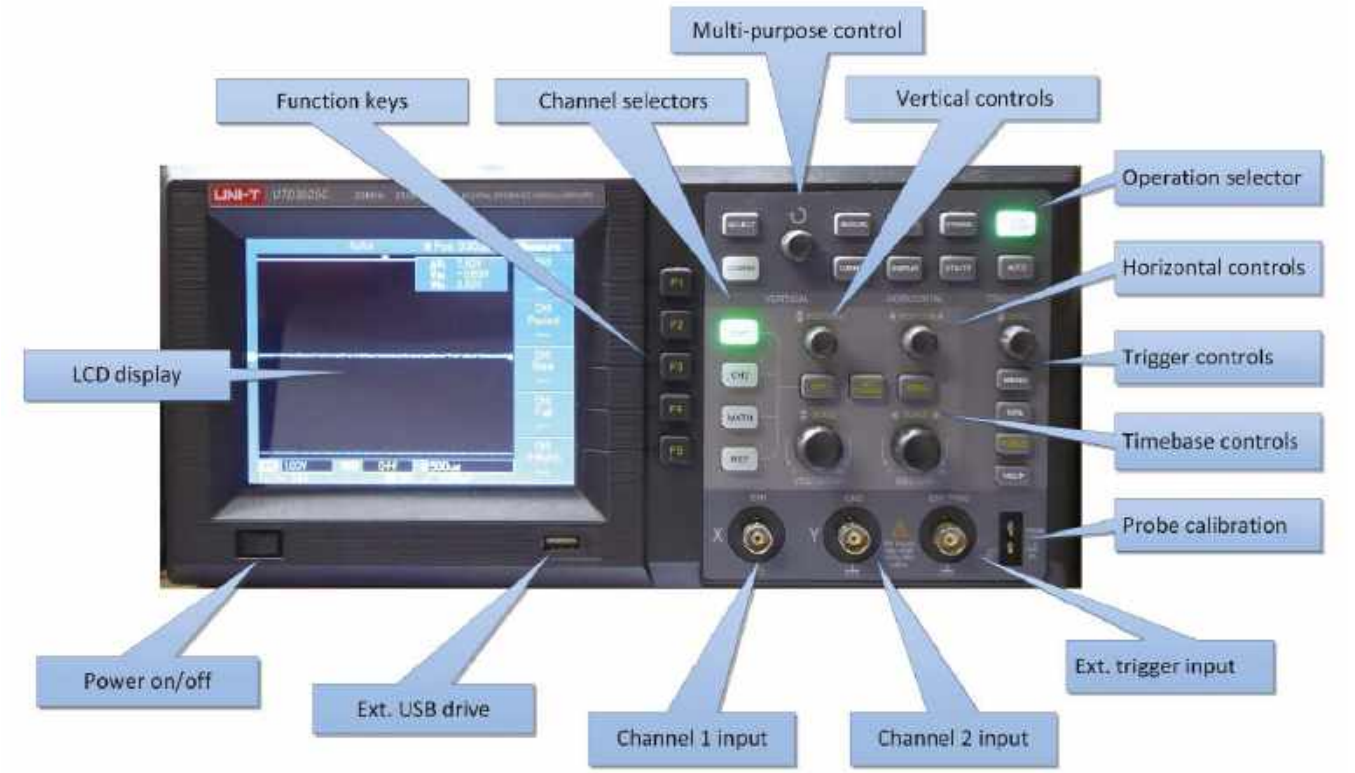
- Samodzielne oscyloskopy cyfrowe z pamięcią (DSO), w wersji stacjonarnej i przenośnej.
- Oscyloskopy DSO podłączane przez USB do komputera stacjonarnego, laptopa lub tabletu.
- Oprogramowanie oscyloskopowe wykorzystujące kartę dźwiękową komputera stacjonarnego, laptopa lub tabletu.
- Stare oscyloskopy analogowe oparte na lampach oscyloskopowych (CRT).

W ramach każdej z tych głównych kategorii istnieje szereg podkategorii. Na przykład: oscyloskopy wielokanałowe, oscyloskopy o wysokiej rozdzielczości, oscyloskopy z wbudowanymi generatorami sygnałów/przebiegów oraz oscyloskopy dedykowane do zastosowań w motoryzacji i innych specjalistycznych zastosowań.

Oscyloskopy cyfrowe DSO stanowią efekt współdziałania sprzętu i oprogramowania. Realizują wszystkie funkcje tradycyjnego oscyloskopu oraz szereg funkcji dodatkowych, takich jak analiza widma, rejestrowanie danych oraz cyfrowe pomiary napięcia, czasu i częstotliwości. Oscyloskop cyfrowy może uzupełniać – oraz w wielu przypadkach zastępować – inne przyrządy pomiarowe. Jednak pomimo tych zalet przed podjęciem decyzji o zakupie oscyloskopu cyfrowego warto rozważyć kilka rozwiązań alternatywnych.

Bardzo opłacalnym rozwiązaniem może być stary oscyloskop z lampą obrazową (CRT). Takie przyrządy, dostępne w dużych ilościach na rynku wtórnym, mogą zapewnić doskonałe parametry za niską cenę. Jednak raczej nie będą wyposażone w takie funkcje jak zapamiętywanie przebiegów, wyświetlanie danych pomiarowych na ekranie czy automatyczna regulacja nastaw. Inną kwestią, o której warto wspomnieć, są stosunkowo duże wymiary i masa oscyloskopów CRT w porównaniu z nowoczesnymi oscyloskopami DSO. Jeśli te ograniczenia nie stanowią problemu, oscyloskop analogowy z rynku wtórnego może się okazać dobrym i niedrogim wyborem.

Inną alternatywą może być oscyloskop cyfrowy USB. Taki niedrogi przyrząd stanowi zgrabną alternatywę dla nieporęcznych i stosunkowo drogich przyrządów stacjonarnych. Obecnie oscyloskop o paśmie 200 MHz i szybkości próbkowania 1 GS/s można wraz z sondami i akcesoriami zmieścić w torbie na laptopa. Dzięki aktualizacjom oprogramowania udostępnianym przez producenta i wsparciu społeczności użytkowników można dodawać do oscyloskopu nowe funkcje.



Rysunek 1. Elementy sterujące i regulacyjne typowego niedrogiego dwukanałowego oscyloskopu cyfrowego. Przyrząd ten ma pasmo 25 MHz, częstotliwość próbkowania 250 MS/s, rozdzielczość 8 bitów i jest wyposażony w wyświetlacz LCD o przekątnej 145 mm (5,7 cala) i rozdzielczości 320×240

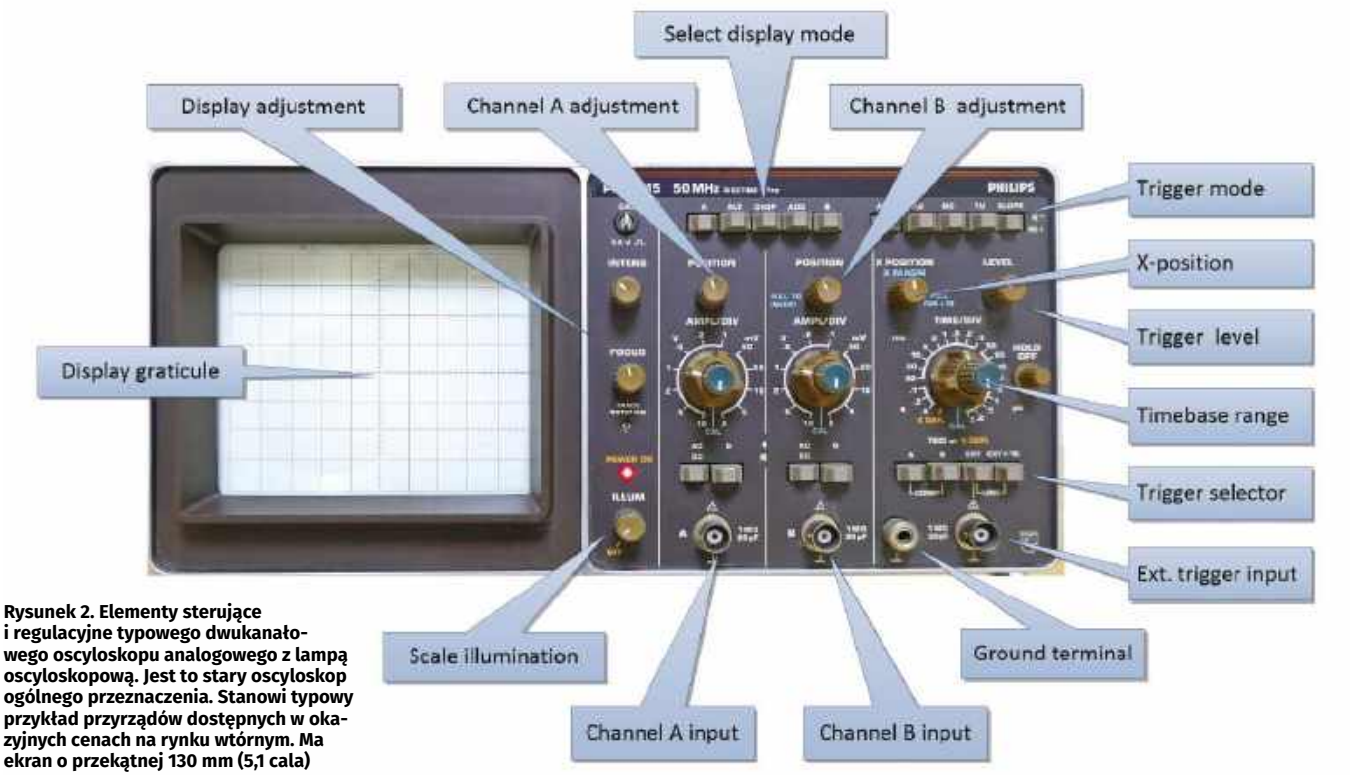
eprasa.pl 657e0c02ec

Natomiast jeśli jesteś zainteresowany wyłącznie wyświetlaniem przebiegów o częstotliwościach akustycznych w ograniczonym zakresie częstotliwości (na przykład 100 Hz...10 kHz), to realną alternatywą dla wymienionych powyżej rozwiązań będzie oscyloskop oparty na karcie dźwiękowej komputera osobistego. Wysokiej jakości karta dźwiękowa z szybkim próbkowaniem i niskim poziomem szumów zapewni znakomite wyniki. Taki oscyloskop będzie jednak wymagał jakiegoś sposobu kalibracji (patrz podrozdział Pierwsze kroki). Nie należy również zapominać, że oscyloskopy oparte na karcie dźwiękowej mogą świetnie działać w przypadku przebiegów powtarzających się, ale podczas wyświetlania nieregularnych przebiegów i impulsów kłopoty może sprawiać wyzwalanie. Pomiary czasów narastania i opadania sygnału będą prawie na pewno bardzo niedokładne. Kolejna uwaga: impedancja wejściowa karty dźwiękowej wynosi zazwyczaj około 50 kΩ. Jest to wartość znacznie niższa niż standardowa impedancja 1 MΩ konwencjonalnego oscyloskopu.

Pytania, na które trzeba sobie odpowiedzieć

W wyborze odpowiedniego typu przyrządu pomogą odpowiedzi na poniższe pytania.

1. Gdzie będziesz używać oscyloskopu? Czy oscyloskop będzie używany wyłącznie w miejscu, gdzie jest zasilanie sieciowe, czy też potrzebny jest przyrząd przenośny, mogący pracować na zasilaniu bateryjnym?
2. Czy jako alternatywę dla nowoczesnego oscyloskopu cyfrowego dopuszczasz zakup starszego, przyrządu z rynku wtórnego?
   Używane oscyloskopy o niezłych parametrach są dość łatwo dostępne i zazwyczaj można je nabyć po bardzo niskiej cenie. Jednak ze względu na zastosowanie lampy oscyloskopowej te stare przyrządy są zazwyczaj dość nieporęczne, stosunkowo ciężkie i wymagają na ogół dużo miejsca na stole warsztatowym. Z reguły nie są również wyposażone w przydatne funkcje, powszechnie stosowane w przyrządach cyfrowych, takie jak pamięć przebiegów i wyświetlanie informacji tekstowych.
3. Czy jako alternatywę dla samodzielnego oscyloskopu rozważasz zakup przyrządu USB?
   Zakup oscyloskopu USB może być niezwykle korzystny, ale oscyloskop taki wymaga połączenia z komputerem stacjonarnym lub laptopem. Niektóre takie oscyloskopy mogą być używane również z telefonami i tabletami. Jeśli decydujesz się na przyrząd USB, sprawdź koniecznie, czy jest on kompatybilny zarówno ze sprzętem, jak i z systemem operacyjnym komputera, do którego zostanie podłączony. Niektóre oscyloskopy USB mogą pracować tylko z wybranymi systemami operacyjnymi i ich wersjami. Warto sprawdzić, czy system, którego używasz, jest obsługiwany.
4. Jaki typ/rozmiar wyświetlacza będzie najlepszy?
   Duże ekrany są znacznie czytelniejsze (a co za tym idzie, lepiej przekazują informacje), ale wiążą się zazwyczaj z większymi rozmiarami urządzenia. Małe wyświetlacze mogą być nieczytelne. Jeśli decydujesz się na oscyloskop USB, a nie urządzenie samodzielne, rozmiar wyświetlacza będzie zależał od typu komputera, laptopa czy telefonu, do którego go podłączysz. Zwróć uwagę, że wyświetlacz w typowym laptopie jest na ogół znacznie większy niż zintegrowany wyświetlacz montowany w przyrządzie samodzielnym. Funkcja „zrzut ekranu", pozwalająca zapisać treść ekranu do pliku (na przykład w formacie JPG, PNG lub BMP), zapewnia wygodny sposób utrwalania oscylogramów do wykorzystania w przyszłości. Liczne rysunki w tym artykule zostały wykonane właśnie w ten sposób.
5. Czy potrzebujesz przyrządu, który precyzyjnie wychwyci i wyświetli stany przejściowe (szybkie zmiany sygnału), a nie tylko przebiegi powtarzające się? Jeśli tak, to oscyloskop, aby wykryć i uchwycić zmiany sygnału, musi

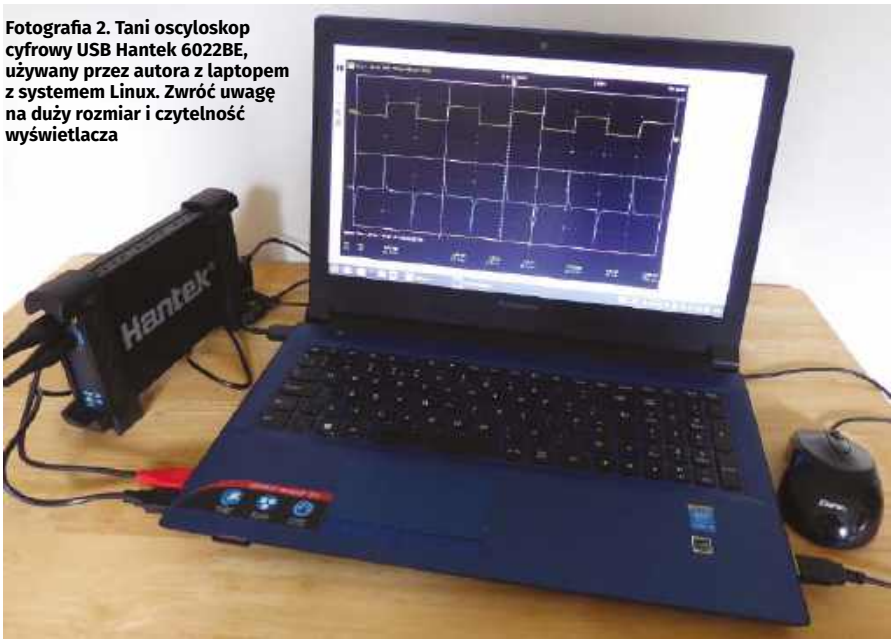


Rysunek 2. Elementy sterujące i regulacyjne typowego dwukanałowego oscyloskopu analogowego z lampą oscyloskopową. Jest to stary oscyloskop ogólnego przeznaczenia. Stanowi typowy przykład przyrządów dostępnych w okazyjnych cenach na rynku wtórnym. Ma ekran o przekątnej 130 mm (5,1 cala)

eprasa.pl 657e0c02ec

Tabela 1. Przypis redaktora. Słowniczek terminów związanych z oscyloskopami		
Termin anglojęzyczny	**Polskie tłumaczenie**	**Uwagi**
OSCYLOSKOPY CYFROWE (rysunek 1)		
Multi-purpose control	Pokrętło wielofunkcyjne	
Function keys	Przyciski funkcyjne	Znaczenie przycisków zależy od kontekstu, a ich aktualny opis znajduje się na ekranie.
Channel selectors	Wybieranie kanałów	
Vertical controls	Opcje odchylania pionowego	
LCD display	Wyświetlacz LCD	
Operation selector	Wybór trybu pracy	RUN = praca, STOP = zatrzymanie; czasem również SINGLE = wyzwolenie jednokrotne
Horizontal controls	Opcje odchylania poziomego	
Trigger controls	Opcje wyzwalania	
Timebase controls	Opcje podstawy czasu	
Probe calibration	Kalibracja sond	Wyjście przebiegu prostokątnego
Power on/off	Wyłącznik zasilania	
Ext. USB drive	Gniazdo zewnętrznej pamięci USB	
Channel 1 input	Wejście kanału 1	
Channel 2 input	Wejście kanału 2	
Ext. trigger input	Wejście zewnętrznego wyzwalania	
OSCYLOSKOPY ANALOGOWE (rysunek 2)		
Select display mode	Wybór trybu wyświetlania	
Display adjustment	Regulacja plamki	INTENS = jasność, FOCUS = ostrość
Channel A adjustment	Ustawienia kanału A	
Channel B adjustment	Ustawienia kanału B	
Display graticule	Siatka ekranowa	
Trigger mode	Opcje wyzwalania	
X-position	Pozycja pozioma obrazu	
Trigger level	Poziom wyzwalania	
Timebase range	Podstawa czasu	
Trigger selector	Źródło wyzwalania	
Ext. trigger input	Wejście zewnętrznego wyzwalania	
Scale illumination	Podświetlenie siatki	
Channel A input	Wejście kanału A	
Channel B input	Wejście kanału B	
Ground terminal	Zacisk masy	
INNE TERMINY ZWIĄZANE Z OSCYLOSKOPAMI CYFROWYMI		
Menu	Lista opcji	W zależności od kontekstu wyświetlane są różne listy
Auto/Autoset	Automatyczny wybór ustawień	Bardzo ułatwia rozpoczęcie pracy z nowym rodzajem przebiegów
Cursor	Przemieszczanie kursorów na ekranie	Kursory służą do pomiarów ręcznych (odstępów czasu, różnic napięć i tym podobnych)
Acquire	Tryb akwizycji (próbkowania)	NORMAL (standard), PEAK DETECT (wykrywanie wartości szczytowych), AVERAGE (uśrednianie) i tym podobne
Measure	Pomiary	Pomiary automatyczne, na przykład częstotliwości, okresu, amplitudy, wartości szczytowej, wartości średniej
Math	Operacje matematyczne na przebiegach	Dodawanie, odejmowanie, mnożenie, FFT i tym podobne
Ref	Wyświetlenie przebiegu odniesienia	Przebieg uprzednio zapisany w pamięci
Force/Force Trig	Ręczne wymuszenie wyzwolenia	
Storage/Save	Zapisywanie przebiegów	W pamięci wewnętrznej oscyloskopu lub w zewnętrznej pamięci USB
Print	Drukowanie zawartości ekranu	Zawartość ekranu może być, zamiast do drukarki, zapisana w pliku graficznym
Utility	Opcje	Różne ustawienia systemowe, na przykład format plików, parametry łącza szeregowego, data oraz czas i tym podobne
Help	Pomoc	Wyświetlenie podpowiedzi zależnej od kontekstu

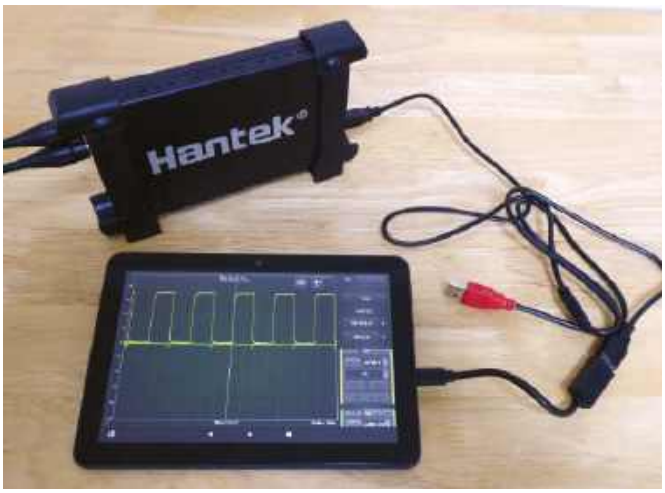
eprasa.pl 657e0c02ec



Fotografia 2. Tani oscyloskop cyfrowy USB Hantek 6022BE, używany przez autora z laptopem z systemem Linux. Zwróć uwagę na duży rozmiar i czytelność wyświetlacza

dysponować zaawansowanymi funkcjami wyzwalania. Badanie samych przebiegów powtarzalnych zazwyczaj nie wymaga takich zaawansowanych możliwości. Wychwytywanie zdarzeń przejściowych i ich późniejsza analiza są możliwe w oscyloskopie cyfrowym dzięki zapisywaniu przebiegu w pamięci. Może to stanowić jeden z decydujących powodów wyboru przyrządu cyfrowego, a nie analogowego, opartego na lampie oscyloskopowej.

6. W jakim zakresie częstotliwości będziesz dokonywać pomiarów?
   Jeśli zamierzasz pracować wyłącznie z sygnałami akustycznymi i sygnałami niskiej częstotliwości (powiedzmy do około 100 kHz), potrzebujesz przyrządu o szerokości pasma tylko do około 10 MHz. Jeśli pracujesz z sygnałami wielkiej częstotliwości, szczególnie niesinusoidalnymi, niezbędny będzie oscyloskop o szerokości pasma 50 MHz lub większej. Zasadniczo autor zaleca wybranie przyrządu o szerokości pasma co najmniej pięciokrotnie większej niż najwyższa częstotliwość mierzonego sygnału. Pamiętajmy, że istotnym czynnikiem może być tutaj koszt. Na przykład popularne oscyloskopy USB firmy Pico Technology występują w wersjach 10 MHz, 25 MHz i 50 MHz, które kosztują odpowiednio około 600, 1000 i 1500 złotych. Jeśli nie planujesz mieć do czynienia z sygnałami wielkiej częstotliwości, możesz zaoszczędzić trochę pieniędzy, rezygnując z dużej szerokości pasma.
7. Ile kanałów potrzebujesz?
   Większość oscyloskopów umożliwia pracę dwukanałową. Oscyloskopy z czterema lub większą liczbą wejść umożliwiają jednoczesne wyświetlanie, pomiar i porównywanie wielu sygnałów. W większości przyrządów dwukanałowych dostępna jest przydatna funkcja wyświetlania wyniku dodawania (A+B) lub odejmowania (A–B) dwóch sygnałów wejściowych. Ta ostatnia może być nieoceniona, jeśli chcesz porównywać dwa sygnały i wyświetlać składowe, które są obecne w jednym sygnale, a nie ma ich w drugim.
8. Ile potrzebujesz pamięci?
   Pytanie to dotyczy sytuacji, gdy kupujesz oscyloskop cyfrowy z pamięcią (DSO), a nie tradycyjny przyrząd analogowy. Podczas wykonywania pomiarów oscyloskop DSO będzie faktycznie rejestrował tylko niewielką część sygnału, który do niego wprowadzasz. Długość zarejestrowanego przebiegu zależy od pojemności pamięci oscyloskopu przeznaczonej do przechowywania danych. Pamięć sygnału w oscyloskopach cyfrowych ma bardzo różną pojemność, od około 8 K próbek w przyrządach niedrogich do około 128 M próbek w droższych oscyloskopach.
9. Jaka rozdzielczość i częstotliwość próbkowania są niezbędne?
   To kolejne ważne pytanie w przypadku zakupu oscyloskopu cyfrowego. Rozdzielczość takiego oscyloskopu wyraża się liczbą bitów użytych do konwersji sygnału analogowego na jego cyfrowy



Fotografia 3. Oscyloskop Hantek 6022BE używany w połączeniu z tabletem Amazon Fire z systemem Android. Taka konfiguracja doskonale sprawdza się w zastosowaniach przenośnych

Fotografia 4. Hantek 6022BE w połączeniu ze smartfonem autora. Wyświetlacz, pomimo niewielkich rozmiarów, całkiem nieźle się sprawdza

eprasa.pl 657e0c02ec

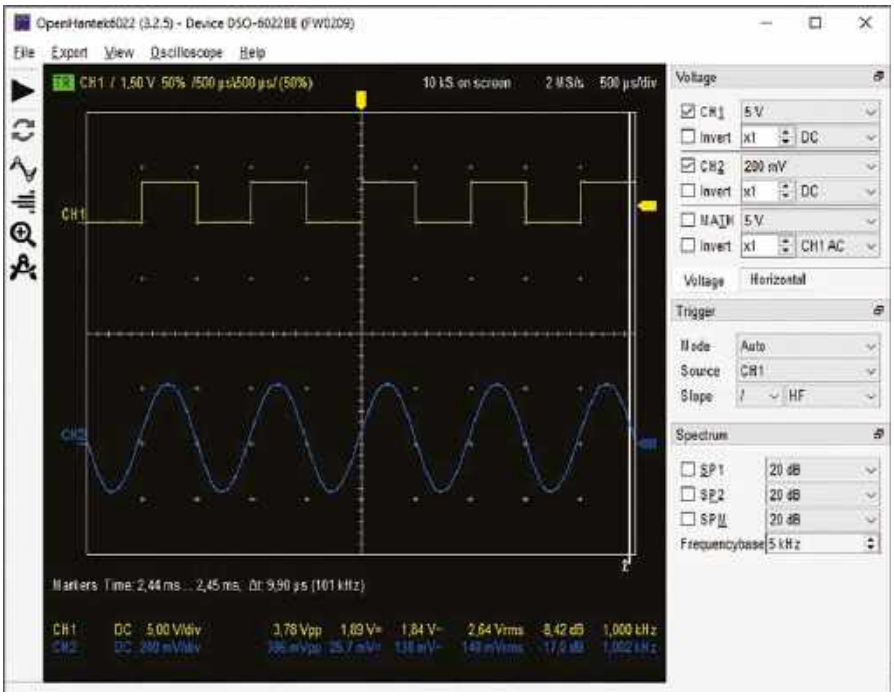
odpowiednik. W większości przypadków wystarczająca będzie rozdzielczość 12 bitów, ale nie należy zapominać, że istotna jest również częstotliwość próbkowania. Aby móc wyświetlać ze szczegółami sygnały wielkiej częstotliwości, ważne jest odpowiednie dopasowanie szerokości pasma analogowego do częstotliwości próbkowania w czasie rzeczywistym. Na przykład w przypadku sygnału o częstotliwości 100 MHz częstotliwość próbkowania 500 MS/s pozwoli uzyskać pięć punktów na każdy okres przebiegu. Częstotliwość próbkowania 1 GS/s dałaby dwukrotnie większą liczbę punktów, a w konsekwencji przebieg zostałby narysowany z większą precyzją. Autor zaleca, aby wybrać przyrząd o częstotliwości próbkowania co najmniej dziesięciokrotnie większej od najwyższej spodziewanej częstotliwości sygnału.

10. Jakiego zakresu napięć wejściowych można się spodziewać?
Niektóre tanie oscyloskopy mogą mieć dość ograniczony zakres napięcia wejściowego (na przykład 50 V). Inne z kolei mogą mieć wejście sprzężone tylko stałoprądowo. Oba te ograniczenia ma popularny oscyloskop USB Hantek 6022. W motoryzacji i energetyce niezbędna jest możliwość pracy z szerokim zakresem napięć wejściowych oraz sprzężenie wejścia przełączane między stało- a zmiennoprądowym (DC, AC). Pomocna może być też sonda ×10, która zmniejsza napięcie doprowadzane do wejścia oscyloskopu.

11. Czy potrzebne są dodatkowe funkcje, takie jak dekodowanie protokołów szeregowych?
Nowoczesne oscyloskopy cyfrowe oferują szeroki wachlarz dodatkowych funkcji, które czasami okazują się nieocenione. Niektóre z tych przyrządów mają funkcję dekodowania magistral szeregowych, obsługując protokoły I²C, SPI, UART, RS-232, CAN, LIN i wiele innych. Są też modele wyposażone w cyfrowe generatory przebiegów, wytwarzające dowolne sygnały testowe. Żadna z tych funkcji nie będzie zapewne decydująca dla nowego użytkownika. Jednak w pewnym momencie niektóre z nich mogą stać się czymś, bez czego nie będziesz chciał się obejść.

Czy jest łatwy w obsłudze?

Jeśli nigdy wcześniej nie używałeś oscyloskopu, możesz nie znać jego elementów sterujących i regulacyjnych. Na **rysunkach 1** i **2** pokazujemy elementy sterujące i regulacyjne występujące w typowych przyrządach średniej klasy, zarówno cyfrowych, jak i analogowych. Zapoznanie się z tymi elementami może zająć trochę czasu, ale poświęcony czas i wysiłek mogą się bardzo opłacić, ponieważ pozwolą w pełni wykorzystać możliwości przyrządu. Obsługa i regulacja różnią się w zależności od rodzaju badanego przebiegu oraz tego, czy przyrząd jest używany w trybie jedno- czy dwukanałowym (w tym ostatnim wyświetlane są dwa przebiegi jednocześnie).



Fotografia 5. Doskonałą alternatywą dla oprogramowania firmy Hantek jest bezpłatne oprogramowanie OpenHantek. Zwróć uwagę na przydatne informacje wyświetlane w postaci tekstowej na dole ekranu

Jak widać na rysunkach 1 i 2, wiele elementów sterujących w oscyloskopach cyfrowych stanowi bezpośrednie odpowiedniki elementów w przyrządach z lampą oscyloskopową. Inne elementy, takie jak przyciski wyboru menu i klawisze funkcyjne, są już charakterystyczne dla oscyloskopu cyfrowego. W obu typach oscyloskopów znajdują się przełączniki czułości wejść, podstawy czasu i źródła wyzwalania oraz płynna regulacja poziomu wyzwalania. Nastawianie podstawy czasu odbywa się w jednostkach „czasu na działkę", a w oscyloskopie cyfrowym możliwe jest również ustawienie „czasu na skan", co może być wygodniejsze w przypadku niektórych pomiarów. W oscyloskopie dwukanałowym można wybrać, który z dwóch kanałów (lub obydwa) ma być wyświetlany na ekranie, a w oscyloskopie cyfrowym, w przeciwieństwie do analogowego, przebieg każdego kanału może być wyświetlany w innym kolorze. Zakres napięcia wejściowego wybiera się w podobny sposób w oscyloskopach analogowych i cyfrowych, ale w tych drugich można również skorzystać z funkcji automatycznego ustawiania zakresu. Opcja ta będzie szczególnie przydatna, jeśli często przechodzimy od jednego punktu pomiarowego do drugiego.

Pierwsze kroki

Przedstawimy tu sekwencję regulacji, która stanowi dobry punkt wyjścia do wykonywania większości pomiarów oscyloskopowych. Oscyloskopy cyfrowe (DSO) zawierają automatyczne funkcje pomiarowe, które mogą uprościć większość typowych zadań (na przykład pomiar napięcia, czasu czy częstotliwości). Umiejętność ręcznego wykonywania pomiarów może jednak pomóc w zrozumieniu zasady działania pomiarów automatycznych i sprawdzeniu ich poprawności.

1. Podłącz oscyloskop do zasilania i włącz go. Większość oscyloskopów cyfrowych potrzebuje nieco czasu na uruchomienie, zanim na wyświetlaczu pojawi się obraz. W starych przyrządach opartych na lampach oscyloskopowych może trochę potrwać rozgrzewanie się katody, bez którego nie będzie obrazu. W tych oscyloskopach może być konieczne okresowe regulowanie jasności i ostrości. Na początku ustawiamy regulatory w położeniu środkowym, a następnie

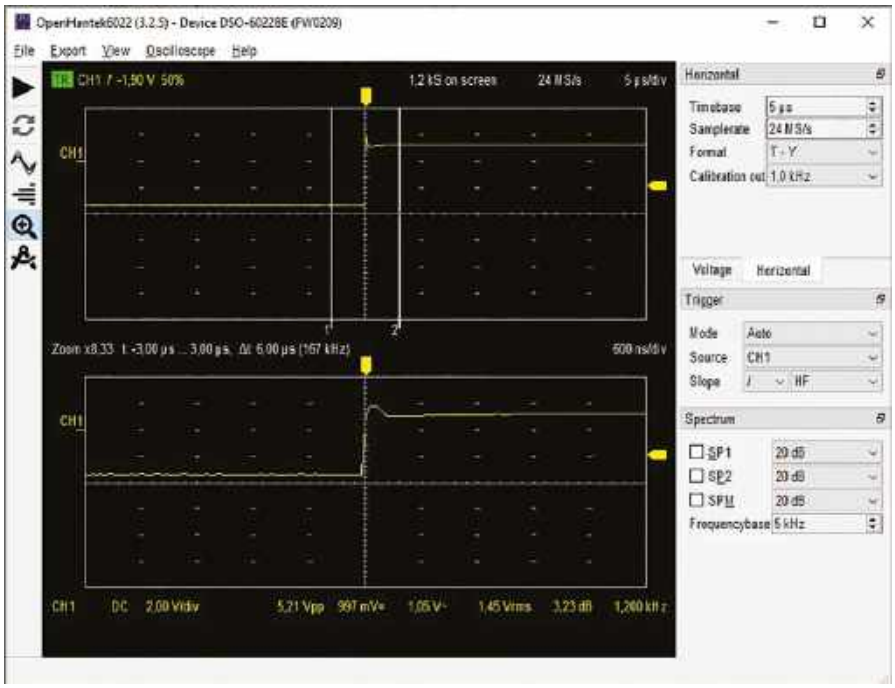
eprasa.pl 657e0c02ec

regulujemy je tak, aby uzyskać jasny i ostry obraz (cienką poziomą linię).
2. Ustaw przesunięcie pionowe i poziome tak, aby przebieg był wyrównany względem siatki. Pamiętajmy, że stare oscyloskopy CRT mają często regulację kąta obrotu przebiegu. Regulacja ta pozwala wyrównać przebieg względem siatki.
3. Ustaw zakres poziomy (podstawę czasu) na 1 ms/div, a pokrętło płynnej regulacji podstawy czasu w położeniu skalibrowanym (CAL).
4. Ustaw zakres pionowy (napięcia) na 1 V/div, a pokrętło płynnej regulacji czułości w położeniu skalibrowanym (CAL).
5. Ustaw sprzężenie wejścia na AC.
6. Ustaw źródło wyzwalania na kanał A, a tryb wyzwalania na AUTO.
7. Podłącz sondy do wejść oscyloskopu. Sprawdź działanie sond i w razie potrzeby skompensuj je (patrz dalej).
8. Podłącz zacisk masy sondy do punktu wspólnego (masy) badanego obwodu, a następnie dołącz końcówkę sondy do badanego punktu obwodu.
9. Ponownie ustaw podstawę czasu i zakres napięcia, uzyskując obraz jak najkorzystniejszy do analizy. Na tym etapie warto również wyregulować wyzwalanie, starannie wybierając moment przebiegu, w którym ono następuje.

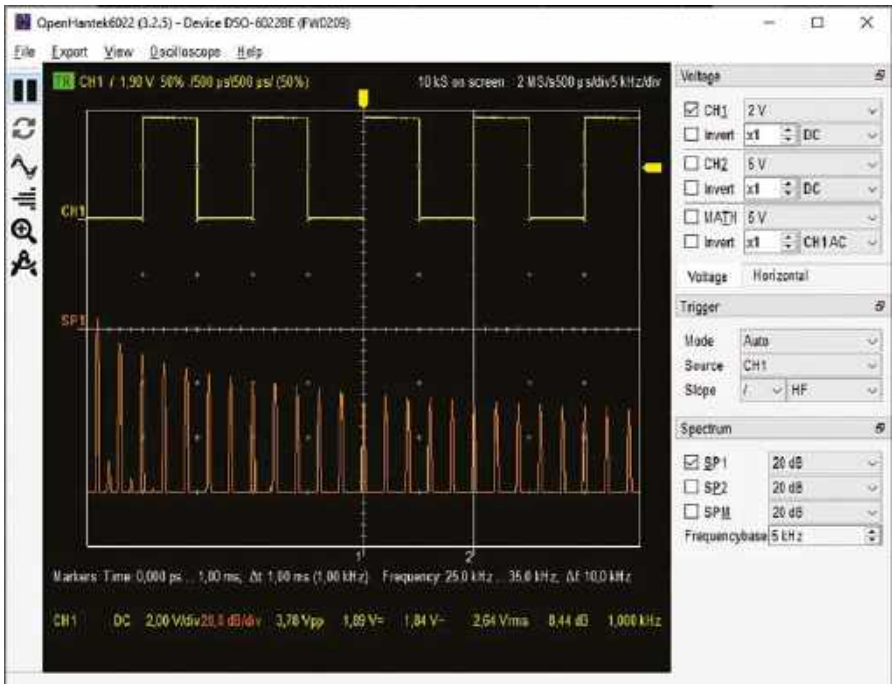
Może coś z listy?

Jeśli już zdecydowałeś, jaki typ oscyloskopu najlepiej odpowiada konkretnym potrzebom, warto przejrzeć zamieszczoną tu krótką listę popularnych przyrządów wartych rozważenia, reprezentujących poszczególne typy oscyloskopów. Osoby z ograniczonym budżetem lub preferujące przyrządy z lampą oscyloskopową mają do wyboru sporo modeli. Kilka z nich również zamieściliśmy na poniższej liście.

- **Seria Rigol DS1000Z**
  (samodzielne oscyloskopy cyfrowe)
  Jest to seria 2- i 4-kanałowych oscyloskopów o częstotliwości próbkowania w czasie rzeczywistym do 1 GS/s i paśmie analogowym od 50 MHz do 200 MHz. Wersje S zawierają również 2-kanałowy generator przebiegów, a wersje Plus – dodatkowe 16 cyfrowych kanałów wejściowych. Ceny wahają się w przybliżeniu od 1100 do 3700 złotych.
- **Seria Hantek DSO2000**
  (samodzielne oscyloskopy cyfrowe)
  Oscyloskopy serii DSO2000 firmy Hantek mają doskonałe parametry przy bardzo przystępnej cenie. Oferują dwa kanały o paśmie 50 MHz lub 100 MHz i maksymalnej częstotliwości próbkowania 1 GS/s. Czułość pionowa wynosi od 2 mV/div do 10 V/div. Dwa urządzenia z tej serii (DSO2D10 i DSO2D15) mają również wbudowany generator przebiegów arbitralnych (AWG) o częstotliwości próbkowania 25 MHz. Oscyloskopy te zapewniają również cyfrowy odczyt napięcia i częstotliwości, a także dekodowanie i analizę protokołów magistral

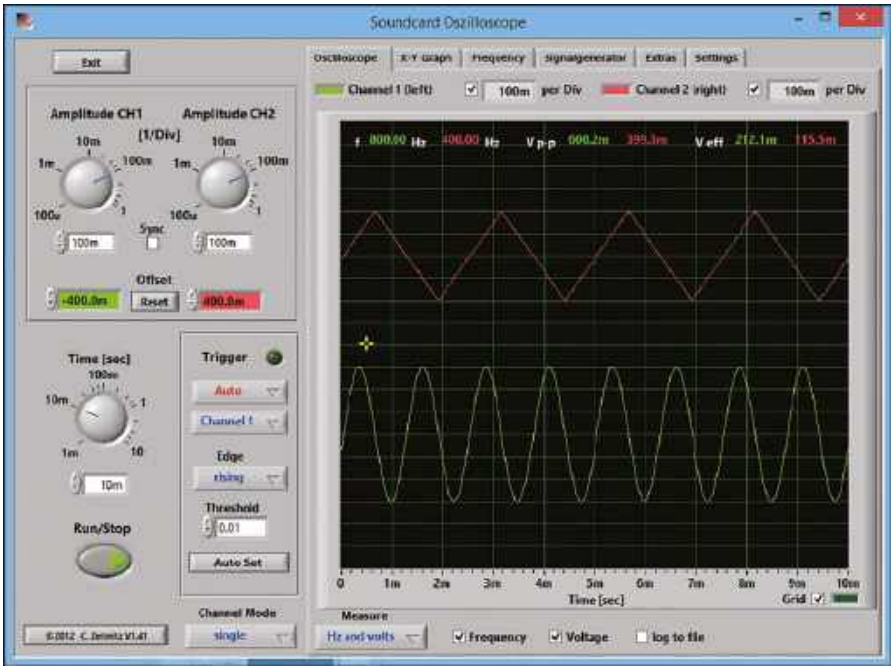


Fotografia 6. Oprogramowanie OpenHantek zawiera przydatną funkcję powiększania przebiegu, która pozwala na sprawdzanie niewielkich fragmentów sygnału – w tym przypadku okna o szerokości 600 ns przy przednim zboczu impulsu



Fotografia 7. Oprogramowanie OpenHantek wykonuje analizę widmową badanego sygnału. W tym przypadku można zobaczyć nieparzyste składowe harmoniczne zawarte w sygnale prostokątnym o częstotliwości 1 kHz. Zauważmy, że widoczne są również harmoniczne druga i czwarta, choć mają niski poziom

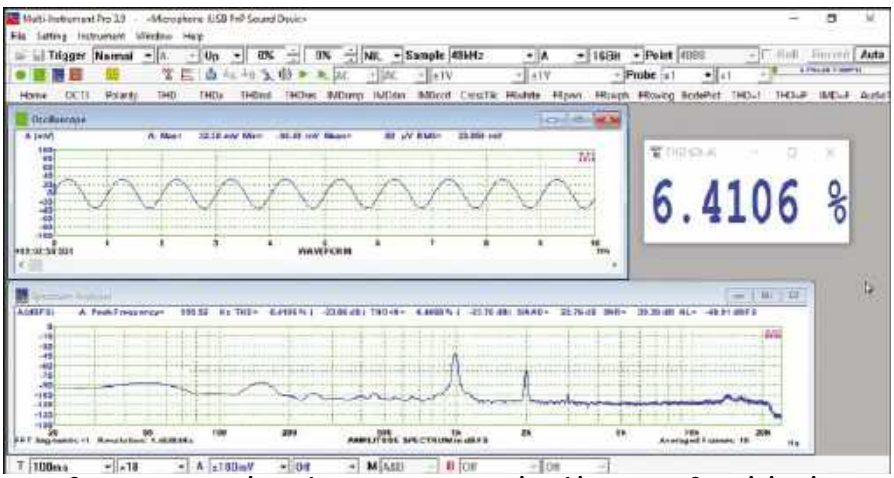
eprasa.pl 657e0c02ec



Fotografia 8. Typowy obraz z oscyloskopu opartego na karcie dźwiękowej, wygenerowany przez doskonałe oprogramowanie Soundcard Scope autorstwa Christiana Zeitnitza. Obraz przedstawia przebiegi trójkątny i sinusoidalny (krzywa czerwona i zielona) o niskiej częstotliwości

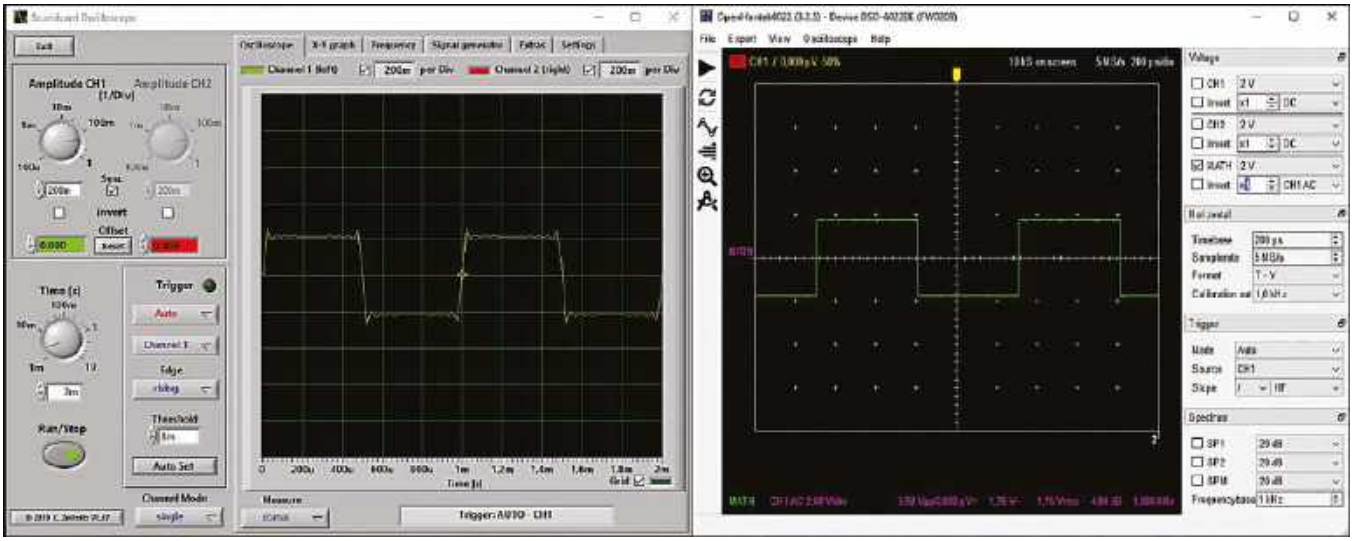
szeregowych. Ceny wahają się od 900 do 1400 złotych.

- **Hantek 6022BE**
  (cyfrowy oscyloskop USB)
  Jest to niedrogi, dwukanałowy oscyloskop USB o paśmie 20 MHz, przeznaczony dla początkujących użytkowników. W komplecie są sondy i akcesoria. Jest to popularny model, mający sporą grupę użytkowników. Jako alternatywa dla oprogramowania dostarczanego przez firmę Hantek dostępnych jest kilka bezpłatnych pakietów open source. Oscyloskop ten może być używany z różnymi typami komputerów i systemami operacyjnymi, w tym Windows, Linux i Android (**fotografie 2...7**). Model 6022BE ma kilka istotnych ograniczeń, z których najważniejsze to stałoprądowe sprzężenie wejścia oraz zakres napięcia wejściowego (bez zewnętrznego tłumika) ograniczony do maksymalnie 30 V. Opublikowano modyfikację wejścia umożliwiającą sprzężenie zmiennoprądowe. Szczegółowe informacje można znaleźć w rozdziale „Więcej informacji". Model 6022BE jest dostępny w sklepach internetowych w cenach mniej więcej od 300 do 550 złotych.
- **Seria PicoScope 2200A**
  (cyfrowe oscyloskopy USB)
  Są to 2-kanałowe oscyloskopy USB o paśmie do 200 MHz i częstotliwości próbkowania do 1 GS/s. Oprogramowanie (do bezpłatnego pobrania) jest łatwe w użyciu i objęte dobrym wsparciem producenta. Aktualizacje są bezpłatne. Oprogramowanie zawiera różne przydatne funkcje, w tym pomiary parametrów przebiegu na ekranie, testowanie z użyciem wartości granicznych, dekodowanie magistral szeregowych, a także wszechstronne wyzwalanie cyfrowe. Dodatkową zaletą jest wbudowany generator przebiegów arbitralnych (AWG).
- **Hameg HM203** (oscyloskop analogowy z rynku wtórnego)
  Łatwość obsługi i dobrze zaprojektowany panel przedni sprawiają, że ten solidny, niedrogi przyrząd doskonale sprawdza się w edukacji i na kursach, co przyczyniło się do jego popularności. HM203 zapewnia podstawowe funkcje, ma dwa kanały i pasmo 20 MHz. Ceny zaczynają się od około 200 złotych.
- **Philips PM3215** (oscyloskop analogowy z rynku wtórnego)
  Jest to dobry oscyloskop o paśmie 50 MHz, przeznaczony do ogólnych zastosowań w laboratoriach oraz w serwisie telewizorów i sprzętu wideo. Ma maksymalną czułość 2 mV/div i zakres podstawy czasu od 0,5 s/div do 0,1 μs/div. Ceny wahają się od około 450 do 900 złotych.
- **Telequipment D83** (oscyloskop analogowy z rynku wtórnego)
  D83 to wszechstronny przyrząd laboratoryjny. Ma dwa wymienne moduły toru odchylania pionowego, kompatybilne z modułami do popularnych modeli Telequipment D75, D63 i DM63. Dostępne moduły obejmują dwukanałowy wzmacniacz V4, jednokanałowy wzmacniacz różnicowy V3, jednokanałowy wzmacniacz V1 oraz jednokanałowy wzmacniacz V5 z linią opóźniającą (przeznaczony pierwotnie do modeli DM63/D63, które nie zawierają linii opóźniających). Przyrząd ma czułość w zakresie od 5 mV/div do 20 V/div oraz pasmo przenoszenia 0...50 MHz. Ceny wahają się w zakresie około 300...600 złotych.
- **Tektronix 2445B** (oscyloskop analogowy z rynku wtórnego)
  Model 2445B, opracowany pod koniec lat 80., był jednym z ostatnich



Fotografia 9. Zaawansowane i wszechstronne oprogramowanie Multi-Instrument firmy Virtins używane z kartą dźwiękową komputera PC do badania i pomiaru całkowitych zniekształceń harmonicznych (THD) w sygnale sinusoidalnym o częstotliwości 1 kHz

eprasa.pl 657e0c02ec



Fotografia 10. Porównanie oscyloskopu opartego na karcie dźwiękowej (po lewej) z oscyloskopem cyfrowym (po prawej). Oba wyświetlają sygnał prostokątny o częstotliwości 1 kHz. Na szczególną uwagę zasługują czasy narastania i opadania przebiegu wyświetlanego przez oscyloskop oparty na karcie dźwiękowej

Fotografia 11. Trzy różne sondy oscyloskopowe (opis w tekście)

modeli z długiej serii bogato wyposażonych oscyloskopów analogowych opracowanych przez firmę Tektronix (lidera rynku oscyloskopów od 1946 r.). Model 2445B ma cztery kanały, pasmo przenoszenia 150 MHz i podstawę czasu aż do 2 ns/div. Przyrząd jest wyposażony w kursory ekranowe umożliwiające dokładny pomiar napięcia i czasu oraz lampę oscyloskopową z wyświetlaniem mierzonych wielkości, między innymi napięcia, czasu i częstotliwości. Ceny wahają się od 750 do około 1250 złotych.

- **Oscyloskopy oparte na karcie dźwiękowej**

Jest to tanie (jeśli nie darmowe) rozwiązanie, polegające na wykorzystaniu karty dźwiękowej – wewnętrznej lub zewnętrznej – oraz oprogramowania pełniącego funkcję oscyloskopu. Szczegółowe informacje znajdziecie w rozdziale „Więcej informacji". Zalecane programy to Soundcard Scope autorstwa Christiana Zeitnitza (**fotografia 8**) oraz Virtins Multi-Instrument (**fotografia 9**). Nie zapominajmy o ograniczeniach funkcjonalnych, o których wspominaliśmy wcześniej. Przykład niedoskonałego odwzorowania przebiegu prostokątnego w oscyloskopie opartym na karcie dźwiękowej przedstawiono na **fotografii 10**.

Kilka słów na temat sond

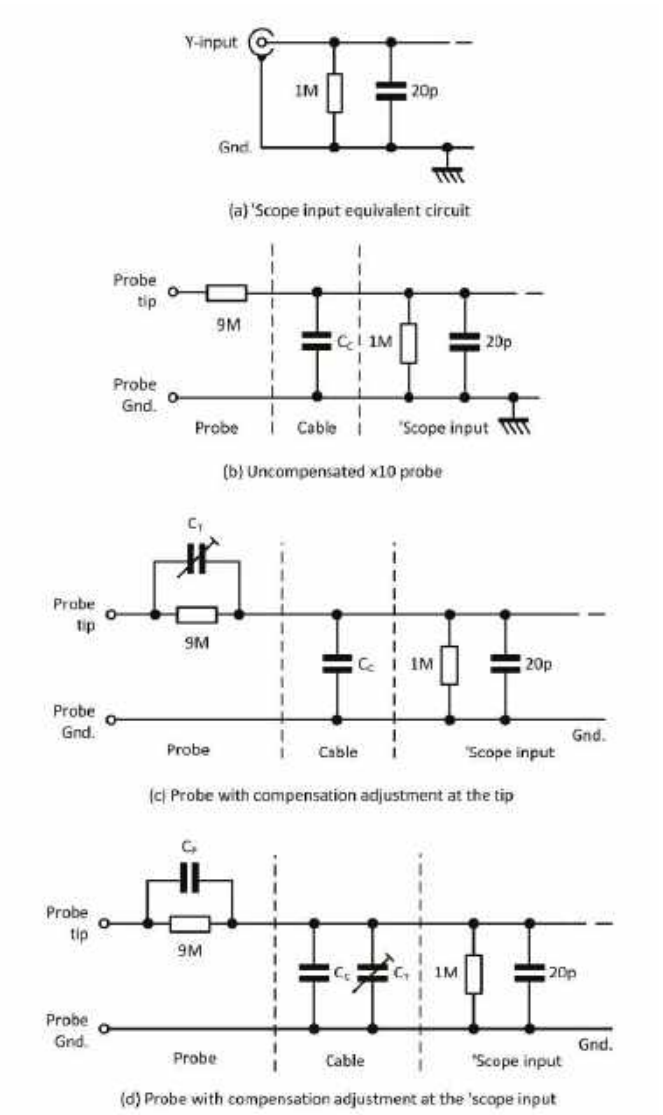
Wspominaliśmy już wcześniej o sondach oscyloskopowych. Do wykonywania dokładnych pomiarów niezbędne są odpowiednio dobrane sondy. Jeśli oscyloskop nie był wyposażony w zestaw sond, należy nabyć jedną lub więcej sond przełączalnych ×1/×10 (**fotografia 11**). Należy pamiętać, że sonda ×10 zapewnia 10-krotne tłumienie.

Sondę oscyloskopową należy odpowiednio dobrać do parametrów wejściowych przyrządu. Przed pierwszym użyciem należy również sprawdzić i w razie potrzeby wyregulować jej kompensację. Kalibrację (kompensację) sondy warto również sprawdzać przy każdym uruchomieniu oscyloskopu. Można to zazwyczaj zrobić szybko i łatwo, korzystając z wewnętrznego źródła prostokątnego przebiegu odniesienia, wbudowanego w większość przyrządów. Jeśli oscyloskop nie ma źródła przebiegu kalibracyjnego, można użyć dowolnego źródła przebiegu prostokątnego lub podręcznego kalibratora oscyloskopu opisanego w naszej serii Get Testing Teach-In 9 (szczegółowe informacje znajdują się w rozdziale „Więcej informacji").

Istotnymi wymaganiami stawianymi oscyloskopowi są: wierne odtwarzanie sygnałów i impulsów o krótkim czasie trwania oraz nieobciążanie obwodu, do którego oscyloskop jest dołączony. Standardowa rezystancja wejściowa większości oscyloskopów wynosi 1 MΩ, ale równolegle do niej występuje niewielka pojemność wejściowa – około 20 pF, jak pokazano na **rysunku 3a**. Ponadto równolegle do tej pojemności występuje pojemność kabla wejściowego, która może być znacząca (typowy kabel koncentryczny 50 Ω ma pojemność około 100 pF na metr).

Rysunek 3b przedstawia podstawowy układ sondy ×10 bez kompensacji. Rezystor szeregowy 9 MΩ o małej tolerancji tworzy tłumik w połączeniu z rezystancją wejściową oscyloskopu wynoszącą 1 MΩ. Końcówka sondy stanowi wówczas obciążenie 10 MΩ zamiast 1 MΩ samego oscyloskopu. Niekorzystną konsekwencją takiego układu jest powstanie filtru dolnoprzepustowego, utworzonego przez rezystancje tłumika oraz pojemność kabla (CC) połączoną równolegle z pojemnością wejściową oscyloskopu wynoszącą typowo 20 pF. Powoduje to znaczne ograniczenie pasma przenoszenia oscyloskopu z sondą.

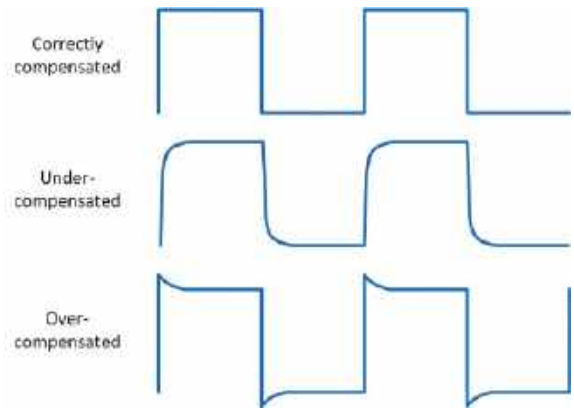
eprasa.pl 657e0c02ec



Rysunek 3. Obwody równoważne wejścia oscyloskopu z sondą

Fotografia 12. Regulacja kompensacji przy końcówce sondy oscyloskopowej

Fotografia 13. Regulacja kompensacji przy złączu do wejścia oscyloskopu



Rysunek 4. Typowe przebiegi uzyskiwane podczas kompensacji sondy oscyloskopowej

Aby poprawić pasmo przenoszenia, można na różne sposoby zrealizować w sondzie kompensację częstotliwościową. Na **rysunku 3c** pokazano, że równolegle do rezystora 9 MΩ można dołączyć kondensator dostrojczy o małej pojemności. Rozwiązanie takie jest stosowane w wielu sondach dostępnych w handlu. Rozwiązanie alternatywne, widoczne na **rysunku 3d**, wykorzystuje kondensator o stałej pojemności połączony równolegle z rezystorem wejściowym 9 MΩ oraz kondensator dostrojczy dołączony równolegle do wejścia oscyloskopu.

Na **fotografii 11** sonda A ma regulację kompensacji przy końcówce, natomiast kompensacja sondy B jest regulowana przy złączu wejściowym oscyloskopu. Sonda C jest przeznaczona do użytku z „oscyloskopową" kartą dźwiękową i nie ma możliwości regulacji kompensacji. **Fotografia 12** pokazuje dostęp do trymera regulacyjnego przy końcówce sondy, natomiast **fotografia 13** przedstawia analogiczny element regulacyjny przy złączu BNC sondy.

W każdym przypadku regulacja kompensacji, przeprowadzana po dołączeniu końcówki sondy do źródła prostokątnego sygnału kalibracyjnego (patrz „Więcej informacji"), sprowadza się po prostu do uzyskania jak najlepszego przebiegu prostokątnego – innymi słowy, przebiegu o jak najkrótszych czasach narastania i opadania oraz kształcie jak najbardziej zbliżonym do prostokątnego, bez zauważalnego „podbijania" ani zaokrąglenia zboczy. Typowe przebiegi występujące podczas kompensowania sondy pokazuje **rysunek 4**.

Więcej informacji

W niniejszym rozdziale wymieniono szereg źródeł, które pomogą uzyskać informacje przydatne przy zakupie oscyloskopu i późniejszym pełnym wykorzystaniu jego możliwości. Podano również linki do odpowiednich informacji podstawowych i kart katalogowych producentów. ■

Mike Tooley

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

eprasa.pl 657e0c02ec

Przypis redaktora: Podczas korzystania z oscyloskopu należy pamiętać, że zacisk masy sondy w większości oscyloskopów stacjonarnych jest połączony z przewodem ochronnym PE sieci zasilającej. Nie wolno podłączać go do dowolnego punktu badanego układu, ponieważ może to spowodować zwarcie, uszkodzenie urządzenia lub oscyloskopu, a w przypadku układów połączonych galwanicznie z siecią – również zagrożenie porażeniem. Nie należy także przekraczać maksymalnego dopuszczalnego napięcia wejściowego oscyloskopu ani sondy. Początkujący użytkownicy nie powinni wykonywać pomiarów bezpośrednio w obwodach połączonych z siecią energetyczną. Nie wolno również odłączać przewodu ochronnego PE oscyloskopu w celu „odizolowania" jego masy. Do zasilania badanego urządzenia wymagającego separacji od sieci stosuje się transformator separacyjny (nie należy go mylić z autotransformatorem, który nie zapewnia separacji galwanicznej). Do wykonywania pomiarów różnicowych należy stosować przeznaczoną do tego sondę różnicową o odpowiednich parametrach. Przed rozpoczęciem pomiarów należy zawsze upewnić się, że sposób podłączenia sondy, w tym jej zacisku masy, jest bezpieczny dla użytkownika, badanego układu i przyrządu.

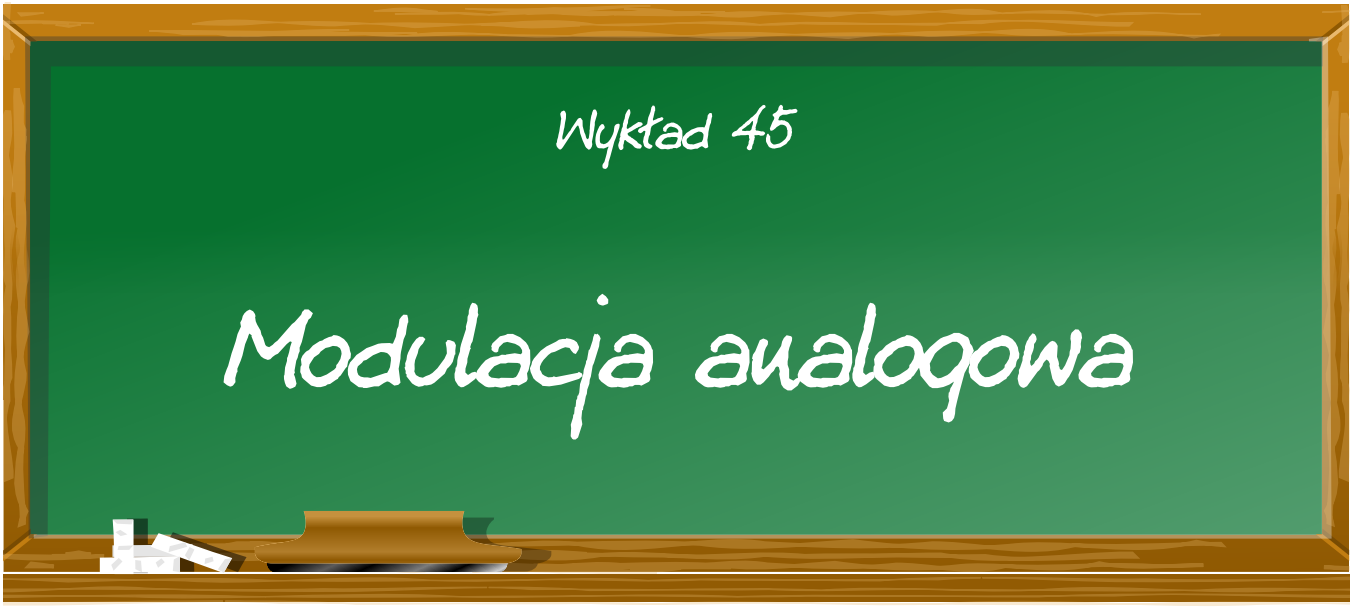
Tabela 2. Dalsze kroki z pierwszym oscyloskopem

Temat	Źródło	Uwagi
Teoria i praktyka oscyloskopu	Ogólne wprowadzenie do korzystania z oscyloskopów można znaleźć w części 2 cyklu Electronics Teach-In 9.	Kurs Electronics Teach-In 9 jest dostępny bezpośrednio w Practical Electronics pod adresem https://bit.ly/pe-eti9
Dostawcy oscyloskopów	W Internecie można znaleźć wielu producentów i dostawców oscyloskopów. W niniejszym artykule wymieniono następujących: Picotech: www.picotech.com Rigol: https://rigol.com.pl/ Hantek: www.hantek.com	Oscyloskopy można również nabyć u większości dużych dostawców elementów elektronicznych i sprzętu pomiarowego.
Kalibrator oscyloskopu	Generator testowy przedstawiony w części 2 cyklu Electronics Teach-In 9 zapewnia dokładny sygnał kalibracyjny o częstotliwości 1 kHz i amplitudzie 5 V oraz odpowiednio krótkim czasie narastania i opadania. Kalibrator jest mały, niedrogi i łatwy do zbudowania.	Kurs Electronics Teach-In 9 jest dostępny bezpośrednio w Practical Electronics pod adresem https://bit.ly/pe-eti9
Oscyloskopy wykorzystujące karty dźwiękowe	Istnieje kilka użytecznych pakietów oprogramowania dostępnych do bezpłatnego pobrania. Dwa, które można szczególnie polecić, to Soundcard Oscilloscope autorstwa Christiana Zeitnitza oraz Virtin's Multi-Instrument (ten ostatni jest przeznaczony do współpracy również z własną serią oscyloskopów USB firmy Virtin).	Soundcard Oscilloscope jest dostępny pod adresem www.zeitnitz.eu/Scope_en Virtin's Multi-Instrument można pobrać ze strony www.virtins.com/index.shtml
OpenHantek	Pakiet ten, stworzony jako alternatywa dla oficjalnego oprogramowania Hantek i przeznaczony pierwotnie dla użytkowników systemu Linux, działa obecnie również w systemach Microsoft Windows i Apple macOS. OpenHantek jest także kompatybilny z oscyloskopami USB firm Voltcraft, Darkwire, Protek i Acetech.	Oprogramowanie OpenHantek można pobrać ze strony http://openhantek.org/
Oscyloskopy z rynku wtórnego	Używane oscyloskopy regularnie pojawiają się w ofertach dostawców internetowych i na portalach aukcyjnych.	Dobrym źródłem jest eBay, ale należy sprawdzać opinie o sprzedawcach oraz koszty wysyłki i transportu.
Modyfikacja oscyloskopu Hantek 6022BE	Modyfikację wejścia modelu Hantek 6022BE, umożliwiającą zastosowanie sprzężenia zmiennoprądowego, można znaleźć pod adresem https://bit.ly/pe-jul23-han	Wykonanie tej modyfikacji zaleca się wyłącznie osobom mającym doświadczenie w elektronice.

REKLAMA

eprasa.pl 657e0c02ec

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.



Modulacja analogowa jest procesem, w którym jedna z właściwości sinusoidalnej fali nośnej o wysokiej częstotliwości jest zmieniana przez sygnał informacyjny o niskiej częstotliwości, dzięki czemu informacja może być skutecznie przesyłana za pośrednictwem określonego medium transmisyjnego.

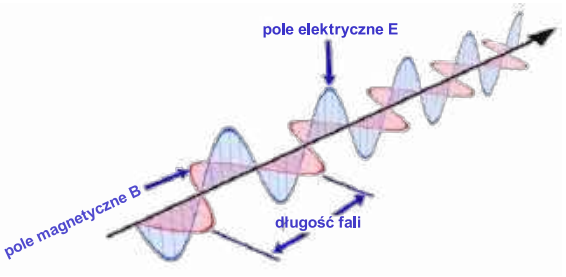
Świat opiera się na transmisji danych

Transmisja danych polega na przesyłaniu informacji z jednego miejsca do drugiego. Można to robić na przykład za pomocą sygnałów dymnych, semaforowych wież Chappe'a, sygnałów świetlnych, przewodów elektrycznych lub kurierów. Odkąd nauka dowiodła istnienia fal elektromagnetycznych i nauczyliśmy się wykorzystywać je do własnych celów, często stosujemy je do bezprzewodowej transmisji danych. Można je bowiem nadawać i odbierać za pomocą stosunkowo prostych urządzeń elektronicznych, a ponadto rozchodzą się niezwykle szybko na bardzo duże odległości. Nie wymagają również kosztownego medium transmisyjnego, takiego jak przewody miedziane czy światłowody. Rozchodzą się samodzielnie w przestrzeni.

Fale elektromagnetyczne

Już w XVIII wieku zauważono, że przyłożenie przemiennego napięcia elektrycznego do dwóch przewodników zawieszonych swobodnie w przestrzeni powoduje powstanie wokół nich „czegoś". To „coś" można było odebrać w innym miejscu, umieszczając tam również dwa swobodne przewodniki. Między tymi przewodnikami mierzono bardzo małe napięcie przemienne o tej samej częstotliwości co sygnał, który wywołał owo „coś".

Heinrich Rudolf Hertz w 1886 roku rozpoczął naukowe badania tego zjawiska i wykazał doświadczalnie istnienie fal elektromagnetycznych. Zgodnie z teorią elektromagnetyzmu napięcie przemienne przyłożone między dwoma swobodnymi przewodnikami wytwarza w przestrzeni dwa wzajemnie prostopadłe pola: pole elektryczne E i pole magnetyczne B, które wzajemnie się podtrzymują i rozchodzą w przestrzeni z prędkością światła (około 300 000 km/s). Te dwie składowe falowe można przedstawić w sposób pokazany na poniższym rysunku.



Przedstawienie fali elektromagnetycznej w przestrzeni (© https://physics.stackexchange.com)

Falę elektromagnetyczną charakteryzuje długość fali λ (lambda). Między częstotliwością a długością fali zachodzi następująca zależność:

$\lambda = c/f$

gdzie:

c: prędkość rozchodzenia się fali elektromagnetycznej, czyli prędkość światła.

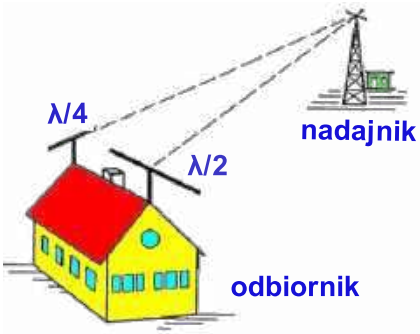
f: częstotliwość fali elektromagnetycznej.

Z tego wzoru można obliczyć, że fala elektromagnetyczna o częstotliwości 20 kHz ma długość aż 15 000 m (15 km)!

eprasa.pl 657e0c02ec

Anteny

Układy służące do nadawania i odbierania promieniowania elektromagnetycznego nazywa się „antenami". Między długością fali emitowanego promieniowania a wymiarami anteny musi istnieć określona zależność, co pokazano na poniższym rysunku. Standardowo długość anteny wynosi połowę długości fali w przypadku anteny dipolowej lub jedną czwartą długości fali w przypadku anteny prętowej. Jest to główny powód, dla którego nie można bezpośrednio nadawać i odbierać dźwięku (o paśmie od 20 Hz do 20 kHz) w postaci promieniowania elektromagnetycznego. Ze względu na bardzo dużą długość fali wymiary anten byłyby zupełnie niepraktyczne!



Odbiór fal elektromagnetycznych za pomocą anteny (© 2026 Jos Verstraten)

Modulacja analogowa jest możliwa również w przypadku transmisji przewodowej

Zmodulowane sygnały elektryczne, które służą do wytwarzania fal elektromagnetycznych, mogą być również przesyłane bezpośrednio przewodami. Dotyczy to zarówno przewodów miedzianych, jak i światłowodów. W tym drugim przypadku konieczny jest oczywiście dodatkowy etap, polegający na przekształceniu sygnałów elektrycznych w sygnały świetlne (nadajnik), a następnie sygnałów świetlnych z powrotem w napięcia elektryczne (odbiornik). Nie zmienia to jednak zasady modulacji analogowej stosowanej w transmisji przewodowej.

Dlaczego modulacja jest konieczna?

Modulacja jest konieczna, aby informacje o niskiej częstotliwości, takie jak mowa, dźwięk, obraz i dane, można było skutecznie przesyłać za pomocą medium wykorzystującego znacznie wyższe częstotliwości. Bez modulacji telekomunikacja bezprzewodowa byłaby w praktyce niewykonalna. Jeden z powodów został już opisany: bez zastosowania fali nośnej o wysokiej częstotliwości wymagane długości anten byłyby niepraktycznie duże. Jeśli jednak sygnałem mowy zmoduluje się falę nośną o częstotliwości 100 MHz, anteny muszą mieć długość zaledwie 75 cm.

Efektywne przekazywanie energii

Promieniowanie elektromagnetyczne jest emitowane znacznie efektywniej przy wysokich częstotliwościach.

Jednoczesne przesyłanie wielu sygnałów

Dzięki zastosowaniu modulacji można jednocześnie przesyłać wiele różnych sygnałów. Wystarczy zmodulować każdy sygnał na osobnej fali nośnej o określonej częstotliwości. Zasada ta od dawna jest stosowana w celu jak najefektywniejszego wykorzystania miedzianych kabli telefonicznych ułożonych na dnie oceanów. Tym samym kablem można przesyłać wiele sygnałów mowy, wykorzystując fale nośne o różnych częstotliwościach. Tę samą zasadę stosuje się w sieciach miedzianych lub koncentrycznych, którymi do domu dostarczane są Internet, radio, telewizja i telefonia. Wszystkie te sygnały są modulowane na falach nośnych o różnych częstotliwościach.

Selektywność, wzmacnianie i filtracja

Sygnały wysokiej częstotliwości można bardzo precyzyjnie wydzielić z mieszaniny różnych sygnałów elektrycznych za pomocą obwodów LC i filtrów kwarcowych. Częstotliwości poszczególnych fal nośnych mogą więc leżeć bardzo blisko siebie. W przypadku sygnałów małej częstotliwości byłoby to znacznie trudniejsze. Sygnały wysokiej częstotliwości można ponadto wzmacniać z bardzo dużym wzmocnieniem za pomocą stosunkowo prostych układów z filtrami strojonymi. To właśnie dzięki tym zasadom setki stacji radiowych i telewizyjnych mogą jednocześnie nadawać swoje sygnały, a odbiorca może odbierać wybraną stację bez zakłóceń.

Modulacja analogowa i modulacja cyfrowa

W tym artykule skupiono się przede wszystkim na technikach modulacji analogowej. Ich cechą charakterystyczną jest sinusoidalny przebieg fali nośnej o wysokiej częstotliwości. Oprócz modulacji analogowej istnieją również techniki modulacji cyfrowej.

Rodzaje modulacji analogowej

Bez modulacji analogowej nie byłoby Internetu, odbioru radia i telewizji ani telefonii komórkowej – to tylko niektóre przykłady zastosowań. Na przestrzeni lat opracowano wiele technik modulacji, z których każda ma określone zalety i wady oraz własne zastosowania. W tym artykule przedstawiono:

- kluczowanie włącz-wyłącz (OOK)
- binarne kluczowanie fazy (BPSK)
- modulacja amplitudy (AM)
- modulacja jednowstęgowa (SSB)
- modulacja częstotliwości (FM)
- modulacja fazy (PM)
- kluczowanie amplitudy (ASK)

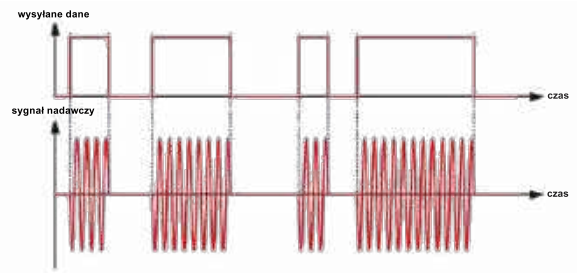
eprasa.pl 657e0c02ec

- kluczowanie częstotliwości (FSK)
- kluczowanie częstotliwości akustycznej (AFSK)
- kluczowanie fazy (PSK)
- kwadraturowa modulacja amplitudy (QAM)

Lista ta nie jest bynajmniej kompletna. Opracowano bardzo nietypowe techniki modulacji, są one jednak na tyle specjalistyczne, że nie będziemy ich omawiać.

Kluczowanie włącz-wyłącz (OOK) Jak to działa?

Kluczowanie włącz-wyłącz jest bardzo prostą metodą modulacji, w której fala nośna jest włączana lub wyłączana w celu zakodowania szeregowego strumienia danych cyfrowych. Gdy w szeregowym strumieniu danych występuje bit, fala nośna jest nadawana. Gdy bit nie występuje, fala nośna jest całkowicie tłumiona.



Zasada kluczowania włącz-wyłącz (© 2026 Jos Verstraten)

Zastosowania

Kluczowanie włącz-wyłącz jest powszechnie stosowane w niedrogich systemach zdalnego sterowania o niewielkim zasięgu, takich jak sterowniki bram garażowych, stacje pogodowe i proste moduły automatyki domowej, np. popularny system „KlikAanKlikUit". Oficjalnie urządzenia tego rodzaju określa się jako „Short Range Devices" (SRD).

Przydzielone częstotliwości

Do zastosowań wykorzystujących kluczowanie włącz-wyłącz przydzielono określone pasma częstotliwości:

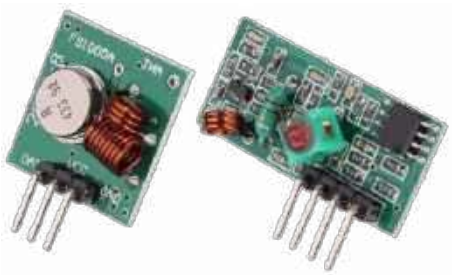
- 315 MHz: Powszechnie stosowane w Ameryce i Azji.
- 433 MHz: Standardowe pasmo w Europie dla urządzeń „Short Range Devices".
- 868 MHz: Często stosowane w Europie w urządzeniach wymagających większego zasięgu niż możliwy do uzyskania w paśmie 433 MHz.
- 915 MHz: Amerykański odpowiednik europejskiego pasma 868 MHz.
- 2,4 GHz: Chociaż w tym paśmie częściej stosuje się bardziej złożone techniki modulacji (np. Wi-Fi lub Bluetooth), ogólna specyfikacja ISM dopuszcza również stosowanie OOK.

W Holandii nadzór nad korzystaniem z tych pasm sprawuje „Rijksinspectie Digitale Infrastructuur" (RDI). Chociaż korzystanie z tych pasm nie wymaga zezwolenia, obowiązują ścisłe ograniczenia dotyczące mocy nadawczej. Na przykład w całym zakresie od 433,05 MHz do 434,79 MHz moc nadawcza jest ograniczona do 10 mW ERP (efektywnej mocy promieniowanej). Obowiązują również pewne ograniczenia dotyczące czasu ciągłego nadawania przez urządzenie, aby zapobiec jednoczesnej emisji zbyt wielu sygnałów. Dlatego wszystkie urządzenia nadawcze wykorzystujące tę technikę przesyłają krótkie „telegramy", zawierające określone polecenie dla odbiornika. Taki telegram składa się z kodu adresowego (ID) i kodu polecenia. Na podstawie kodu adresowego wszystkie odbiorniki 433 MHz znajdujące się w zasięgu nadajnika mogą określić, do którego z nich telegram jest adresowany. Dzięki komunikacji za pomocą krótkich telegramów z identyfikatorami ID można w domu jednocześnie korzystać z nadajników i odbiorników „KlikAanKlikUit", bezprzewodowej stacji pogodowej oraz elektronicznie otwieranej bramy garażowej, bez wzajemnego zakłócania się tych trzech systemów.

Samodzielne eksperymenty z kluczowaniem włącz-wyłącz w paśmie 433 MHz

Ta technika modulacji świetnie nadaje się do samodzielnego projektowania prostych układów zdalnego sterowania. Niezbędne nadajniki i odbiorniki są bowiem bardzo tanie. System nie jest jednak w 100% niezawodny. Jeśli dwa nadajniki przypadkowo wyślą telegram dokładnie w tym samym czasie, istnieje duże prawdopodobieństwo, że oba sygnały będą się wzajemnie zakłócać, a odbiorniki nie rozpoznają telegramów jako przeznaczonych dla nich i nie podejmą żadnego działania.

Istnieją dziesiątki modułów generujących sygnał o częstotliwości 433 MHz, wyposażonych w wejście danych umożliwiające zastosowanie modulacji OOK. Również do odbioru i demodulacji takiego sygnału można wybierać spośród dziesiątek modułów. Przykładem jest pokazany na poniższej fotografii bardzo tani zestaw FS1000A, który doskonale nadaje się do przeprowadzenia pierwszych eksperymentów. Najniższa znaleziona przez nas cena tego chińskiego zestawu wynosi zaledwie 2,50 €. Przy zamawianiu należy zwrócić uwagę na wybór częstotliwości. Zestaw jest bowiem dostępny zarówno w wersji 433 MHz, jak i 315 MHz.


Tanie moduły nadawczo-odbiorcze 433 MHz z kluczowaniem włącz-wyłącz (© benselectronics.nl)

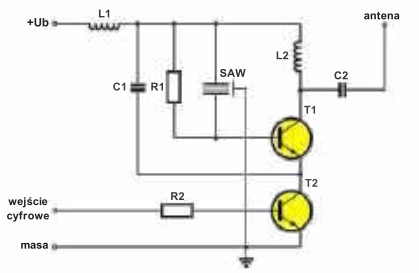
Schemat modułu nadawczego

Schemat tego modułu przedstawiono na poniższym rysunku. Tranzystor T1 pełni funkcję generatora. Rezonator SAW jest włączony między kolektor a bazę i zapewnia spełnienie warunku generacji układu. W pętli sprzężenia zwrotnego wzmacniane są jedynie

eprasa.pl 657e0c02ec

składowe szumu o częstotliwości 433,92 MHz, aż do powstania stabilnego sygnału nadawczego o tej częstotliwości. Sygnał ten jest doprowadzany do anteny przez obwód LC. Prąd sygnału nadawczego przepływa oczywiście również przez cewkę L2. Wokół niej powstaje więc pole elektromagnetyczne, dzięki któremu moduł ma niewielki zasięg nawet bez anteny.

Modulacja OOK jest realizowana w bardzo prosty sposób przez tranzystor T2. Jeśli na bazę tego tranzystora zostanie podany stan „L", tranzystor zostanie zatkany. Tranzystor T2 przestanie przewodzić prąd, a generator przestanie oscylować. Po podaniu na bazę stanu „H" tranzystor T2 zacznie przewodzić i uruchomi generator z tranzystorem T1.

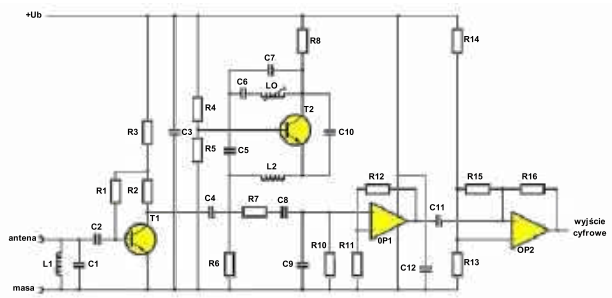


Schemat nadajnika FS1000A (© 2026 Jos Verstraten)

Schemat modułu odbiorczego

W sprzedaży dostępne są różne wersje tego modułu, nieznacznie różniące się schematem i płytką drukowaną. Jednak zastosowane w nich układy elektroniczne są zasadniczo zgodne z przedstawionym poniżej schematem.

Sygnał z anteny jest doprowadzany do obwodu rezonansowego L1/C1, dostrojonego do częstotliwości nadajnika. Następnie trafia do wzmacniacza tranzystorowego z tranzystorem T1. Wzmocniony sygnał jest wyprowadzany przez kondensator separujący C4. Tranzystor T2 wraz z elementami współpracującymi tworzy prosty tłumik sterowany napięciem. Powoduje on bocznikowanie do napięcia zasilania mniejszej lub większej części sygnału występującego na R6. Dzięki temu układ zapewnia maksymalne wzmocnienie przy braku odbieranego sygnału i minimalne wzmocnienie w przypadku odbioru wyraźnego sygnału 433 MHz. Za pomocą regulowanej cewki L0 można precyzyjnie dostroić ten obwód do częstotliwości nadajnika.

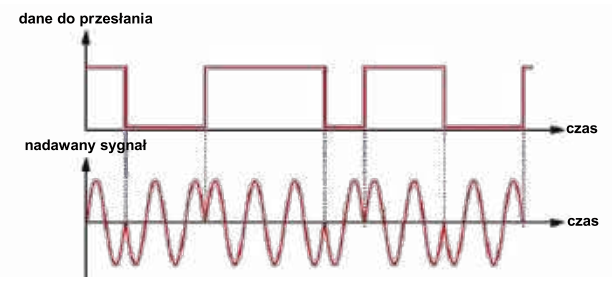


Schemat odbiornika FS1000A (© 2026 Jos Verstraten)

Sygnał jest następnie ponownie wzmacniany przez układ z OP1. Niewielkie pasmo przenoszenia tego wzmacniacza powoduje, że dalej przekazywana jest tylko obwiednia impulsowych pakietów sygnału 433 MHz. Wzmacniacz operacyjny OP2 pracuje jako komparator z histerezą, który przekształca sygnał z modulacją OOK w prawidłowo ukształtowany impuls cyfrowy.

Binarne kluczowanie fazy (BPSK) Jak to działa?

Binarne kluczowanie fazy jest cyfrową techniką modulacji stosowaną do przesyłania bitów („L" i „H") za pomocą fali nośnej. Działa ono przez odwrócenie fazy fali nośnej podczas kodowania bitu o stanie wysokim. Zastosowanie dwóch stanów fazy sprawia, że BPSK jest jedną z najprostszych odmian modulacji fazy (o której będzie mowa dalej). Wadą jest stosunkowo mała szybkość transmisji danych, ponieważ odbiornik potrzebuje kilku okresów fali nośnej, aby określić jej fazę i częstotliwość.



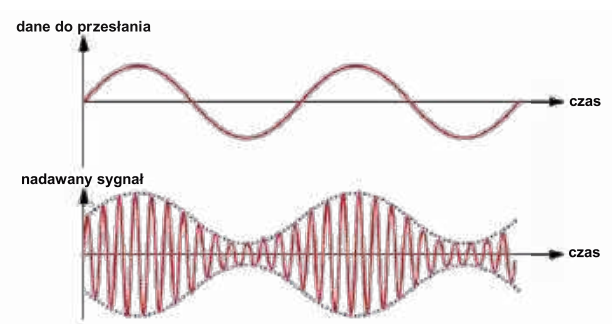
Zasada działania binarnego kluczowania fazy (© 2026 Jos Verstraten)

Zastosowania

BPSK jest powszechnie stosowane w łączności satelitarnej ze względu na dużą niezawodność transmisji na duże odległości. Odbierany sygnał można niezawodnie zdekodować nawet wtedy, gdy jest silnie zaszumiony. Dlatego BPSK jest również często stosowane w technice kosmicznej, na przykład do przesyłania zdjęć innych planet. Niewielka szybkość transmisji nie stanowi w takich zastosowaniach istotnej wady. Kolejną zaletą jest niewielka złożoność układów elektronicznych służących do kodowania sygnału nadawczego, dzięki czemu można je łatwo stosować w satelitach.

Modulacja amplitudy (AM) Jak to działa?

Modulacja amplitudy została z definicji opracowana do modulowania analogowych sygnałów małej częstotliwości, takich jak mowa i muzyka. Jak wynika z poniższego rysunku, w przypadku AM informacja jest zawarta w chwilowej wartości amplitudy fali nośnej. Amplituda fali nośnej zmienia się zgodnie z przebiegiem sygnału małej częstotliwości. Fala nośna ma przebieg sinusoidalny, natomiast sygnał informacyjny małej częstotliwości może mieć dowolny kształt. W przedstawionym przykładzie sygnał małej częstotliwości również ma przebieg sinusoidalny.



Zasada działania modulacji amplitudy (© 2026 Jos Verstraten)

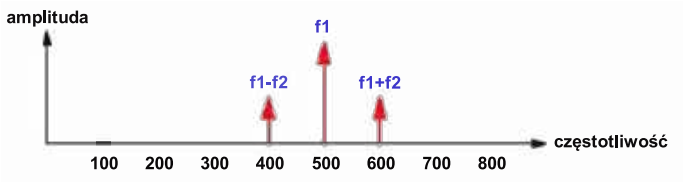
eprasa.pl 657e0c02ec

Widmo częstotliwościowe

Sama fala nośna z modulacją amplitudy nie jest czystym sygnałem sinusoidalnym. Amplituda kolejnych okresów nie jest bowiem stała. Jak zapewne wiadomo, każdy sygnał okresowy o kształcie innym niż czysta sinusoida można przedstawić jako sumę wielu czystych sygnałów sinusoidalnych o różnych częstotliwościach i amplitudach. Wynika to z teorii matematycznej zwanej analizą Fouriera. Dotyczy to również sygnału AM. Wynikiem takiej analizy jest widmo częstotliwościowe sygnału.

Modulacja AM sygnału sinusoidalnego

Jeśli fala nośna o częstotliwości f1 jest modulowana sygnałem sinusoidalnym o częstotliwości f2, widmo częstotliwościowe sygnału zmodulowanego będzie zawierało składową o częstotliwości f1 oraz dwie składowe o częstotliwości różnicowej (f1 − f2) i sumacyjnej (f1 + f2). Przedstawiono to na poniższym wykresie.



Widmo częstotliwościowe sygnału sinusoidalnego z modulacją AM (© 2026 Jos Verstraten)

Całkowity sygnał składa się więc ze składowych o częstotliwościach:

- f1 − f2
- f1
- f1 + f2

Wartości liczbowe podane na rysunku dobrano jedynie przykładowo, aby zilustrować zasadę działania, i oczywiście nie odpowiadają one wartościom spotykanym w praktyce.

Modulacja AM sygnału złożonego

Jeśli fala nośna jest modulowana sygnałem zawierającym całe widmo częstotliwościowe, na przykład sygnałem mowy lub muzyki, w sygnale zmodulowanym powstają dwa pasma częstotliwości położone po obu stronach częstotliwości fali nośnej. Przedstawiono to na poniższym rysunku. Te dwa pasma częstotliwości nazywa się „wstęgami bocznymi" sygnału z modulacją amplitudy. Szerokość każdej z nich jest równa szerokości pasma sygnału modulującego.

Widmo częstotliwościowe sygnału złożonego z modulacją AM (© 2026 Jos Verstraten)

Ta właściwość sygnału AM jest bardzo ważna! Oczywiste jest, że w odbiorniku nie wystarczy wzmacniać jedynie sygnału o częstotliwości fali nośnej. Odbiornik musi przetwarzać określony zakres częstotliwości wokół częstotliwości fali nośnej. Wstęgi boczne nie mogą być bowiem tłumione, ponieważ zawierają informację małej częstotliwości. Dlatego odbiornik AM musi mieć określoną szerokość pasma. Jest to zakres częstotliwości wokół częstotliwości fali nośnej, w którym wszystkie występujące częstotliwości powinny być wzmacniane w jednakowym stopniu.

Głębokość modulacji m w AM

Jednym z najważniejszych parametrów sygnału AM jest „głębokość modulacji", oznaczana literą m. Wielkość tę przedstawiono graficznie na poniższym rysunku.

Niezmodulowana fala nośna (po lewej) ma amplitudę równą H. Na wykresie po prawej przedstawiono tę samą falę nośną, ale już zmodulowaną. W wyniku modulacji amplituda fali nośnej zmienia się między określonym minimum a maksimum, położonymi symetrycznie względem wartości H. Maksymalne odchylenie amplitudy oznaczono literą N.

Głębokość modulacji m, wyrażona w %, jest zdefiniowana wzorem:

$$m = [N/H] \times 100\%$$

Załóżmy, że:

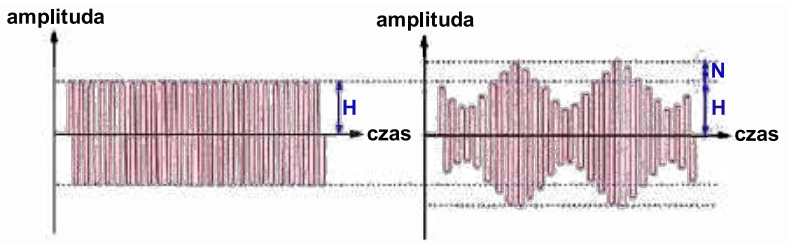
H = 500 mV

N = 50 mV

Wówczas:

m = [50/500] × 100%

m = 10%



Definicja głębokości modulacji AM (© 2026 Jos Verstraten)

Odstęp między kanałami w AM (raster częstotliwości)

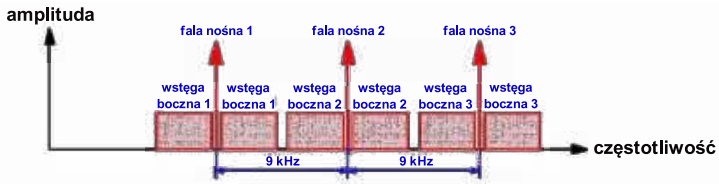
Z obecności dwóch wstęg bocznych wynika, że szerokość pasma sygnału AM jest dwukrotnie większa od szerokości pasma sygnału modulującego. Nakłada to ograniczenie na częstotliwości fal nośnych dwóch sygnałów z modulacją AM przesyłanych przez to samo medium. Górna wstęga boczna sygnału AM o niższej częstotliwości fali nośnej nie może nakładać się na dolną wstęgę boczną sygnału o wyższej częstotliwości fali nośnej. Przedstawiono to na poniższym rysunku.

W przypadku stacji radiowych nadających z modulacją AM obowiązują międzynarodowe ustalenia dotyczące szerokości pasma nadawanego sygnału oraz minimalnego odstępu częstotliwości między falami nośnymi poszczególnych stacji. Określa

eprasa.pl 657e0c02ec

się to jako „raster częstotliwości” pasm AM. Raster ten został określony w międzynarodowych ustaleniach Międzynarodowego Związku Telekomunikacyjnego (ITU).

Szerokość pasma sygnału modulującego jest ograniczona do 4,5 kHz. W rezultacie szerokość pasma sygnału nadawanego wynosi 9,0 kHz, a odstęp między częstotliwościami fal nośnych może również wynosić 9,0 kHz. Dotyczy to Europy; w Ameryce przyjęto odstęp 10 kHz.



Raster częstotliwości AM w Europie (© 2026 Jos Verstraten)

Nadajniki o identycznej częstotliwości fali nośnej

Kiedyś działało tak wiele nadajników AM, że nie wszystkie mieściły się w rastrze częstotliwości, dlatego niektóre z nich korzystały z tych samych częstotliwości fal nośnych. Również w tej kwestii wprowadzono ustalenia, które zazwyczaj mają charakter międzynarodowy. Minimalna fizyczna odległość między dwoma nadajnikami pracującymi na tej samej częstotliwości fali nośnej zależy od ich mocy:

- 1 kW: od 150 km do 250 km
- 10 kW: od 250 km do 400 km
- 50 kW: od 400 km do 800 km

Zalety i wady AM

Zalety modulacji amplitudy są następujące:

- Proste układy elektroniczne do modulacji i demodulacji. Dzięki temu odbiorniki AM są tanie, niezawodne i łatwe do zbudowania.
- Duży zasięg, szczególnie na falach średnich i długich. Dzięki temu możliwe jest uzyskiwanie bardzo dużych odległości przy stosunkowo niewielkiej mocy nadajnika.
- Kompatybilność analogowa, czyli zgodność z bardzo starymi urządzeniami. Dzięki temu AM nadaje się do prostych systemów łączności i nadajników awaryjnych.

Wady modulacji amplitudy są następujące:

- Bardzo niska sprawność energetyczna. Można obliczyć, że nie mniej niż 2/3 mocy nadajnika przypada na falę nośną.
- Modulacja amplitudy jest bardzo podatna na szumy i zakłócenia. Odbiornik nie jest w stanie odróżnić ich od użytecznej informacji.
- Bardzo niska jakość dźwięku ze względu na bardzo małą szerokość pasma wynoszącą 4,5 kHz.

Zastosowania AM

Obecnie AM stosuje się głównie w:

- łączności lotniczej (VHF-AM).
- niektórych nadal działających stacjach radiowych nadających na falach średnich.
- zastosowaniach historycznych i hobbystycznych.
- systemach dalekiego zasięgu, w których zasięg jest ważniejszy niż jakość.

Zestaw nadajnika AM

Za pośrednictwem popularnych chińskich platform internetowych można kupić różne zestawy do samodzielnego montażu nadajników AM. Na poniższej fotografii pokazano taki nadajnik, który można dostroić do częstotliwości fali nośnej w zakresie od 530 kHz do 1600 kHz. Zestaw kosztuje około 15,00 €. Układ przy napięciu zasilania 9,0 V DC zapewnia moc nadajnika około 400 mW.

Tani nadajnik AM do eksperymentów (© AliExpress)

Modulacja jednowstęgowa (SSB) Jak to działa?

Angielska nazwa „Single Sideband” jest źródłem skrótu SSB. Modulacja jednowstęgowa jest efektywną odmianą AM, w której nadawana jest tylko jedna wstęga boczna zmodulowanego sygnału. Fala nośna i druga wstęga boczna są tłumione. Jedna wstęga boczna zawiera bowiem całą informację zawartą w sygnale modulującym. Odbiornik nie potrzebuje więc niczego więcej, aby odtworzyć sygnał. Oczywiste jest, że SSB jest bardzo efektywne, ponieważ cała moc nadajnika przypada na jedną nadawaną wstęgę boczną. Ponadto szerokość pasma jest teraz równa szerokości pasma sygnału modulującego, dzięki czemu częstotliwości fal nośnych mogą być rozmieszczone znacznie bliżej siebie na osi częstotliwości.

eprasa.pl 657e0c02ec

Dwa warianty

Istnieją dwa warianty:

- „Upper Side Band” (USB): w tym przypadku nadawana jest górna wstęga boczna.
- „Lower Side Band” (LSB): w tym przypadku nadawana jest dolna wstęga boczna.

W pasmach amatorskich poniżej 10 MHz najczęściej stosuje się LSB.

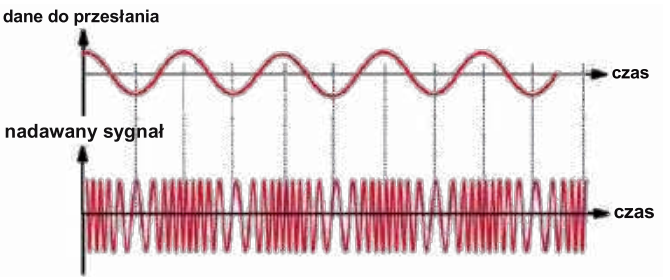
Zastosowania SSB

Ze względu na dużą efektywność i małą szerokość pasma SSB jest często stosowana w:

- łączności HF,
- łączności morskiej,
- łączności lotniczej,
- łączności wojskowej,
- krótkofalarstwie.

Modulacja częstotliwości (FM) Jak to działa?

W przypadku FM informacja małej częstotliwości nie jest zawarta w amplitudzie fali nośnej. Amplituda pozostaje stała. Jak wynika z poniższego rysunku, informacja małej częstotliwości jest zawarta w odchyleniu częstotliwości między chwilową wartością częstotliwości fali nośnej a częstotliwością niezmodulowanej fali nośnej. W wyniku modulacji częstotliwość sygnału zmienia się symetrycznie wokół tej wartości. Dodatnia wartość sygnału małej częstotliwości powoduje wzrost częstotliwości, a ujemna – jej spadek. Nazywa się to „dewiacją częstotliwości” sygnału FM.

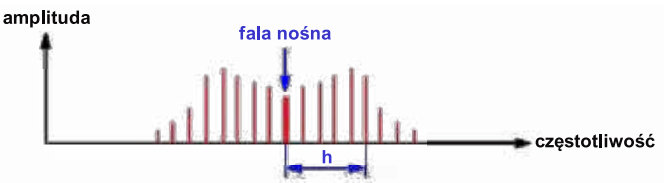


Zasada działania modulacji częstotliwości (© 2026 Jos Verstraten)

Widmo częstotliwościowe sygnału z modulacją FM

Również w tym przypadku fala nośna ma znacznie wyższą częstotliwość niż informacja małej częstotliwości i ma przebieg sinusoidalny. Sygnał małej częstotliwości może mieć dowolny kształt.

Harmoniczna analiza Fouriera sygnału FM pokazuje, że ma on znacznie bardziej złożoną strukturę widmową niż sygnał AM. Również w tym przypadku powstają wstęgi boczne, ale jest ich znacznie więcej niż dwie w AM. Wstęgi te są rozmieszczone symetrycznie względem częstotliwości niezmodulowanej fali nośnej. Na poniższym rysunku przedstawiono widmo częstotliwościowe sygnału FM modulowanego sinusoidalnym sygnałem małej częstotliwości. Pogrubiona częstotliwość pośrodku to częstotliwość fali nośnej. Liczba wstęg bocznych zależy od stopnia modulacji fali nośnej. Im większa jest różnica między najniższą a najwyższą nadawaną częstotliwością, czyli im większa jest dewiacja, tym więcej wstęg bocznych występuje.



Widmo częstotliwościowe sygnału sinusoidalnego z modulacją FM (© 2026 Jos Verstraten)

Głębokość modulacji h w FM

Również w przypadku FM można zdefiniować pojęcie głębokości modulacji. Głębokość modulacji, oznaczana teraz literą h, jest największym odchyleniem częstotliwości sygnału FM od częstotliwości niezmodulowanej fali nośnej. Całkowity zakres zmian częstotliwości fali nośnej wynosi zatem 2 × h.

W praktyce wartość h przyjmuje się co najmniej pięciokrotnie większą od maksymalnej częstotliwości sygnału małej częstotliwości. Jeśli sygnał FM jest wykorzystywany do nadawania muzyki, szerokość pasma sygnału muzycznego ogranicza się do 15 kHz, a modulację przeprowadza się z h = 75 kHz. Oznacza to, że zakres zmian częstotliwości sygnału FM wyniesie 150 kHz, gdy sygnał małej częstotliwości osiągnie maksymalną amplitudę.

Zalety i wady FM

Dużą zaletą FM w porównaniu z AM jest znacznie mniejsza podatność sygnału zmodulowanego na zakłócenia. Zakłócenia sygnału objawiają się przede wszystkim zmianami amplitudy. AM jest na nie bardzo podatna, natomiast FM w znacznie mniejszym stopniu. Oczywiście nie oznacza to, że FM jest całkowicie odporna na zakłócenia! Każdy impuls zakłócający, oprócz wyraźnie zauważalnej zmiany amplitudy, wpływa również na widmo częstotliwościowe zakłóconego sygnału. Na te zmiany częstotliwości FM również jest niestety podatna. Podatność tę można jednak znacznie zmniejszyć, stosując w odbiorniku układy ograniczające amplitudę (limitery).

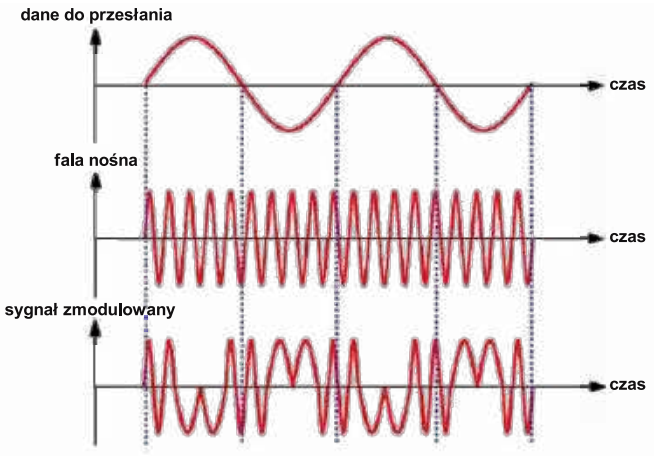
eprasa.pl 657e0c02ec

Drugą dużą zaletą FM w zastosowaniach związanych z transmisją dźwięku jest znacznie lepsza jakość oraz większy zakres dynamiki. Wadą FM jest konieczność stosowania znacznie większej szerokości pasma, a w konsekwencji również znacznie wyższych częstotliwości fal nośnych. Zasięg tych częstotliwości jest znacznie mniejszy niż zasięg znacznie niższych częstotliwości fal nośnych stosowanych w AM.

Zastosowania FM

Jak wiadomo, FM wykorzystywano i nadal wykorzystuje się do budowy gęstej sieci radiowej, zapewniającej wysoką jakość dźwięku w domach i samochodach. Niestety pojawiają się zalecenia, aby od 2027 roku stopniowo wycofywać FM i całkowicie zastąpić je systemem DAB (Digital Audio Broadcasting). Władze nadal jednak przyznają i przedłużają licencje na nadawanie FM, co wskazuje na utrzymanie emisji FM co najmniej do 2035 roku. Dopóki udział FM w słuchalności pozostaje znaczący, sieć ta będzie utrzymywana, między innymi ze względu na rolę analogowego radia FM w sytuacjach awaryjnych.

W przeciwieństwie do Holandii Flandria wyznaczyła konkretną datę. Planowane jest wyłączenie sieci FM 1 stycznia 2031 roku.



Zasada działania modulacji fazy (© 2026 Jos Verstraten)

Modulacja fazy (PM) Jak to działa?

Modulacja fazy (PM) jest analogową metodą modulacji, w której faza fali nośnej zmienia się w zależności od sygnału informacyjnego, przy czym amplituda pozostaje stała. Dodatnia wartość sygnału informacyjnego powoduje przesunięcie fazy do przodu, a ujemna – przesunięcie do tyłu. Dość trudno przedstawić na papierze sygnał z modulacją fazy. Na poniższym rysunku mimo to podjęliśmy taką próbę.

Zalety i wady modulacji fazy

Analogowa PM jest mniej podatna na szumy amplitudowe niż AM, ponieważ informacja jest zawarta w fazie fali nośnej, a fala nośna jest nadawana ze stałą amplitudą. Szerokość pasma sygnału zmodulowanego może jednak być dość duża. Niezbędne układy są również bardziej złożone niż układy potrzebne do analogowej FM. Jest to główny powód, dla którego PM nigdy nie zyskała popularności w radiotechnice.

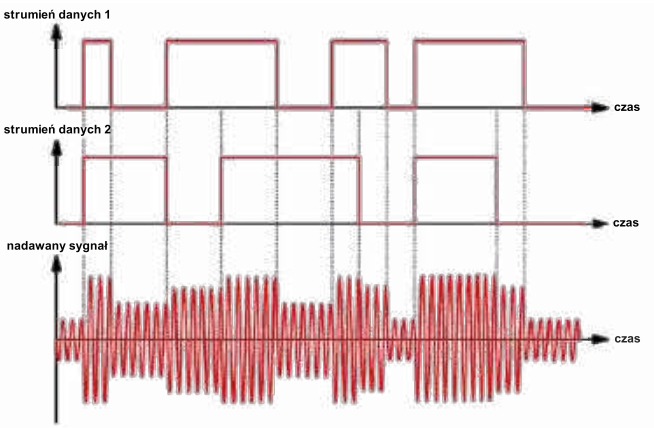
Zastosowania PM

Analogowa modulacja fazy jest obecnie stosowana bardzo rzadko. Z historycznego punktu widzenia analogową PM często wykorzystywano w łączności satelitarnej i telemetrii kosmicznej. Warto wspomnieć, że PM zastosowano do syntezy dźwięku w instrumencie Yamaha DX7.

Kluczowanie amplitudy (ASK) Jak to działa?

Kluczowanie amplitudy działa poprzez kodowanie jednego lub kilku cyfrowych strumieni bitów za pomocą zmian amplitudy sinusoidalnej fali nośnej. Jest to zatem rozszerzona forma kluczowania on-off (OOK), w której poszczególne poziomy amplitudy nadawanego sygnału odpowiadają określonym kombinacjom sygnałów cyfrowych. Takie kombinacje sygnałów cyfrowych nazywa się „symbolami". Na poniższym wykresie przedstawiono przykładowy system ASK, który umożliwia kodowanie dwóch strumieni danych za pomocą jednej sinusoidalnej fali nośnej. Zdefiniowano cztery różne poziomy amplitudy, którym przypisano cztery różne symbole:

- Amplituda A: symbol „H-H"
- Amplituda B: symbol „H-L"
- Amplituda C: symbol „L-H"
- Amplituda D: symbol „L-L"



System ASK, w którym na jednej fali nośnej modulowane są cztery symbole cyfrowe (© 2026 Jos Verstraten)

Zalety i wady kluczowania amplitudy (ASK)

Zaletą ASK jest niewielka złożoność układów elektronicznych wymaganych po stronie nadajnika. Dekodowanie zmodulowanego sygnału wymaga jednak znacznie bardziej złożonych układów. Rozróżnienie poszczególnych poziomów sygnału analogowego nie jest

eprasa.pl 657e0c02ec

bowiem łatwe! Inną wadą ASK jest bardzo duża podatność na szumy i inne źródła zakłóceń, które mogą powodować zniekształcenie poszczególnych poziomów sygnału.

Zastosowania ASK

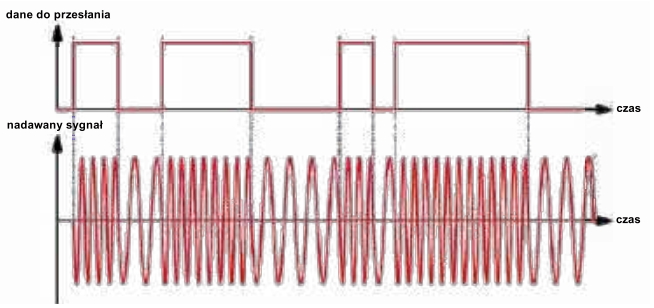
ASK samo w sobie nie jest często stosowana. Ten system modulacji stanowi jednak podstawę rozwoju modulacji amplitudowo-fazowej (QAM, Quadrature Amplitude Modulation). Ta analogowa forma modulacji jest obecnie standardem przesyłania dźwięku, obrazu i danych internetowych za pośrednictwem sieci kablowych.

Kluczowanie częstotliwości (FSK) Jak to działa?

Kluczowanie częstotliwości (FSK) jest cyfrową metodą modulacji, w której zmiany częstotliwości fali nośnej służą do kodowania szeregowego strumienia danych cyfrowych. W praktyce najczęściej stosuje się BFSK (Binary FSK), w którym wykorzystywane są tylko dwie różne częstotliwości:

- Bit = „L” → częstotliwość f1
- Bit = „H” → częstotliwość f2

Im większa jest różnica między f1 a f2, tym bardziej niezawodny staje się system, ale jednocześnie zwiększa się szerokość pasma. Na rysunku przedstawiono podstawową zasadę działania FSK.



Zasada działania FSK (© 2026 Jos Verstraten)

MFSK (Multi FSK)

Oprócz BFSK istnieje również MFSK (Multi FSK), w którym cztery lub więcej symboli cyfrowych jest kodowanych za pomocą czterech lub większej liczby różnych częstotliwości fali nośnej.

GFSK (Gaussian FSK)

W omawianej modulacji FSK częstotliwość fali nośnej przy przejściu z bitu „L” na „H” zmienia się natychmiast z f1 na f2. Takie gwałtowne zmiany zawierają wiele harmonicznych wysokiej częstotliwości, co powoduje znaczne zwiększenie szerokości pasma zmodulowanego sygnału. W GFSK przejście z f1 do f2 (i oczywiście z f2 do f1) odbywa się stopniowo. Dzięki temu z sygnału znikają harmoniczne wysokich częstotliwości i zmniejsza się jego szerokość pasma. W efekcie w dostępnym paśmie częstotliwości można umieścić więcej sygnałów GFSK.

Zalety i wady kluczowania częstotliwości (FSK)

Dużą zaletą FSK jest mała podatność na zakłócenia amplitudowe i szumy. Kolejną zaletą jest to, że szczególnie binarną FSK można w bardzo prosty sposób realizować w układach elektronicznych. Do generowania zmodulowanej fali nośnej wystarczy prosty VCO (Voltage Controlled Oscillator). Wadą standardowej FSK jest duża szerokość pasma, jednak jak opisano wcześniej, problem ten można rozwiązać, stosując GFSK.

Zastosowania FSK

Klasyczna FSK jest stosowana między innymi w niektórych systemach zdalnego sterowania bramami garażowymi, bezprzewodowych sieciach czujników o małej przepływności oraz w łączności morskiej i lotniczej. FSK wykorzystuje się również w systemach RFID.

Gaussian FSK jest stosowana między innymi w standardzie Bluetooth Classic, systemie DECT (bezprzewodowych telefonach domowych) oraz w systemie GSM. W GSM wykorzystuje się jednak szczególną odmianę GFSK, mianowicie „Gaussian Minimum Shift Keying” (GMSK). System ten jeszcze bardziej ogranicza szerokość pasma, dzięki czemu w dostępnym paśmie częstotliwości można zmieścić więcej kanałów.

Kluczowanie częstotliwości akustycznej (AFSK) Jak to działa?

Audio Frequency Shift Keying jest szczególną odmianą FSK, w której obie częstotliwości f1 i f2 znajdują się w paśmie akustycznym. Dzięki temu zmodulowany sygnał może być przesyłany za pośrednictwem tradycyjnych miedzianych linii telefonicznych na całym świecie. Elektronicy pamiętający czasy sprzed powszechnego dostępu do szerokopasmowego Internetu doskonale znają AFSK. Była to właśnie metoda modulacji wykorzystywana przez modemy telefoniczne do łączenia się z Internetem za pośrednictwem analogowej linii telefonicznej. Sygnały AFSK można również modulować na fali nośnej HF, a następnie wykorzystywać na przykład w łączności satelitarnej lub packet radio.

Stary modem telefoniczny wykorzystujący AFSK (© transistorforum)

eprasa.pl 657e0c02ec

Częstotliwości

Jednym z często stosowanych standardów jest Bell 202. Wykorzystuje on częstotliwość 1200 Hz dla „H" i 2200 Hz dla „L" przy szybkości transmisji 1200 bodów.

Stare modemy telefoniczne pracowały zgodnie ze standardem Bell 103, wykorzystując częstotliwości 1070 Hz i 1270 Hz do transmisji w jednym kierunku oraz 2025 Hz i 2225 Hz do transmisji w drugim kierunku. Szybkość transmisji wynosiła zaledwie 300 bodów.

Zastosowania AFSK

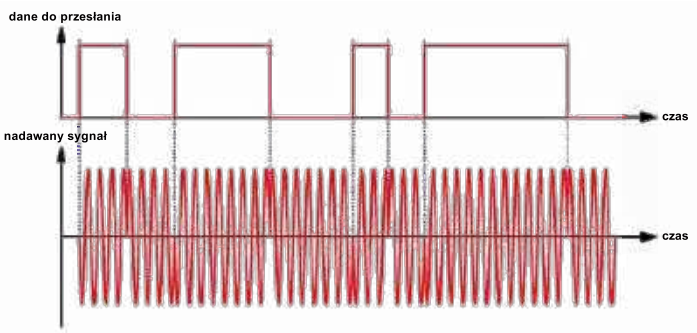
System ten, modulowany na fali nośnej HF, jest szeroko stosowany przez krótkofalowców w cyfrowych trybach transmisji, takich jak packet radio. Firma Ziggo wykorzystuje AFSK do transmisji informacji o numerze dzwoniącego w telefonii.

Zapis na kasetach magnetofonowych

Jednym z ważnych zastosowań, o którym należy jeszcze wspomnieć, było wykorzystanie tego systemu w pierwszej generacji komputerów domowych, takich jak Commodore 64 i Sinclair Spectrum, do zapisywania programów i danych na zwykłych kasetach magnetofonowych. Stosowano w tym celu standard Kansas City. „L" reprezentowano za pomocą czterech okresów sinusoidy o częstotliwości 1,2 kHz, a „H" za pomocą ośmiu okresów identycznego sygnału o częstotliwości 2,4 kHz.

Kluczowanie fazy (PSK)
Jak to działa?

Kluczowanie fazy (PSK) jest techniką modulacji, w której faza sinusoidalnej fali nośnej jest zmieniana w celu przesyłania danych cyfrowych. Amplituda i częstotliwość fali nośnej pozostają przy tym stałe.



Zasada działania kluczowania fazy (© 2026 Jos Verstraten)

Różne odmiany PSK

Opracowano różne odmiany PSK, zależnie od liczby bitów kodowanych w jednym symbolu:

- Binarne kluczowanie fazy (BPSK): Metoda ta była już omawiana. Jest to najprostsza odmiana PSK, wykorzystująca dwie fazy (0° i 180°), przy czym każda faza reprezentuje dokładnie jeden bit („L" lub „H").
- Kwadraturowe kluczowanie fazy (QPSK): W tym przypadku stosuje się cztery różne fazy (45°, 135°, 225°, 315°), dzięki czemu w jednym symbolu kodowane są dwa bity.
- 8PSK: Wykorzystuje osiem różnych faz do kodowania trzech bitów w jednym symbolu, zwiększając szybkość transmisji danych bez poszerzania szerokości pasma.

Zalety kluczowania fazy (PSK)

System charakteryzuje się dobrą efektywnością energetyczną i można go stosunkowo łatwo realizować w praktycznych układach elektronicznych. Stała amplituda i częstotliwość są korzystne przy projektowaniu wzmacniaczy mocy HF.

Zastosowania kluczowania fazy (PSK)

PSK jest często stosowana we współczesnych systemach komunikacyjnych ze względu na jej bardzo wysoką efektywność:

- Sieci bezprzewodowe: Wi-Fi wykorzystuje różne odmiany PSK. Bluetooth natomiast wykorzystuje GFSK, a nie PSK.
- Łączność satelitarna: Jest szeroko stosowana do przesyłania telewizji cyfrowej (DVB-S2) oraz szerokopasmowego Internetu za pośrednictwem satelitów.
- Sieci komórkowe: PSK jest częścią złożonych technik modulacji stosowanych w sieciach 4G (LTE) i 5G.

Kwadraturowa modulacja amplitudy (QAM)
Jak to działa?

Kwadraturowa modulacja amplitudy (QAM) jest metodą modulacji, w której wykorzystuje się dwie podstawowe fale nośne. Mają one tę samą częstotliwość, ale są przesunięte względem siebie w fazie o 90°. Pierwsza z nich jest nazywana składową „I" (In-phase), a druga składową „Q" (Quadrature).

QAM przetwarza symbole cyfrowe zawierające kombinację cyfrowych strumieni danych. W najprostszym wariancie, 16-QAM, w jednym symbolu kodowane są cztery bity. Dwa bity są kodowane za pomocą amplitudy składowej I, a dwa za pomocą amplitudy składowej Q. Dwa bity można zakodować za pomocą czterech różnych poziomów amplitudy sygnału. W 16-QAM szesnaście możliwych kombinacji czterech bitów jest więc jednoznacznie kodowanych za pomocą czterech poziomów amplitudy składowej I i takiej samej liczby poziomów amplitudy składowej Q.

Następnie modulator tworzy sygnał będący sumą obu podstawowych składowych. Jest to sinusoida o amplitudzie i fazie charakterystycznych dla zakodowanej kombinacji bitów. Sygnał ten jest przesyłany jako wtórna, zmodulowana fala nośna o określonym kącie fazowym α. W kolejnym okresie procesu modulacji fala nośna może więc wyglądać zupełnie inaczej!

eprasa.pl 657e0c02ec

Diagram konstelacji

Ze względu na złożoność wtórnie zmodulowanej fali nośnej sygnału QAM nie można już w wygodny sposób przedstawić za pomocą oscylogramu. Zamiast tego stosuje się tak zwany „diagram konstelacyjny". Jest to układ współrzędnych, na którym w poziomie przedstawiana jest amplituda składowej I, a w pionie amplituda składowej Q. Szesnaście możliwych kombinacji 16-QAM jest przedstawianych na tym diagramie za pomocą punktów. Każdy punkt reprezentuje unikatową kombinację (= symbol) czterech bitów. Przedstawiono to na poniższym rysunku. Możliwe poziomy amplitudy są w tym diagramie oznaczone wartościami A, B, −A i −B.

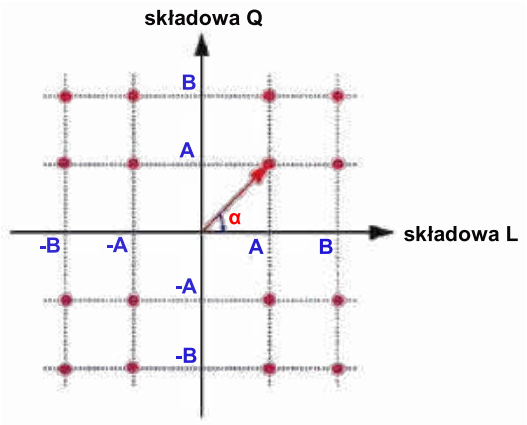


Diagram konstelacji 16-QAM (© 2026 Jos Verstraten)

Przykład 16-QAM

Załóżmy, że ma zostać zmodulowany symbol cyfrowy „H-L-H-H". Symbol ten jest przypisywany do obu składowych:

- Składowa I: „H-L"
- Składowa Q: „H-H"

Następnie należy zdefiniować cztery dostępne poziomy amplitudy, na przykład:

- Kombinacja bitów „L-L": −3 V
- Kombinacja bitów „L-H": −1 V
- Kombinacja bitów „H-L": +1 V
- Kombinacja bitów „H-H": +3 V

Wartości te są przypisywane do obu składowych:

- I = „H-L" → +1 V
- Q = „H-H" → +3 V

Nadajnik tworzy teraz wtórną falę nośną z obu sygnałów i emituje ją z określonym kątem fazowym α. Kąt ten jest wyznaczany przez nachylenie wektora poprowadzonego z punktu zerowego do odpowiedniego punktu na diagramie konstelacyjnym.

64-QAM

Kolejnym wariantem jest 64-QAM. Umożliwia on zakodowanie 64 różnych stanów, dzięki czemu w jednym symbolu można przesłać sześć bitów. Jest to bardzo efektywna metoda transmisji danych cyfrowych. Dlatego 64-QAM jest stosowana między innymi w modemach kablowych.

256-QAM

Współcześnie stosuje się również 256-QAM, która jest kolejnym zwiększeniem liczby stanów możliwych do przedstawienia na diagramie konstelacyjnym. Jest to najwyższy spośród omówionych tutaj wariantów QAM, a zarazem najbardziej podatny na zakłócenia spośród omawianych odmian. Sygnał musi być odpowiednio czysty, aby możliwe było bezbłędne rozpoznanie stanu. Dzięki 256 możliwym stanom w jednym symbolu można przesłać osiem bitów, czyli dokładnie jeden bajt.

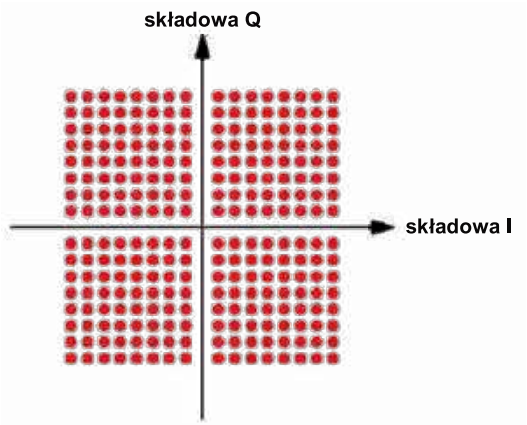


Diagram konstelacji 256-QAM (© 2026 Jos Verstraten)

Zalety i wady QAM

QAM charakteryzuje się bardzo wysoką efektywnością widmową, co oznacza, że w ograniczonym paśmie można uzyskać bardzo dużą szybkość transmisji danych.

Możliwe jest zastosowanie modulacji adaptacyjnej, co oznacza, że system może dynamicznie przełączać się na przykład z 256-QAM na 64-QAM, gdy nagle pojawi się dużo zakłóceń w odbiorze. W ten sposób można uzyskać optymalny kompromis między szybkością transmisji a niezawodnością.

Dużą wadą QAM jest oczywiście bardzo duża złożoność układów elektronicznych niezbędnych do realizacji tej modulacji. Do szybkiego wykonywania złożonych operacji na sygnale konieczne jest zastosowanie cyfrowych procesorów sygnałowych. Demodulacja wymaga bardzo dokładnej synchronizacji fazy i amplitudy, szczególnie w systemach o wysokim rzędzie modulacji.

Zastosowania kwadraturowej modulacji amplitudy (QAM)

QAM jest stosowana we wszystkich nowoczesnych systemach komunikacyjnych. Można wymienić między innymi:

- Wi-Fi z modulacjami 64-QAM, 256-QAM, a nawet 1024-QAM.
- Sieci komórkowe 4G i 5G z modulacjami od 16-QAM do 1024-QAM.
- Telewizja cyfrowa z modulacjami do 256-QAM.
- Internet, telefonia i telewizja za pośrednictwem sieci kablowej z modulacjami do 256-QAM.

QAM jest zatem standardową metodą modulacji stosowaną w niemal wszystkich współczesnych szerokopasmowych systemach komunikacyjnych. ■

Jos Verstraten

eprasa.pl 657e0c02ec

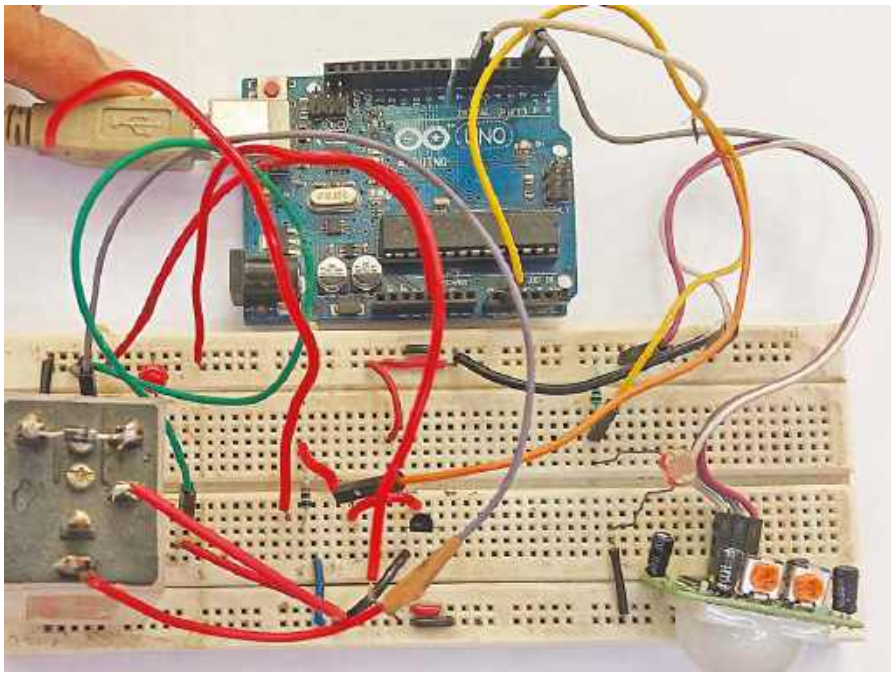
Nocne światło alarmowe z modułem Arduino

Światło alarmowe oparte na module Arduino ochroni w nocy dom lub biuro przed złodziejami i intruzami. Światło zapala się po wykryciu ruchu przez czujnik PIR. Jednocześnie włącza się brzęczyk piezoelektryczny.

Główne cechy urządzenia:

- Światło włącza się, gdy jest ciemno i zostanie wykryty ruch.
- Po wykryciu ruchu światło pozostaje włączone przez dziesięć sekund.
- Jeśli żarówka jest włączona, a ruch nadal jest wykrywany, 10-sekundowe odliczanie rozpoczyna się od nowa.
- W ciągu dnia żarówka się nie włącza, nawet gdy wykrywany jest ruch.

Prototyp światła alarmowego przedstawia **rysunek 1**.



Rysunek 1. Układ na płytce stykowej podczas testowania w laboratorium Electronics For You

Układ i działanie

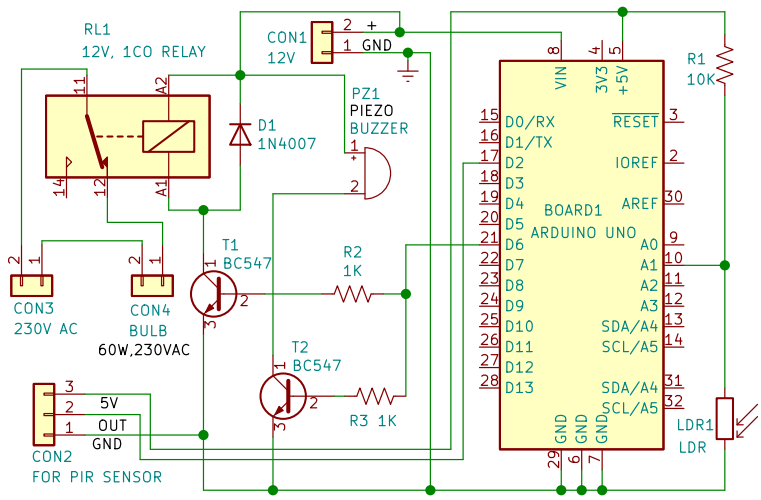
Schemat układu pokazano na **rysunku 2**. Układ składa się z modułu Arduino Uno (BOARD1), czujnika PIR dołączonego przez złącze CON2, dwóch tranzystorów NPN BC547 (T1, T2), przekaźnika na 12 V (RL1), małego fotorezystora (LDR1), brzęczyka piezoelektrycznego (PZ1), żarówki 230 V 60 W podłączonej przez CON4 i kilku innych elementów.

Sercem światła alarmowego jest pasywny czujnik podczerwieni (PIR). Czujnik taki zawiera element wykonany ze specjalnego materiału wrażliwego na promieniowanie podczerwone, niewidoczne dla ludzkiego oka. Dzięki wykrywaniu zmian promieniowania podczerwonego można wykrywać obecność poruszających się osób. Czujnik wykrywa ruch, rejestrując zmiany promieniowania podczerwonego docierającego z obserwowanego obszaru, na przykład gdy człowiek przechodzi obok niego. Po wykryciu ruchu zmienia stan sygnału wyjściowego. Moduł PIR zawiera dwa potencjometry regulacyjne: jeden do ustawiania czasu podtrzymania sygnału wyjściowego, a drugi do regulacji czułości. Przed użyciem czujnika w układzie można ustawić te parametry, dobierając minimalny czas podtrzymania sygnału i odpowiednią czułość.

Światło alarmowe uaktywnia się tylko w nocy dzięki zastosowaniu fotorezystora LDR1, który reaguje na poziom oświetlenia. W ciemności jego rezystancja jest duża, wskutek czego napięcie na wejściu analogowym A1 (pin 10) modułu Arduino osiąga wysoki poziom i układ przechodzi w stan czuwania. W ciągu dnia rezystancja fotorezystora maleje, a wraz z nią obniża się napięcie na wejściu A1, co powoduje wyłączenie czuwania. Fotorezystor LDR1 umożliwia zatem określenie, czy poziom oświetlenia jest dostatecznie niski, aby uaktywnić funkcję alarmową.

Używane jest tylko jedno wyjście – D6 (pin 21) modułu Arduino, dołączone do obu tranzystorów T1 i T2.

Działanie układu jest proste. Gdy w nocy czujnik podczerwieni wykryje intruza, wejście logiczne D2 przejdzie w stan wysoki. Zostanie wówczas włączone wyjście



Rysunek 2. Schemat ideowy układu

eprasa.pl 657e0c02ec

```
Nightsecuritylight
/*
 * Suresh Dwivedi
 * For electronics for you
 */

// Relay pin is controlled with D6.
int relay = 6;
volatile byte relayState = LOW;

// PIR Motion Sensor is connected to D2.
int PIRInterrupt = 2;

// LDR pin is connected to Analog 1
int LDRPin = A1;
// LDR value is stored on LDR reading
int LDRReading;
// LDR Threshold value
int LDRThreshold = 300;

// Timer Variables
long lastDebounceTime = 0;
long debounceDelay = 10000;

void setup() {
  // Pin for relay module set as output
  pinMode(relay, OUTPUT);
  digitalWrite(relay, HIGH);
  // PIR motion sensor set as an input
  pinMode(PIRInterrupt, INPUT);
```

Rysunek 3. Kod źródłowy

D6, co spowoduje, że tranzystory T1 i T2 zaczną przewodzić. T1 steruje przekaźnikiem, a T2 – brzęczykiem piezoelektrycznym. Zostanie zasilona cewka przekaźnika RL1, a jego styki włączą światło w obwodzie 230 V. Jednocześnie włączy się brzęczyk piezoelektryczny. Zarówno światło, jak i brzęczyk pozostaną włączone przez dziesięć sekund. Wystarczy to, by na przykład zaalarmować ochronę budynku.

Wykaz elementów:

Półprzewodniki:
BOARD1: Moduł Arduino Uno
T1, T2: Tranzystory NPN BC547
D1: Dioda prostownicza 1N4007

Rezystory: (wszystkie węglowe, 1/4 W, ±5%)
R1: 10 kΩ
R2, R3: 1 kΩ

Pozostałe:
CON1, CON3, CON4: Złącza 2-pinowe
CON2: Złącze 3-pinowe do czujnika PIR
LDR1: Fotorezystor
RL1: Przekaźnik, cewka 12 V, 1 styk zwierny
PZ1: Brzęczyk piezoelektryczny
Czujnik ruchu PIR
Płytka stykowa
Przewody połączeniowe
Żarówka 230 V 60 W

Oprogramowanie

Program został napisany w środowisku Arduino IDE w wersji 1.8.5. Przed wgraniem szkicu do modułu Arduino należy się upewnić, że w środowisku został wybrany właściwy rodzaj płytki. Po wybraniu portu wgrywamy do modułu plik szkicu Nightsecuritylight.ino. Zrzut ekranu kodu źródłowego przedstawia **rysunek 3**.

Konstrukcja i testowanie

Do przesłania kodu źródłowego używamy kabla USB łączącego moduł Arduino z laptopem lub komputerem stacjonarnym. Po przesłaniu kodu źródłowego kabel odłączamy i zasilamy układ z baterii lub akumulatora 12 V.

Układ montujemy według schematu i umieszczamy w odpowiedniej obudowie. Fotorezystor LDR1 musi znajdować się w jej górnej części, aby w ciągu dnia był dobrze oświetlony. Należy się upewnić, że na fotorezystor nie pada światło włączanej żarówki. Złącze żarówki i brzęczyk mocujemy z tyłu obudowy. Żarówkę można umieścić w dowolnym miejscu i dołączyć za pomocą przedłużacza sieciowego. Czujnik PIR umieszczamy na jednym z boków obudowy, tak aby mógł wykrywać ruch osób. Zasilanie 12 V podłączamy do złącza DC modułu Arduino. Zamiast baterii lub akumulatora można użyć sieciowego zasilacza napięcia stałego. ■

S. C. Dwivedi

Przypisy redaktora:

Złącza CON3 i CON4 muszą być przystosowane do napięcia przemiennego 230 V.

Fotorezystor może być niemal dowolnego typu, jednak w przypadku zastosowania elementu o innych parametrach może być konieczne dobranie wartości rezystora R1 i/lub odpowiednia zmiana wartości progowej w programie. Rezystor R1 powinien mieć wartość około 10 razy większą niż rezystancja oświetlonego fotorezystora. Dla PGM5506 rezystancja ta wynosi 2...6 kΩ, odpowiedni będzie zatem rezystor 68 kΩ. Zamiast rezystora stałego zaleca się użycie potencjometru montażowego 100...200 kΩ.

Moduły czujników PIR z wyjściem cyfrowym można nabyć w sklepach internetowych.

Materiał filmowy do artykułu:
- https://youtu.be/ButjIbIhrWI
- https://youtu.be/Aw6wffo6OqI

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

Ten artykuł był wcześniej opublikowany na łamach „EFY", listopad 2023 (efymag.com)

REKLAMA

eprasa.pl 657e0c02ec

Jak używać darmowych rozwiązań opartych na sztucznej inteligencji

Istnieje wiele darmowych i otwartych platform i narzędzi dla projektantów, opartych na sztucznej inteligencji (AI). Czy powinniśmy z nich korzystać? A może raczej obchodzić je szerokim łukiem?

Systemy sztucznej inteligencji są dziś wszędzie. Potrafią robić niewiarygodne rzeczy, takie jak przewidywanie zachowań i rozpoznawanie wzorców.

Wiele dużych firm technologicznych dołącza rozwiązania sztucznej inteligencji do produkowanego przez siebie sprzętu. Apple wprowadziło je do swoich układów scalonych, w których wykonywane są różne operacje uczenia maszynowego (ML). Nawet procesory graficzne mają obecnie pewne rozwiązania związane ze sztuczną inteligencją, poprawiające ich wydajność. Takie rozwiązania nie istniały jeszcze kilka lat temu.

Sztuczna inteligencja to koszty

Ale sztuczna inteligencja nie jest tania. Od jakiegoś czasu korzystamy z klasycznej sztucznej inteligencji. Jednak wraz z pojawieniem się sieci neuronowych sytuacja zmieniła się drastycznie. Osiągnęliśmy stan, w którym można po prostu wysłać zapytanie i otrzymać sztucznie wygenerowane obrazy wykraczające poza możliwości naszej wyobraźni.

Sieci neuronowe zostały odkryte ponad dwadzieścia lat temu, a powodem, dla którego je wprowadzono, były obliczenia. W tamtych czasach dodawanie warstw obliczeniowych nie było łatwe i wymagało ogromnych nakładów. Dziś jednak tak nie jest.

Uczenie maszynowe (ML) angażuje zaawansowany aparat matematyczny i wymaga dużej wiedzy statystycznej. W tym przypadku zastosowanie rozwiązań sztucznej inteligencji nie jest bynajmniej dziecinnie proste, ponieważ wymaga dokładnego poznania każdego ich aspektu. Tylko wtedy będziemy w stanie tworzyć odpowiednie modele i je stosować.

Opanowanie narzędzi takich jak TensorFlow i Keras w celu uruchomienia własnych serwerów nie jest zadaniem łatwym. Dlatego właśnie potrzebujemy darmowych i otwartych rozwiązań AI. Był czas, kiedy również korzystanie z rozwiązań ML nie było proste, ponieważ wymagało wykonania mnóstwa kroków. Dziś na szczęście się to zmieniło, ponieważ można wybrać model, który najlepiej odpowiada naszym potrzebom.

Wskaźnik fragmentacji DNA

Podam przykład. Mój przyjaciel embriolog poprosił mnie o stworzenie modelu ML do zliczania zdrowych i niezdrowych plemników. Wcześniej u każdego pacjenta plemniki zliczano ręcznie. Aby to zmienić, stworzyliśmy model uczenia maszynowego, który wykorzystuje zdjęcia plemników do ich rozróżniania (**rysunek 1**).

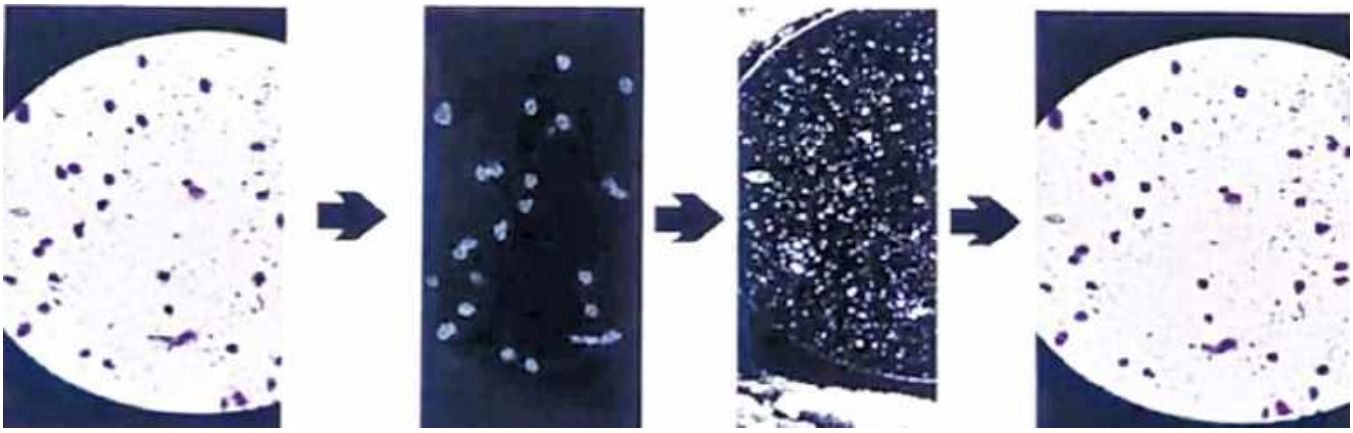
Model liczył stosunek liczby plemników rozpryśniętych (niezdrowych) do normalnych i określał wynik końcowy. Większość czasu spędziliśmy na przetwarzaniu wstępnym. Następnie zastosowaliśmy separację odcieni. W celu przeprowadzenia segmentacji użyliśmy analizy korelacji kanonicznej (CCA) oraz paru innych operacji ortogonalnych.

Na utworzenie tego modelu uczenia maszynowego miałem tylko kilka dni, a zbudowanie precyzyjnego modelu w tak krótkim czasie nie jest zadaniem łatwym. Skorzystałem więc z rozwiązania open source firmy Microsoft o nazwie Custom Vision, do którego można przesłać zdjęcia i w którym łatwo można przeprowadzić trenowanie i ocenę.

Czym jest Custom Vision

Istnieją rozwiązania otwarte, z których można korzystać bezpłatnie. Jednym z nich jest Custom Vision firmy Microsoft.

eprasa.pl 657e0c02ec



Rysunek 1. Separacja odcieni i segmentacja

Można tu przesyłać, trenować i oceniać zdjęcia i rysunki. Wystarczy go otworzyć i zalogować się do niego.

Po zalogowaniu po prawej stronie widzimy szereg modeli już wstępnie wytrenowanych. Użytkownik może któryś wybrać i trenować dalej na podstawie dostarczonych danych. Można ustawić rozpoznawanie ogólne obiektów lub wybrać coś bardziej specyficznego, jak produkty detaliczne czy zwierzęta. Gdy skończymy, możemy kontynuować dodawanie obrazów i nadawać im etykiety.

Najlepsze jest to, że Custom Vision nie wymaga pisania żadnego programu. Istnieją dwa warianty szkoleniowe: szybki i zaawansowany. Wersja szybka jest dla każdego bezpłatna, natomiast wersja zaawansowana wymaga opłacenia.

Na końcu procesu uczenia dostarczane są wyniki. Otrzymuje się również dane uwierzytelniające, które można wykorzystać za pośrednictwem interfejsu programowania aplikacji (API). Interfejsu można użyć do sprawdzania działania modelu przy użyciu zestawu testowego.

Custom Vision nie jest jedynym dostępnym rozwiązaniem. Istnieją inne, jak na przykład Lobe. Niektóre mogą być nawet bardziej kreatywne. W Custom Vision nie można wykonywać przetwarzania wstępnego i końcowego.

Przetwarzania takiego można dokonać innym narzędziem o nazwie AutoTrain firmy Hugging Face. Pozwala ono korzystać z programu, który można napisać w aplikacji Jupyter. Narzędzie to zasadniczo prowadzi użytkownika przez cały proces. Hugging Face hostuje na swojej platformie wiele modeli uczenia maszynowego. Niektóre można wykorzystać do udostępniania rezultatów innym. Można jednocześnie uruchomić wiele eksperymentów ML.

Jeśli chcecie założyć własny startup AI i musicie utworzyć pierwszą, minimalną wersję jakiegoś produktu (MVP), będziecie musieli gorączkowo przeprowadzić liczne działania. By uniknąć związanych z tym problemów, możecie wykorzystać rozwiązanie Gradio, które zrobi za Was dosłownie wszystko. Najwyraźniej powoli i systematycznie zmierzamy w kierunku rozwiązań bez pisania kodu, pozwalających twórcom eksperymentować szybko i ekonomicznie.

Jeśli popatrzymy na ogólne wykorzystanie sztucznej inteligencji w Internecie Rzeczy (IoT), to szybko zdamy sobie sprawę, że w wielu zastosowaniach służy ona do rozpoznawania obiektów. Weźmy na przykład sieć sklepów „Amazon Go". Wchodzisz do takiego sklepu, bierzesz z półek, co chcesz, i wychodzisz, a zainstalowane tam systemy po prostu rozpoznają Twoją twarz. Kolejnym przykładem są samochody autonomiczne, które wykorzystują sztuczną inteligencję do prawidłowego działania.

Kiedy nie używać darmowych rozwiązań

Rozwiązań sztucznej inteligencji nie zaleca się używać w następujących przypadkach:

Jeśli Wasz startupowy projekt jest dość specyficzny. Istniejące modele są co prawda trenowane na dużej liczbie danych, ale są to dane ogólnie dostępne i typowe.

Jeśli chcecie znacznie ulepszyć Wasz model sztucznej inteligencji i zrobić coś o wiele bardziej innowacyjnego niż darmowe rozwiązania.

Jeśli chcecie być właścicielem całego procesu od początku do końca i nie pozwalać na udział stronie trzeciej, takiej jak Hugging Face czy Microsoft.

Należy pamiętać, że dziś wcale nie trzeba być ekspertem od sztucznej inteligencji, aby tworzyć własne jej modele, prawidłowo je konfigurować oraz rozumieć koncepcje przetwarzania wstępnego i końcowego. Darmowych rozwiązań jest obecnie wiele. W zasadzie wszystko, czego potrzeba, żeby zacząć, to dobry pomysł. Dzisiejsze możliwości są ogromne w porównaniu z tym, co było jeszcze niedawno.

Artykuł jest oparty na treści wystąpienia technicznego Swapnila Sharmy, inżyniera oprogramowania w firmie LinkedIn, wygłoszonego podczas imprezy India Electronics Week w 2022 roku. Tekst wystąpienia został zredagowany i opracowany przez Laveesha Kochera, współpracownika miesięcznika „Electronics For You", entuzjastę techniki z zacięciem do badania rozwiązań otwartych (open source). ■

Swapnil Sharma

Ten artykuł był wcześniej opublikowany na łamach „EFY", czerwiec 2023 (efymag.com)

REKLAMA

Znajdziesz nas również na Facebooku:
facebook.com/ElportalPL

eprasa.pl 657e0c02ec

ELEKTRONIKA dla wszystkich
nr 09/2026 (27)
JUNIOR

W chwili, gdy piszę te słowa, wakacje powoli chylą się ku końcowi. Jedni zaczynają już rozglądać się za szkolnymi przyborami, książkami i plecakami, inni starają się jeszcze złapać ostatnie ciepłe promienie letniego słońca. Pozostała część społeczeństwa z zapałem tropi pumy, które dziwnym trafem rozpierzchły się od gór po doliny naszego jakże bogatego we florę i faunę kraju. Cóż, któż by przypuszczał!

Żarty żartami, ale uwagi i ostrożności nigdy za wiele, bo puma to jednak dzikie zwierzę, a zawsze lepiej zapobiegać niż uciekać – czy jakoś tak. Zresztą przed dzikim kotem pokaźnych rozmiarów uciec raczej i tak nie mielibyśmy większych szans.

My jednak zajmiemy się czymś zupełnie innym. Na zakończenie wakacji sprawimy porządnego psikusa komuś, kogo być może poznaliśmy na wakacyjnym obozie, kolonii albo podczas jednej z letnich wypraw. I oczywiście wykorzystamy do tego elektronikę!

Zanim jednak chwycimy za lutownice, ustalmy jedną bardzo ważną zasadę. Dobry psikus powinien być życzliwy i serdeczny. Ma wywołać uśmiech po obu stronach i stać się pretekstem do wspólnej zabawy. Kończy się dokładnie w tym momencie, w którym dla drugiej osoby przestaje być zabawny. Nie robimy niczego na przekór czyjejś narastającej frustracji ani kosztem czyjegoś dobrego samopoczucia.

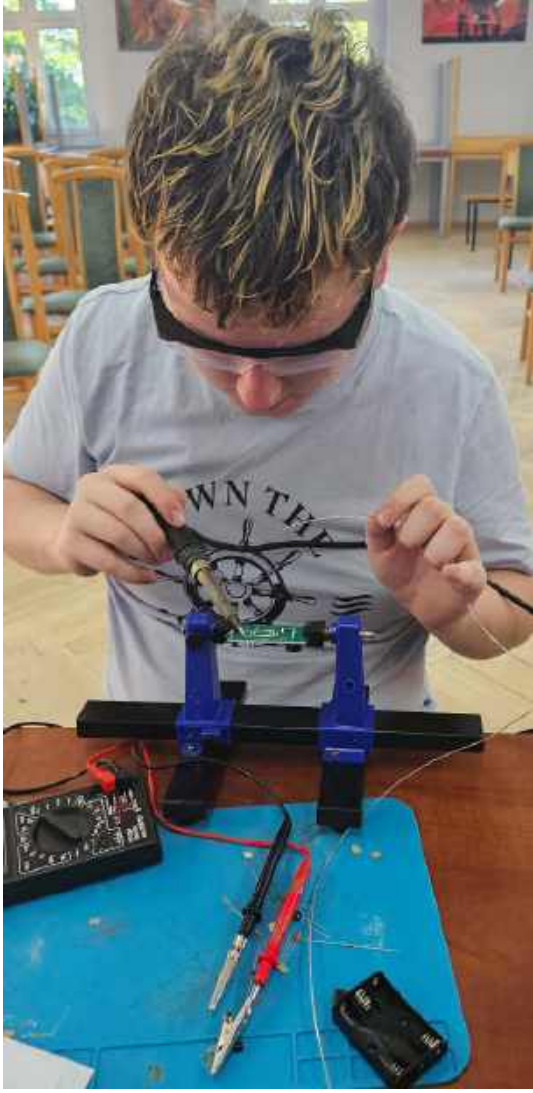
W końcu my, elektronicy, jesteśmy przede wszystkim od budowania, a nie niszczenia. Budujemy urządzenia, układy i konstrukcje, ale możemy też budować coś znacznie ważniejszego – dobre relacje z innymi ludźmi. A skoro już mamy wybór, bądźmy inżynierami właśnie tych najlepszych i najpiękniejszych relacji.

I dopiero teraz możemy zabrać się za budowę urządzenia, które – użyte z głową i poczuciem humoru – pozwoli nam sprawić komuś naprawdę niezłego psikusa, a przy tym zapewni masę frajdy. Koniecznie wzajemnej!

A przechodząc do sedna sprawy… czy zdarzyło Ci się kiedyś usłyszeć w pokoju jakiś dziwny dźwięk i nie móc ustalić, skąd właściwie dochodzi? Krótkie „piiip", potem cisza. Rozglądasz się – nic. Po chwili znowu „piiip". Zaczynasz szukać, ale gdy zapalasz światło, tajemniczy dźwięk znika. Wyłączasz je i po pewnym czasie… znowu to samo.

Jeżeli brzmi to jak dobry materiał na wspomnianego, niewinnego psikusa, to trafiłeś idealnie, bo podczas naszych zajęć zbudujemy urządzenie, którego konstruktorzy nawet nie próbują udawać, że ma jakieś poważne zastosowanie. Jego zadanie jest jedno: robić znajomym dowcipy. Tak przynajmniej przedstawia je oryginalna instrukcja zestawu.

Cały pomysł jest bardzo prosty. Pipek co pewien czas wydaje krótki, piskliwy dźwięk. Jest jednak pewien haczyk – robi to tylko w ciemności. Gdy zrobi się jasno, urządzenie milknie. Dzięki temu osoba próbująca odnaleźć źródło tajemniczego pisku może mieć z tym niemały problem.

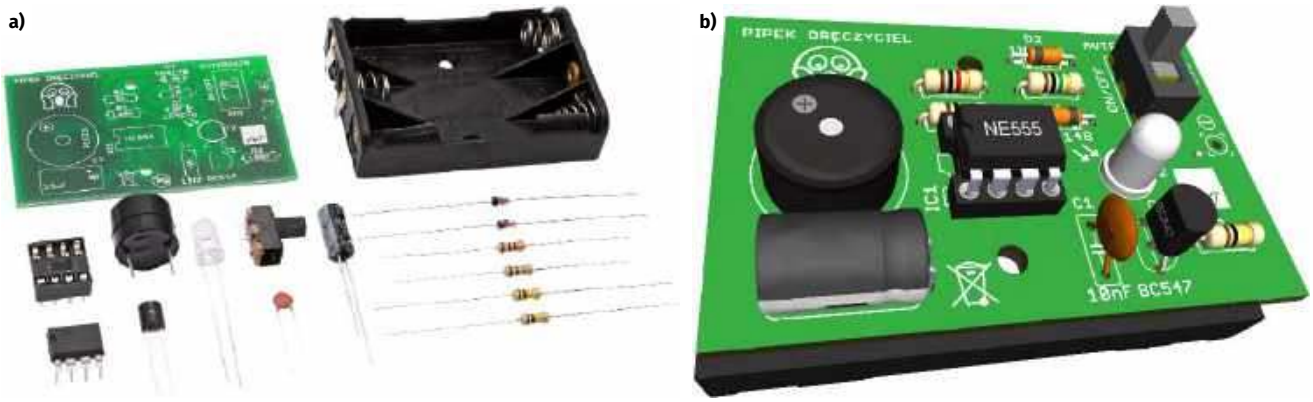


Fotografia 1. Dawid to bez wątpienia największy entuzjasta naszych zajęć – właśnie montuje układ, dzięki któremu już wkrótce sprawi znajomym niejednego psikusa. Młodzi Entuzjaści Elektroniki, Szkoła Podstawowa nr 86, Wrocław

Wystarczy bowiem zapalić światło, aby Pipek zupełnie zamilkł.

Co zbudujemy tym razem?

Bohaterem tego odcinka będzie zestaw **AVTEDU625: Pipek dręczyciel – reaktywacja**. To niewielki układ elektroniczny zasilany trzema bateriami AAA, wyposażony w fototranzystor wykrywający poziom



Rysunek 1. Pipek dręczyciel – reaktywacja (kod AVTEDU625), a) zestaw do samodzielnego złożenia; b) zmontowany układ

eprasa.pl 657e0c02ec

Wykaz elementów:
Rezystory:
R1: 1 kΩ (brązowy-czarny-czerwony-złoty)
R2, R3: 100 kΩ (brązowy-czarny-żółty-złoty)
R4: 1 MΩ (brązowy-czarny-zielony-złoty)

Kondensatory:
C1: 10 nF (może być opisany jako 103 lub 0.01)
C2: 33 µF (elektrolityczny na napięcie 6,3 V lub wyższe)

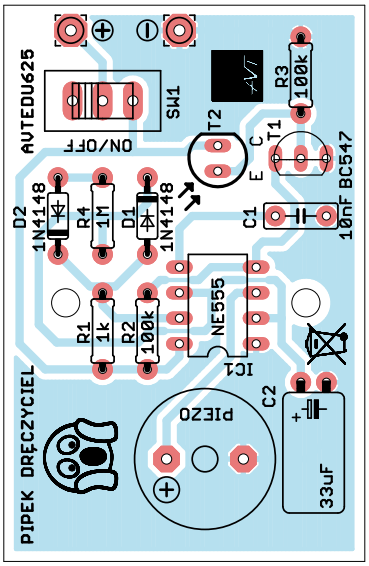
Półprzewodniki:
D1, D2: 1N4148
T1: BC547 (lub podobny tranzystor NPN)
T2: fototranzystor
IC1: układ NE555 + podstawka DIL8

Pozostałe:
PIEZO: sygnalizator akustyczny piezoelektryczny (buzzer aktywny)
SW1: przełącznik suwakowy typu SS02-12F20
Koszyk baterii: 3 × AAA

oświetlenia oraz sygnalizator piezoelektryczny, który jest źródłem charakterystycznego dźwięku.

Sercem urządzenia jest popularny układ scalony NE555. Towarzyszy mu zaledwie kilka rezystorów, dwa kondensatory, tranzystor BC547, dwie diody 1N4148 i fototranzystor. Mimo tak niewielkiej liczby elementów powstaje urządzenie reagujące na otoczenie – zachowuje się inaczej w świetle, a inaczej w ciemności.

Wszystko to sprawia, że Pipek jest ciekawym – wręcz idealnym – projektem na nasze zajęcia. Oprócz regularnego treningu lutowania stanie się czymś, co ma szansę konstruktywnie zaabsorbować nie tylko żądny nowej wiedzy intelekt, lecz także równie żądnego przygód wewnętrznego dzieciaka, którego – jak ufam – nosi w sobie każda i każdy z nas. I tego, żebyśmy nigdy z tego wewnętrznego dzieciaka nie wyrośli, szczerze nam wszystkim, a także sobie, na wszystkie przyszłe lata życzę.



Rysunek 2. Schemat montażowy układu

A teraz, już bez przeciągania, zabieramy się do działania, a przy okazji możemy snuć rozważania, komu też sprawimy pierwszego psikusa. Zestaw do samodzielnego złożenia pokazano na **rysunku 1a**, natomiast na **rysunku 1b** zaprezentowano układ gotowy do użycia.

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, układów scalonych i innych podzespołów, ponieważ wszystkie komponenty są oznaczone takimi samymi desygnatorami na schemacie montażowym, liście elementów oraz 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 niewłaściwej 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 2**.

Montaż rezystorów

Zgodnie z informacjami z listy elementów przylutuj do płytki 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 on określoną rezystancję – właściwość powodującą spadek napięcia podczas przepływu prądu. Energia elektryczna zamienia się w nim w ciepło, co jest naturalnym skutkiem przepływu prądu przez rezystancję.
- Rezystor nie ma biegunowości – działa tak samo niezależnie od kierunku przepływu prądu. Dlatego podczas jego montażu na płytce nie trzeba zwracać uwagi na orientację. Ważne jest jedynie, aby w danym miejscu umieścić

Zanim przystąpisz do montażu, zapoznaj się z instrukcjami dostępnymi online:

Lutowanie komponentów przewlekanych do płytki drukowanej
https://elportal.pl/files/2026/02/15/3678-lutowanie-komponentow-przewlekanych-do-plytki-drukowanej.pdf

Montaż przyjazny naprawom + Przycinanie nadmiaru wyprowadzeń
https://elportal.pl/files/2026/02/15/3679-montaz-przyjazny-naprawom-przycinanie-nadmiaru-wyprowadzen.pdf

Zagadnienia BHP związane z lutowaniem
https://elportal.pl/files/2026/02/15/3680-zagadnienia-bhp-zwiazane-z-lutowaniem.pdf

Zagadnienia BHP związane z przycinaniem nadmiaru wyprowadzeń
https://elportal.pl/files/2026/02/15/3681-zagadnienia-bhp-zwiazane-z-przycinaniem-nadmiaru-wyprowadzen.pdf

Zagadnienia BHP związane z uruchamianiem zmontowanego układu
https://elportal.pl/files/2026/02/15/3682-zagadnienia-bhp-zwiazane-zuruchamianiem-zmontowanego-ukladu.pdf

eprasa.pl 657e0c02ec

rezystor o właściwej wartości. Kierunek jego 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 (**rysunek 3**) 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.

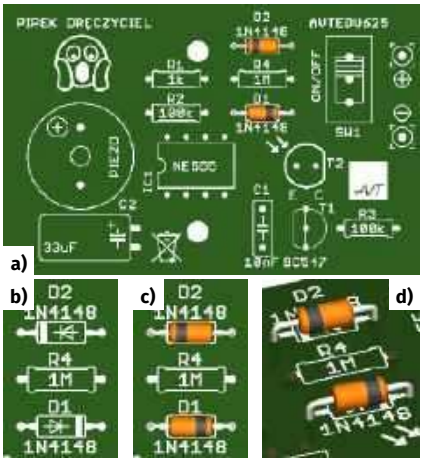
Rysunek 3. Rezystory o odpowiednich wartościach, oznaczone za pomocą kodu kolorowych pasków, zamontowane na właściwych pozycjach zgodnie z listą elementów

- Przylutuj element do płytki. Jeśli nie wiesz, jak to zrobić, lub chcesz upewnić się, że wykonujesz tę czynność prawidłowo, przeczytaj sekcję *Zanim przystąpisz do montażu…* oraz zapoznaj się z dostępnymi poradnikami, w szczególności z instrukcjami BHP.
- Usuń nadmiar wyprowadzeń za pomocą obcinaczek. Jeśli nie wiesz, jak to zrobić, lub chcesz upewnić się, że wykonujesz tę czynność prawidłowo, przeczytaj sekcję *Zanim przystąpisz do montażu…* oraz zapoznaj się z dostępnymi poradnikami, w szczególności z instrukcjami BHP.

Montaż diod sygnałowych

Zgodnie z informacjami z listy elementów przylutuj diody sygnałowe D2…D6 we wskazanych lokalizacjach. Przed przystąpieniem do tej czynności zapoznaj się ze wskazówkami poniżej.

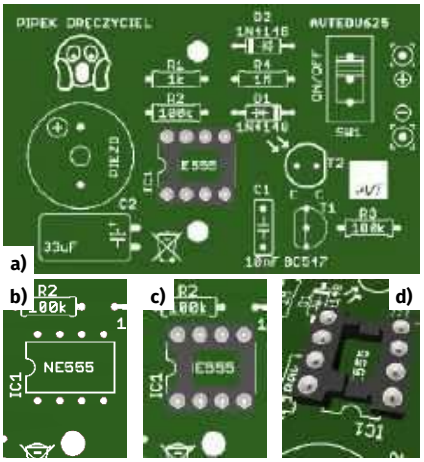
- Dioda sygnałowa jest elementem, który przewodzi prąd głównie w jednym kierunku, a blokuje jego przepływ w kierunku przeciwnym. Wynika to z właściwości złącza półprzewodnikowego, które przy odpowiedniej polaryzacji przewodzi, a przy odwrotnej – pozostaje zamknięte. Dzięki temu diody sygnałowe umożliwiają 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 z oznaczeniem na płytce drukowanej. Umieszczenie diody w niewłaściwym kierunku spowoduje, że nie będzie ona prawidłowo działała 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.



Rysunek 4. a) lokalizacja elementów na płytce; b) obrys komponentów na płytce PCB uwzględniający pasek polaryzacji; c), d) poprawny montaż tych elementów z uwzględnieniem kierunku

- 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 tę czynność 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 tę czynność prawidłowo, przeczytaj sekcję *Przycinanie nadmiaru wyprowadzeń*. Nieco poniżej znajdziesz również informacje, jak wykonać

eprasa.pl 657e0c02ec



Rysunek 5. a) lokalizacja podstawki na płytce; b), c), d) poprawny montaż tego elementu z uwzględnieniem kierunku

tę czynność w sposób bezpieczny dla siebie i pozostałych uczestników zajęć.

Montaż podstawki pod układ scalony

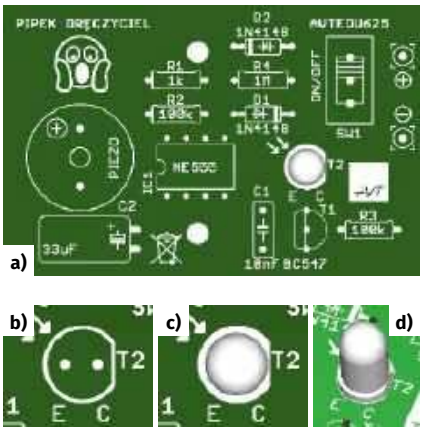
Przylutuj do płytki podstawkę pod układ IC1. Przed przystąpieniem do tej czynności zapoznaj się ze wskazówkami poniżej.

- 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 5**). 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, lub chcesz upewnić się, że wykonujesz tę czynność prawidłowo, przeczytaj sekcję *Zanim przystąpisz do montażu…* oraz zapoznaj się z dostępnymi poradnikami, w szczególności z instrukcjami BHP.
- Podczas lutowania pinów do płytki staraj się, by pomiędzy lutowanymi wyprowadzeniami nie powstały niechciane połączenia, czyli zwarcia, zwane również mostkami lutowniczymi. Jeśli podczas lutowania pojawią się zwarcia, najłatwiej będzie, trzymając płytkę jedną ręką, ustawić ją pod kątem prostym względem blatu. Następnie należy ponownie podgrzać połączone pola lutownicze oraz przy pomocy grotu lutownicy i siły grawitacji pozwolić nadmiarowi cyny spłynąć na blat. Dzięki temu uwolnisz pady podstawki od zwarć.
- W przypadku podstawek nie ma potrzeby przycinania wyprowadzeń. Po przylutowaniu pozostaw je w oryginalnej długości.

Montaż fototranzystora

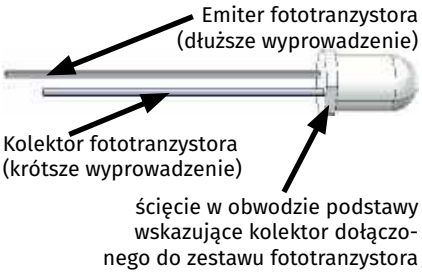
Zgodnie z informacjami z listy elementów na odpowiedniej pozycji i pamiętając o właściwej polaryzacji przylutuj fototranzystor T2. Przed przylutowaniem fototranzystora do płytki zapoznaj się ze wskazówkami poniżej.

- Fototranzystor to element światłoczuły, którego działanie można porównać do zwykłego tranzystora, ale takiego sterowanego światłem. Padające na niego światło powoduje przepływ prądu między kolektorem a emiterem. Im silniejsze jest oświetlenie, tym większy może być ten prąd. Dzięki temu fototranzystory stosuje się między innymi do wykrywania światła, cienia lub zmian natężenia oświetlenia.
- Fototranzystor może wyglądać niemal identycznie jak zwykła dioda LED. Szczególnie łatwo pomylić go z diodą LED w przezroczystej, bezbarwnej obudowie o średnicy 5 mm. Podobny wygląd nie oznacza jednak podobnego działania – dioda LED emituje światło, natomiast fototranzystor je wykrywa. Dlatego przed montażem warto upewnić się, że wybrany został właściwy element.
- Fototranzystory różnią się między sobą parametrami, między innymi czułością, zakresem wykrywanych długości fal oraz prądem kolektora uzyskiwanym przy określonym oświetleniu. Z tego powodu nie każdy typ fototranzystora będzie prawidłowo pracował w każdym układzie. Zastosowanie elementu o zbyt małej czułości może sprawić, że układ będzie reagował dopiero na bardzo silne światło albo nie zadziała wcale. Dlatego podczas montażu należy stosować typ podany w liście elementów lub jego sprawdzony zamiennik o odpowiednich parametrach.
- Chociaż fototranzystor jest szczególnym przypadkiem tranzystora, często ma tylko dwie nóżki – kolektor i emiter. W zwykłym tranzystorze trzecim wyprowadzeniem jest baza, do której doprowadza się prąd sterujący. W fototranzystorze jej rolę pełni padające światło, dlatego w wielu popularnych fototranzystorach baza nie jest wyprowadzona na zewnątrz. Nie oznacza to więc, że „brakuje" jednej nóżki – taka konstrukcja jest całkowicie prawidłowa.
- Fototranzystor należy zamontować we właściwym kierunku, ponieważ jego wyprowadzenia nie są zamienne. W typowej obudowie przypominającej diodę LED jedna nóżka jest dłuższa od drugiej, jednak nie należy bez sprawdzenia przyjmować zasad obowiązujących dla diod LED. Przyporządkowanie dłuższej i krótszej nóżki do kolektora i emitera może zależeć od konkretnego typu fototranzystora. Przed montażem należy więc sprawdzić jego dokumentację oraz oznaczenia na płytce drukowanej.



Rysunek 6. a) lokalizacja fototranzystora na płytce; b), c), d) poprawny montaż tego elementu z uwzględnieniem jego obrotu (zwróć uwagę na fragment prostej linii w obrysie fototranzystora dołączonego do zestawu, wskazujący kolektor)

eprasa.pl 657e0c02ec



Rysunek 7. Opis wyprowadzeń fototranzystora dołączonego do zestawu (dłuższe wyprowadzenie jest emiterem, natomiast krótsze – kolektorem)

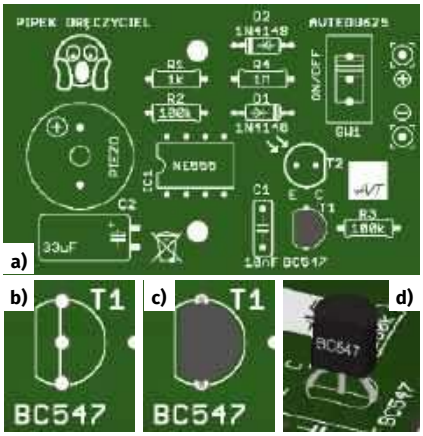
Do zestawu dołączono element, którego dłuższa nóżka jest emiterem, a krótsza – kolektorem (**rysunek 7**).

- Podczas montażu trzeba również zwrócić uwagę na ustawienie fototranzystora. Jego światłoczuła część powinna być skierowana w stronę, z której ma docierać światło. Jeśli element ma reagować na oświetlenie otoczenia lub zasłonięcie dłonią, nie powinien być przesłonięty przez inne elementy płytki ani zamontowany w sposób ograniczający dostęp światła.
- Ze względu na podobieństwo do diod LED fototranzystor najlepiej od razu odłożyć osobno i nie mieszać go z pozostałymi elementami w przezroczystych obudowach. Pozwoli to uniknąć pomyłki, która może być trudna do zauważenia po przylutowaniu elementów do płytki.
- Jeśli upewniłeś się co do właściwej polaryzacji, przylutuj element do płytki. Jeśli nie wiesz, jak to zrobić, lub chcesz upewnić się, że wykonujesz tę czynność prawidłowo, przeczytaj sekcję *Zanim przystąpisz do montażu…* oraz zapoznaj się z dostępnymi poradnikami, w szczególności z instrukcjami BHP.
- Usuń nadmiar wyprowadzeń za pomocą obcinaczek. Jeśli nie wiesz, jak to zrobić, lub chcesz upewnić się, że wykonujesz tę czynność prawidłowo, przeczytaj sekcję *Zanim przystąpisz do montażu…* oraz zapoznaj się z dostępnymi poradnikami, w szczególności z instrukcjami BHP.

Montaż tranzystora

Zgodnie z informacjami z listy elementów przylutuj tranzystor NPN (T1) we wskazanej lokalizacji. 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 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 odpowiadały 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 ustawiona pionowo, a wyprowadzenia równomiernie dociśnięte do płytki. Przechylony tranzystor nie tylko wygląda nieestetycznie, ale jest też 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.



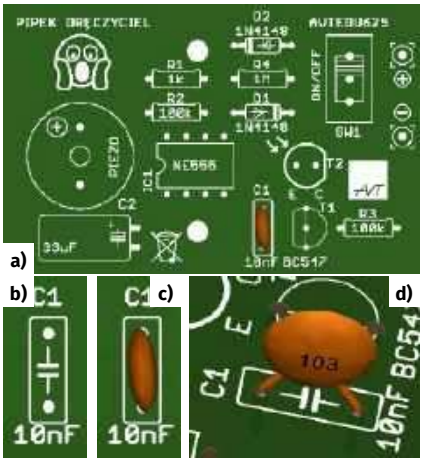
Rysunek 8. a) lokalizacja elementu na płytce; b), c), d) poprawny montaż tego elementu z uwzględnieniem jego obrotu

Montaż kondensatora ceramicznego

Zgodnie z informacjami z listy elementów przylutuj dostępny w zestawie kondensator stały we wskazanej lokalizacji. Przed przystąpieniem do tej czynności zapoznaj się ze wskazówkami poniżej.

- Kondensator stały (na przykład foliowy lub ceramiczny) 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 stałe w większości przypadków nie mają biegunowości,

eprasa.pl 657e0c02ec



Rysunek 9. Lokalizacja elementu na płytce oraz jego poprawny montaż. Element dostarczony w zestawie może różnić się typem, obudową oraz kolorem od tego pokazanego na rysunku

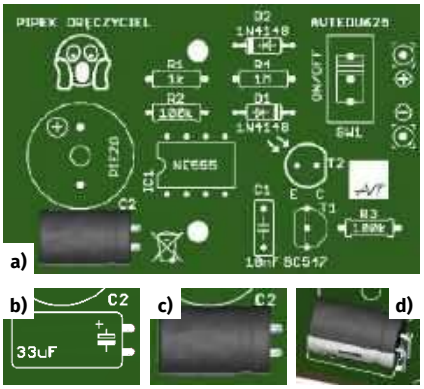
co oznacza, że można je montować w dowolną stronę. Wyjątkiem są rzadko spotykane konstrukcje oznaczone dodatkowym paskiem lub symbolem elektrody zewnętrznej – jeśli takie oznaczenie występuje, należy postępować zgodnie z opisem w dokumentacji. W typowych projektach edukacyjnych kondensatory foliowe można 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 liście – 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 stałe 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.

Montaż kondensatora elektrolitycznego

Zgodnie z informacjami z listy elementów przylutuj kondensator elektrolityczny o odpowiedniej pojemności we wskazanej lokalizacji. Przed przystąpieniem do tej czynności zapoznaj się ze wskazówkami poniżej.

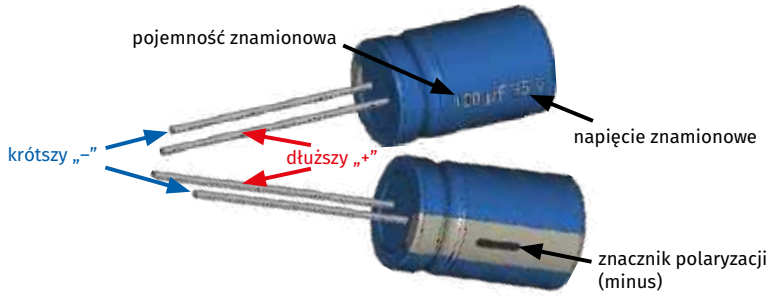
- Kondensator elektrolityczny to element spolaryzowany, który może magazynować stosunkowo duży ładunek elektryczny i pełnić w układzie różne funkcje: stabilizować napięcie, wygładzać tętnienia, filtrować zakłócenia lub dostarczać krótkotrwałych impulsów prądowych. Dzięki dużej pojemności w niewielkiej 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 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 (na przykład „100 µF/35 V") i porównaj go z informacją w liście elementów.



Rysunek 10. a) lokalizacja kondensatora elektrolitycznego na płytce; b), c), d) poprawny montaż tego elementu z uwzględnieniem poprawnej polaryzacji

- 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 element do płytki. Jeśli nie wiesz, jak to zrobić, lub chcesz upewnić się, że wykonujesz tę czynność prawidłowo, przeczytaj sekcję *Zanim przystąpisz do montażu…* oraz zapoznaj się z dostępnymi poradnikami, w szczególności z instrukcjami BHP.
- Usuń nadmiar wyprowadzeń za pomocą obcinaczek. Jeśli nie wiesz, jak to zrobić, lub chcesz upewnić się, że wykonujesz tę czynność prawidłowo, przeczytaj sekcję *Zanim przystąpisz do montażu…* oraz zapoznaj się z dostępnymi poradnikami, w szczególności z instrukcjami BHP.
- **Pamiętaj o bezpieczeństwie. Kondensator elektrolityczny**

eprasa.pl 657e0c02ec



Rysunek 11. Na korpusie kondensatora elektrolitycznego odnajdziesz – między innymi – informacje o nominalnej pojemności oraz dopuszczalnym napięciu pracy a także znacznik polaryzacji

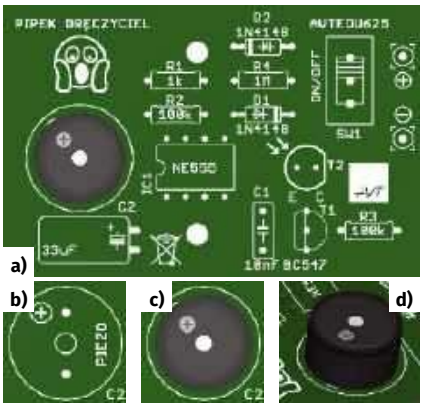
zamontowany odwrotnie lub podłączony do wyższego niż znamionowe napięcie może ulec uszkodzeniu, a nawet gwałtownie wybuchnąć. Dlatego przed pierwszym podłączeniem zasilania zawsze upewnij się, że został zamontowany poprawnie i ma właściwe parametry.

- **Przed pierwszym podłączeniem napięcia do układu zawierającego kondensatory elektrolityczne obowiązkowo zakładaj okulary ochronne.**

Montaż buzzera aktywnego piezo

Zgodnie z informacjami z listy elementów przylutuj buzzer aktywny, PIEZO we wskazanej lokalizacji. Przed przystąpieniem do tej czynności zapoznaj się ze wskazówkami poniżej.

- Aktywny buzzer piezoelektryczny jest elementem elektroakustycznym wyposażonym we własny układ generatora. W przeciwieństwie do buzzera pasywnego nie wymaga zewnętrznego sygnału zmiennego o określonej częstotliwości. Po podaniu właściwego napięcia stałego sam zaczyna generować dźwięk.
- Aktywny buzzer piezo ma biegunowość, dlatego podczas montażu należy zwrócić uwagę na oznaczenia wyprowadzeń. Zazwyczaj na obudowie znajduje się znak „+”, który wskazuje wyprowadzenie dodatnie. Biegunowość powinna być zgodna z oznaczeniami na płytce drukowanej.
- Buzzery aktywne i pasywne mogą wyglądać bardzo podobnie, dlatego nie należy rozpoznawać ich wyłącznie po wyglądzie. Przed montażem sprawdź oznaczenia elementu oraz listę elementów zestawu. Najważniejsza różnica polega na tym, że prawidłowo zasilony buzzer aktywny wydaje dźwięk po podaniu napięcia stałego, natomiast buzzer pasywny wymaga odpowiedniego sygnału zmiennego.
- Aktywne buzzery różnią się między sobą między innymi dopuszczalnym napięciem zasilania, poborem prądu, częstotliwością generowanego dźwięku oraz jego głośnością. Nie każdy buzzer aktywny można więc bezpośrednio zastąpić innym. Należy zastosować typ przewidziany w projekcie lub sprawdzony zamiennik o odpowiednich parametrach.
- Buzzery aktywne są elementami dość wysokimi, dlatego montuje się je po elementach niskich, takich jak rezystory i diody, a przed elementami jeszcze wyższymi.
- Na dołączonej do zestawu liście elementów odszukaj buzzer aktywny, a następnie sprawdź jego desygnator (np. BZ1, LS1, PIEZO) przypisany do konkretnego miejsca na płytce drukowanej.
- Umieść buzzer w płytce, zwracając uwagę na zgodność biegunowości z oznaczeniami na laminacie. Wyprowadzenia powinny przechodzić przez otwory swobodnie, bez użycia siły.
- Dociśnij buzzer do płytki, tak aby jego obudowa przylegała równo do laminatu. Zapewni to stabilność mechaniczną oraz estetyczny wygląd montażu.
- Przylutuj element do płytki. Jeśli nie wiesz, jak to zrobić lub chcesz upewnić się, że wykonujesz tę czynność prawidłowo, przeczytaj sekcję *Zanim przystąpisz do montażu…* oraz zapoznaj się z dostępnymi poradnikami, w szczególności z instrukcjami BHP.
- Usuń nadmiar wyprowadzeń za pomocą obcinaczek. Jeśli nie wiesz, jak to zrobić lub chcesz upewnić się, że wykonujesz tę czynność prawidłowo, przeczytaj sekcję *Zanim przystąpisz do montażu…* oraz zapoznaj się z dostępnymi poradnikami, w szczególności z instrukcjami BHP.

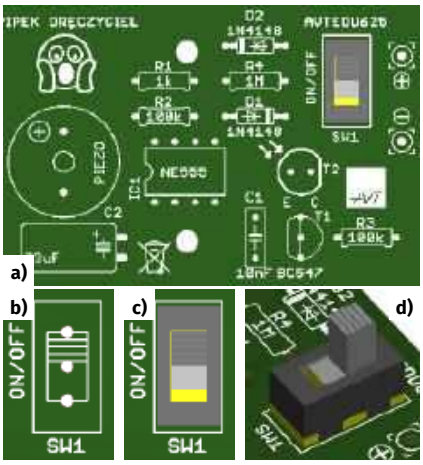


Rysunek 12. a) lokalizacja buzzera aktywnego piezo na płytce; b), c) i d) poprawny montaż tego elementu z uwzględnieniem polaryzacji

Montaż przełącznika zasilania

Zgodnie z informacjami z listy elementów zamontuj przełącznik SW1 na wskazanej lokalizacji. Przed przystąpieniem do tej czynności zapoznaj się ze wskazówkami poniżej.

- Przełącznik zasilania SW1 to element, który przełącza połączenie pomiędzy pinem środkowym a jednym ze skrajnych, zależnie od położenia suwaka. 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 suwaka, 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.



Rysunek 13. a) lokalizacja przełącznika na płytce; b), c), d) poprawny montaż tego elementu

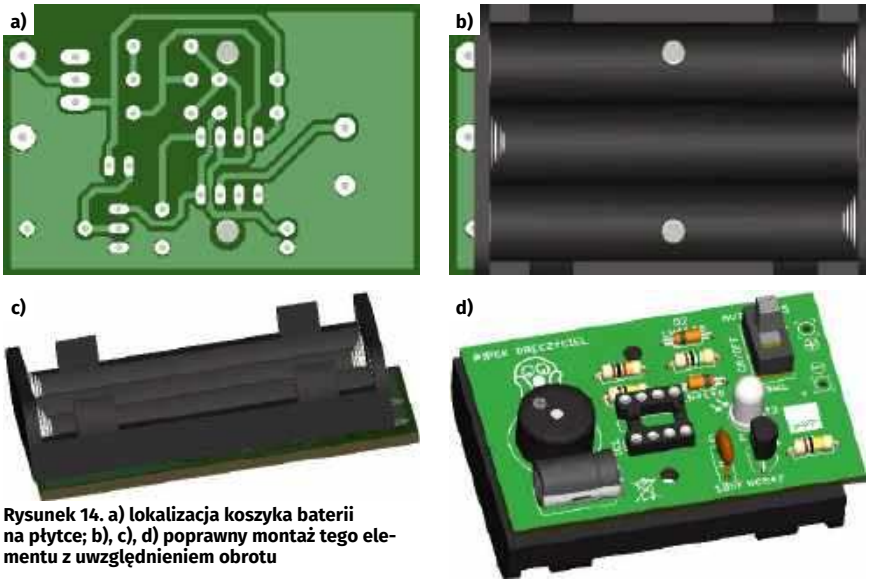
eprasa.pl 657e0c02ec

- 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. Jeśli nie wiesz, jak to zrobić, lub chcesz upewnić się, że wykonujesz tę czynność prawidłowo, przeczytaj sekcję *Zanim przystąpisz do montażu…* oraz zapoznaj się z dostępnymi poradnikami, w szczególności z instrukcjami BHP.
- 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.
- Prawidłowe luty powinny być gładkie, błyszczące i mieć kształt niewielkiego stożka. W przypadku wątpliwości przeczytaj sekcję *Zanim przystąpisz do montażu…* oraz zapoznaj się z dostępnymi poradnikami, w szczególności z instrukcjami BHP.
- Po zakończeniu montażu sprawdź mechaniczne działanie suwaka. Przełącznik powinien poruszać się lekko i wyraźnie wskakiwać w dwie pozycje pracy.
- W przypadku tego typu przełącznika nie ma potrzeby przycinania jego wyprowadzeń. Po przylutowaniu pozostaw je w oryginalnej długości.

Montaż koszyka baterii

Zgodnie z informacjami z listy elementów zamontuj koszyk baterii na wskazanej lokalizacji. Przed przystąpieniem do tej czynności zapoznaj się ze wskazówkami poniżej.

- Koszyk na trzy baterie AAA służy do mechanicznego zamocowania baterii oraz doprowadzenia zasilania do układu. Dzięki niemu baterie można łatwo wymieniać bez konieczności lutowania, co jest szczególnie ważne w urządzeniach zasilanych bateryjnie.
- Przed zamocowaniem koszyka zwróć uwagę na jego orientację względem płytki PCB. Przewody zasilające lub blaszki stykowe powinny bez problemu sięgać do odpowiednich pól lutowniczych, a sam koszyk nie powinien zasłaniać innych elementów ani utrudniać dostępu do przełącznika, diod LED lub innych części urządzenia.



Rysunek 14. a) lokalizacja koszyka baterii na płytce; b), c), d) poprawny montaż tego elementu z uwzględnieniem obrotu

- Zanim trwale przytwierdzisz koszyk do płytki, np. za pomocą kleju, przeprowadź wszystkie testy działania układu. W przeciwnym razie ewentualna naprawa lub poprawienie błędów montażowych może być znacznie utrudnione. Koszyk przytwierdź na stałe dopiero po upewnieniu się, że układ działa prawidłowo, jako jeden z ostatnich etapów montażu.
- Koszyk można zamocować do płytki PCB na kilka sposobów. Najtrwalszym rozwiązaniem jest przykręcenie go odpowiednimi wkrętami i nakrętkami. Jeśli nie ma takiej możliwości, można zastosować piankową taśmę dwustronną lub przykleić koszyk do płytki za pomocą kleju na gorąco. Stosując klej na gorąco zachowaj szczególną ostrożność (**rysunek 16**).
- Przed przyklejeniem koszyka upewnij się, że powierzchnia płytki PCB jest czysta, sucha i odtłuszczona. Zapewni to dobrą przyczepność taśmy dwustronnej lub kleju.
- Jeśli mocujesz koszyk za pomocą taśmy dwustronnej, po dociśnięciu przytrzymaj go przez kilkanaście sekund. W przypadku kleju na gorąco odczekaj, aż całkowicie ostygnie i stwardnieje, zanim przejdziesz do dalszego montażu.
- Przewody lub blaszki koszyka przylutuj do odpowiednich pól oznaczonych na płytce jako „+” i „–”. Do zamocowania koszyka najlepiej wykorzystać odcięte wyprowadzenia wcześniej przylutowanych elementów. Po przełożeniu ich przez otwory w płytce i przylutowaniu ich do płytki, od strony elementów należy je również przylutować do wyprowadzeń koszyka. Takie rozwiązanie zapewnia solidne mocowanie elektryczne, a jednocześnie pozwala ponownie wykorzystać materiał, który zazwyczaj trafia do kosza.
- Baterie włóż do koszyka dopiero po zakończeniu montażu i sprawdzeniu poprawności wszystkich połączeń. Zmniejszy to ryzyko przypadkowego zwarcia lub uszkodzenia układu podczas lutowania.
- Z uwagi na swoje stosunkowo duże rozmiary mechaniczne koszyk baterii najlepiej lutować dopiero po zamontowaniu niższych elementów, takich jak rezystory czy podstawki pod układy scalone. Pozwala to zachować wygodny dostęp do pól lutowniczych i zmniejsza ryzyko przypadkowego zahaczenia grotem lutownicy o wyższy element.
- Jeśli koszyk jest przytwierdzany po stronie lutowania, weź pod uwagę, że nie będzie przylegał płasko do płytki, ponieważ w szczelinie między nim a płytką znajdą się końcówki wyprowadzeń przylutowanych elementów przewlekanych. Upewnij się, że wyprowadzenia te są całkowicie odizolowane od przewodów oraz innych metalowych elementów koszyka (
- Po umieszczeniu koszyka baterii zgodnie z informacjami powyżej, przylutuj element do płytki (**fotografia 2**). Jeśli nie wiesz, jak to zrobić lub chcesz upewnić się, że wykonujesz tę czynność

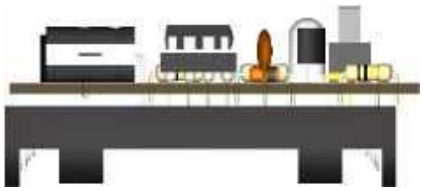
eprasa.pl 657e0c02ec

Fotografia 2. Poprawny montaż elektryczny koszyka baterii do płytki

prawidłowo, przeczytaj sekcję *Zanim przystąpisz do montażu…* oraz zapoznaj się z dostępnymi poradnikami, w szczególności z instrukcjami BHP.

- Usuń nadmiar wyprowadzeń za pomocą obcinaczek. Jeśli nie wiesz, jak to zrobić, lub chcesz upewnić się, że wykonujesz tę czynność prawidłowo, przeczytaj sekcję *Zanim przystąpisz do montażu…* oraz zapoznaj się z dostępnymi poradnikami, w szczególności z instrukcjami BHP.

Uwaga! Gorący klej również może powodować poważne oparzenia. W zależności od rodzaju wkładów temperatura kleju wypływającego z pistoletu wynosi zwykle około 120°C...200°C. Dla porównania, cyna lutownicza topi się w temperaturze około 183°C (stopy SnPb) lub 217°C...227°C (stopy bezołowiowe), a grot lutownicy podczas pracy ma najczęściej temperaturę 300°C...350°C. Mimo że gorący klej jest zwykle chłodniejszy od grotu lutownicy i ciekłej cyny, może być bardziej niebezpieczny dla skóry, ponieważ – w przeciwieństwie do cyny – przykleja się do niej i przez pewien czas oddaje zgromadzone ciepło. Jeśli dojdzie do poparzenia, nie należy odrywać gorącego kleju na siłę. Oparzone miejsce trzeba jak najszybciej chłodzić pod chłodną, bieżącą wodą przez co najmniej 20 minut. Woda schłodzi zarówno skórę, jak i sam klej, który po ostygnięciu zwykle łatwo odchodzi.



Rysunek 15. Szczelina między płytką a koszykiem musi pomieścić przylutowane do płytki fragmenty wyprowadzeń elementów przewlekanych, z tego powodu koszyk baterii nie będzie idealnie płasko przylegał do powierzchni płytki

W przypadku kontaktu gorącego kleju ze skórą, należy niezwłocznie zwrócić się o pomoc do osoby dorosłej i w razie potrzeby skorzystać z pomocy medycznej.

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 koszyku z bateriami po ustawieniu włącznika SW1 w pozycji ON nie spada niemal do zera – taki spadek oznaczałby błąd montażowy lub zwarcie w obwodzie zasilania.

Przed przystąpieniem do opisanych poniżej czynności koniecznie zapoznaj się z dokumentem *Zagadnienia BHP związane z uruchamianiem zmontowanego układu*

https://elportal.pl/files/2026/02/15/3682-zagadnienia-bhp-zwiazane-zuruchamianiem-zmontowanego-ukladu.pdf

Na początku ustawiamy włącznik w pozycji OFF, wkładamy baterie do koszyka i mierzymy napięcie bezpośrednio na jego wyprowadzeniach (**fotografia 3**). W przypadku zestawu trzech nowych baterii AAA napięcie to powinno być bliskie wartości 4,8 V. Następnie ustawiamy

Rysunek 16. Wskazówki BHP dotyczące użytkowania kleju na gorąco

eprasa.pl 657e0c02ec

Fotografia 3. Pomiar napięcia na koszyku baterii

na chwilę przełącznik SW1 w pozycji ON i obserwujemy, czy mierzone napięcie nie zaczyna gwałtownie spadać. Jeśli napięcie jest stabilne i bliskie 4,5…4,8 V, możemy przejść do jego pomiaru na odpowiednich wyprowadzeniach podstawki pod układ scalony. Jeśli nie – czeka nas sprawdzenie samych baterii a także poprawności oraz estetyki montażu.

Jeszcze trochę o rezystancji wewnętrznej baterii...

Skoro w poprzednim odcinku rozmawialiśmy o rezystancji wewnętrznej baterii, wykorzystajmy ją teraz do wyjaśnienia czegoś, co na pierwszy rzut oka wydaje się zupełnie nielogiczne. Załóżmy, że po ustawieniu przełącznika SW1 w pozycji ON napięcie rzeczywiście spadło z 4,8 V do wartości bliskiej zeru. Przyczyną okazało się zwarcie w obwodzie zasilania, powstałe wskutek błędu podczas montażu.

I tutaj pojawia się ciekawa zagadka. Skoro napięcie na zaciskach baterii spadło niemal do 0 V, można byłoby pomyśleć, że prąd również powinien być niemal zerowy. Tymczasem jest dokładnie odwrotnie: przez zwarcie płynie bardzo duży prąd, a bateria może zacząć się nagrzewać. Jak to możliwe?

Zacznijmy od samego zwarcia. Oznacza ono połączenie obu biegunów źródła obwodem o bardzo małej rezystancji. A z prawa Ohma wiemy, że im mniejsza rezystancja przy danym napięciu, tym większy prąd. Zwarcie powoduje więc gwałtowny wzrost prądu.

Ale zaraz... przy jakim napięciu? Przecież przed chwilą zmierzyliśmy na zaciskach baterii niemal 0 V!

I właśnie tutaj do gry wchodzi rezystancja wewnętrzna baterii, o której rozmawialiśmy w poprzednim odcinku.

Prawdziwa bateria nie jest idealnym źródłem napięcia. W uproszczeniu możemy ją sobie wyobrazić jako idealne źródło połączone szeregowo z niewielką rezystancją wewnętrzną. Przy niewielkim poborze prądu spadek napięcia na tej rezystancji jest mały, dlatego na zaciskach baterii mierzymy napięcie zbliżone do jej napięcia bez obciążenia.

Podczas zwarcia sytuacja zmienia się diametralnie. Bardzo mała rezystancja obwodu zewnętrznego powoduje przepływ dużego prądu. Ten sam duży prąd przepływa jednak również przez rezystancję wewnętrzną baterii. Zgodnie z prawem Ohma powstaje więc na niej duży spadek napięcia. Im większa część napięcia przypada na rezystancję wewnętrzną, tym mniej pozostaje go na zaciskach baterii.

I zagadka rozwiązana. Napięcie na zaciskach może spaść niemal do zera właśnie wtedy, gdy z baterii płynie bardzo duży prąd. Nie ma tu żadnej sprzeczności z prawem Ohma. Na bardzo małej rezystancji zwarcia nawet duży prąd powoduje niewielki spadek napięcia, natomiast znacznie większy spadek napięcia występuje na rezystancji wewnętrznej baterii.

Ma to jeszcze jeden skutek. Przepływ dużego prądu przez rezystancję wewnętrzną powoduje wydzielanie ciepła. Dlatego podczas zwarcia bateria może szybko się nagrzewać. To jeden z powodów, dla których po zauważeniu gwałtownego spadku napięcia należy natychmiast ustawić SW1 z powrotem w pozycji OFF oraz/lub wyciągnąć z koszyka baterie.

Po przerwaniu obwodu prąd przestaje płynąć, znika więc również powodowany przez niego spadek napięcia na rezystancji wewnętrznej. Napięcie na zaciskach baterii ponownie wzrasta. Bateria nie „straciła" więc nagle swojego napięcia – jego spadek na zaciskach był skutkiem przepływu dużego prądu przez rzeczywiste źródło o niezerowej rezystancji wewnętrznej.

A o co chodzi z tymi pomiarami napięcia na podstawce?

Dzięki pomiarowi napięcia bezpośrednio na wyprowadzeniach podstawki, jeszcze przed osadzeniem w niej układu scalonego, możemy bez ryzyka jego uszkodzenia sprawdzić zasilanie dokładnie w miejscu, do którego za chwilę zostanie on podłączony. Kontrolujemy zarówno wartość napięcia, jak i jego polaryzację. O ile ryzyko pojawienia się zbyt wysokiego napięcia w układach zasilanych z baterii jest niewielkie, o tyle nabiera ono znaczenia w konstrukcjach zasilanych z sieci, zawierających układ regulacji napięcia. Jego nieprawidłowy montaż lub uszkodzenie mogą sprawić, że na podstawce pojawi się napięcie znacznie wyższe od oczekiwanego. Podobnie błąd montażowy może doprowadzić do odwrócenia polaryzacji. W obu przypadkach włożony wcześniej układ scalony mógłby zostać uszkodzony, zanim zdążylibyśmy zorientować się, że coś jest nie tak.

Pozostawienie podstawki pustej pozwala więc spokojnie wykonać pomiary i w razie potrzeby poprawić montaż bez narażania układu scalonego – często jednego z najdroższych, a zarazem najbardziej podatnych na uszkodzenie elementów urządzenia.

Przy okazji możemy wykryć również sytuację odwrotną – napięcie zbyt niskie. Jego wyraźny spadek po włączeniu zasilania może świadczyć o zwarciu lub innym błędzie montażowym powodującym nadmierny pobór prądu. Za jednym podejściem sprawdzamy więc, czy napięcie ma prawidłową wartość i polaryzację oraz czy po włączeniu zasilania nie pojawiają się objawy zwarcia. A wszystko to, zanim układ scalony znajdzie się w podstawce, nie będzie więc narażony na destruktywne skutki ewentualnych błędów montażowych.

Spoglądając na schemat ideowy (**rysunek 19**) można stwierdzić, że „plus" zasilania dostępny powinien być na wyprowadzeniu numer 8 podstawki, a „minus" na jej wyprowadzeniu numer 1, w związku z czym sondy multimetru ustawionego w tryb woltomierza napięć stałych w zakresie do 20 V (fotografia 3b) należy przyłożyć

eprasa.pl 657e0c02ec

Rysunek 17. Pomiar napięcia zasilania na wyprowadzeniach podstawki pod układ scalony IC1. Pamiętaj, aby przed pomiarem zamontować do koszyka baterie oraz ustawić przełącznik SW1 w pozycję ON

do podstawki w sposób pokazany na **rysunku 17**. Zmierzona wartość powinna być bliska wartości z zakresu 4,5 V…4,8 V.

Jeśli wartość napięcia jest zgodna z oczekiwaniami, oznacza to, że w układzie nie ma poważnych zwarć, a baterie działają poprawnie.

Montaż układu scalonego w podstawce

Włożenie układu scalonego do podstawki wydaje się łatwe, jednak podczas tej czynności należy zachować uwagę i ostrożność. Ważne jest, aby układ był skierowany we właściwą stronę oraz aby wszystkie jego wyprowadzenia trafiły dokładnie w otwory podstawki. Wyprowadzenia nie mogą się wygiąć ani tym bardziej złamać. Gdyby jednak któreś z nich uległo uszkodzeniu, czasem można je zastąpić kawałkiem odciętego wyprowadzenia innego elementu przylutowanego wcześniej do płytki.

Drugą, obok ostrożności podczas montażu sprawą, o jaką należy zadbać, to właściwy kierunek montażu układu scalonego w podstawce. W tym celu należy przypilnować, by kropka lub wycięcie na układzie scalonym, wskazujące kierunek montażu, pokrywało się z pozostałymi znacznikami w podstawce oraz na warstwie opisowej PCB (**rysunek 18**). Gdy lokalizacja znacznika na układzie scalonym zgadza się z pozostałymi, można przystąpić do wciśnięcia układu w podstawkę.

Podsumowanie montażu

Po ukończeniu montażu sprawdź, proszę, czy wszystkie połączenia lutowane są błyszczące i nie ma zimnych lutów oraz czy żadne sąsiednie pola lutownicze nie są ze sobą błędnie połączone.

W przypadku wątpliwości dotyczących poprawności wykonanych połączeń lutowanych skorzystaj z poradnika Lutowanie komponentów przewlekanych do płytki drukowanej https://elportal.pl/files/2026/02/15/3678-lutowanie-komponentow-przewlekanych-do-plytki-drukowanej.pdf

Ale właściwie… dlaczego to działa?

Schemat ideowy układu przedstawiono na rysunku 19.

Uważny Czytelnik zapewne zauważy, że nie jest to nasze pierwsze spotkanie z układem NE555. W ramach naszego cyklu opowiadaliśmy o nim w EdW 5/2025 (AVTEDU643 – *Dwukolorowy kwiatek LED*), EdW 9/2025 (AVTEDU635 – *Minipianino*), EdW 11/2025 (AVTEDU631 – *Wskaźnik kierunku*). Teraz użyjemy jej po raz kolejny i trudno się dziwić, bo ta niezwykle popularna kostka należy do najbardziej znanych układów scalonych w historii elektroniki i od wielu lat znajduje zastosowanie w prostych generatorach, układach czasowych oraz rozmaitych urządzeniach sygnalizacyjnych.

W prezentowanym układzie NE555 pełni funkcję generatora krótkich impulsów załączających aktywny buzzer piezo, pojawiających się w długich odstępach czasu. Sam NE555 nie wytwarza więc słyszalnego tonu – jego częstotliwość jest ustalana przez generator wbudowany w buzzer. Zadaniem układu z NE555 jest natomiast określenie, jak długo trwa pojedynczy pisk oraz jak długa jest przerwa pomiędzy kolejnymi piskami.

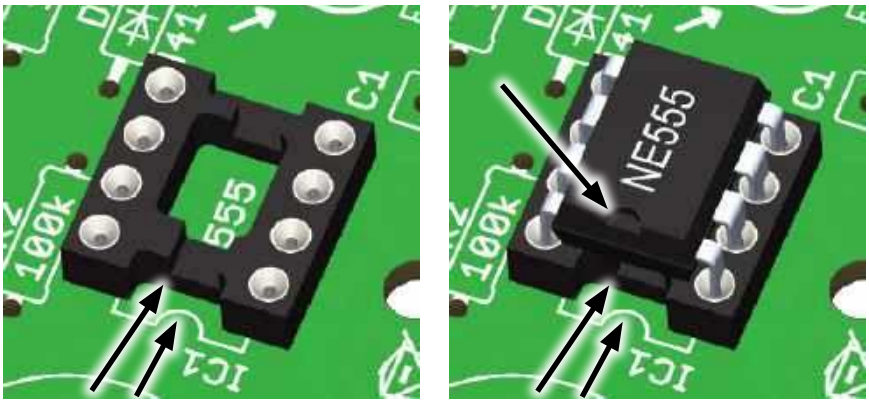
Za czasy trwania obu części cyklu odpowiadają kondensator C2 (33 μF), rezystory R1 i R4 oraz diody D1 i D2. Diody rozdzielają drogi ładowania i rozładowywania kondensatora C2. Ładowanie odbywa się szybko przez rezystor R1 (1 kΩ) i diodę D1, natomiast rozładowanie następuje znacznie wolniej przez diodę D2 i rezystor R4 o dużej wartości (1 MΩ) do wewnętrznego klucza rozładowującego (wyprowadzenie 7). W rezultacie na wyjściu Q (wyprowadzenie 3) pojawiają się krótkie impulsy stanu wysokiego rozdzielone długimi przerwami, co powoduje, że buzzer wydaje krótki pisk co pewien dłuższy czas.

Kondensator C1 o pojemności 10 nF jest dołączony do wejścia CV (wyprowadzenie 5) układu NE555. Jego zadaniem jest ograniczenie wpływu zakłóceń na napięcie odniesienia wewnętrznych komparatorów, a tym samym zapewnienie stabilniejszej pracy układu czasowego.

Szczególnie ciekawa jest lewa część schematu, zawierająca fototranzystor T2 oraz tranzystor T1 typu BC547. To właśnie te elementy tworzą włącznik zmierzchowy, dzięki któremu Pipek odzywa się tylko w ciemności. Taki sposób działania jest jedną z podstawowych cech zestawu.

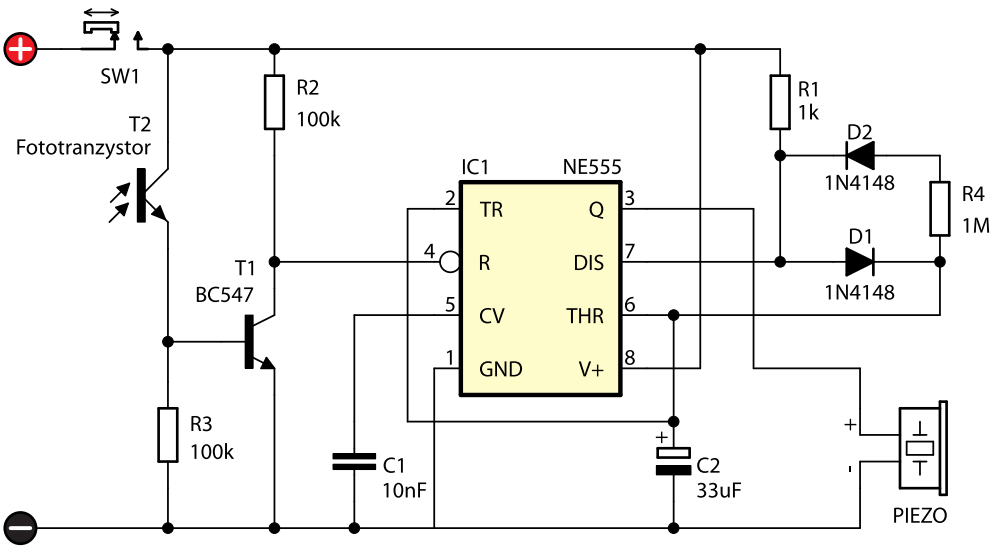
Fototranzystor T2 reaguje na padające na niego światło i steruje tranzystorem T1. Tranzystor T1 jest z kolei połączony z wejściem RESET (wyprowadzenie 4) układu NE555. Gdy jest jasno, T1 przewodzi i wymusza niski poziom na wejściu RESET, blokując pracę NE555. Pipek pozostaje wtedy cichy. Po zapadnięciu ciemności fototranzystor przestaje przewodzić, rezystor R3 ściąga bazę tranzystora T1 do masy, na skutek czego tranzystor T1 zostaje wyłączony, a rezystor R2 podciąga wejście RESET do dodatniej szyny zasilania. NE555 może wówczas rozpocząć pracę i okresowo włączać buzzer.

Cały układ jest więc ciekawym przykładem połączenia dwóch prostych funkcji. Fototranzystor wraz z tranzystorem T1 decyduje, kiedy urządzenie może działać, natomiast NE555 określa, kiedy i na jak długo zostanie włączony buzzer. Sam buzzer



Rysunek 18. Przed zamontowaniem układu scalonego w podstawce należy upewnić się, że znaczniki kierunku montażu – na płytce, w podstawce i obudowie układu – znajdują się w tej samej pozycji

eprasa.pl 657e0c02ec



Rysunek 19. Schemat ideowy układu

odpowiada natomiast za wytworzenie słyszalnego tonu. W efekcie, dopóki jest jasno, Pipek milczy, a po zapadnięciu ciemności zaczyna od czasu do czasu wydawać krótkie, przenikliwe piski.

Podsumowanie

No i gotowe! Pipek może już trafić do swojej pierwszej kryjówki i rozpocząć działalność. Gdzie? Tego oczywiście podpowiadać nie będziemy – w końcu znalezienie odpowiedniego miejsca jest częścią zabawy. Możemy tylko przypomnieć, że najlepszy psikus to taki, po którym jego adresat również się śmieje.

Choć tym razem budowaliśmy urządzenie stworzone właściwie wyłącznie dla żartu, przy okazji po raz kolejny przekonaliśmy się, że elektronika nie zawsze musi służyć poważnym celom – i na całe szczęście! Czasem kilka elementów, lutownica i odrobina pomysłowości wystarczą, żeby powstało coś, co zapewni więcej zabawy niż niejedna wymyślna komercyjna zabawka ze sklepowej półki.

A kiedy już sprawdzicie Pipka w praktyce, warto pomyśleć, jak można zmienić jego zachowanie. Może powinien odzywać się rzadziej? A może przeciwnie – urządzić w pokoju całą orkiestrę kilku Pipków ukrytych w różnych miejscach, aby kolega, w pierwszych dniach szarego września, mógł znów poczuć lato pełną piersią, oczami wyobraźni zobaczyć leśną polanę skąpaną w gorącym słońcu i usłyszeć koncert dziesiątek grających świerszczy?

Własne pomysły i eksperymenty są jak najbardziej wskazane, pod warunkiem że nie ucierpi przy tym niczyje poczucie humoru.

Na tym kończymy nasze wakacyjne psoty. A jeśli podczas poszukiwania ukrytego Pipka usłyszycie za plecami szelest dobiegający zza krzaków… cóż, tym razem radzimy najpierw upewnić się, czy to na pewno elektronika.

W końcu z tymi rozpierzchłymi po całym kraju pumami, nigdy nic nie wiadomo.

Do zobaczenia w następnym numerze! ■

Mariusz Ciszewski

REKLAMA

Zaprenumeruj swojemu Juniorowi EdW JUNIORA

http://ulubionykiosk.pl/wydawnictwo/elektronika-dla-wszystkich

eprasa.pl 657e0c02ec

Generator impulsów krokowych 555
Zestaw generatora impulsów 555 dostarcza impulsy niezbędne do sterowania silnikami krokowymi/serwonapędami DC. Zestaw wykorzystuje popularny układ scalony timera 555 do generowania sygnału taktującego (impulsów krokowych).

Wysokoprądowy półmostek z zabezpieczeniem nadprądowym (Over-Current Shutdown)
Konfigurowalny półmostek: Elastyczna platforma wysokoprądowa z regulowanym zabezpieczeniem nadprądowym, progiem zadziałania dobieranym za pomocą bocznika (shunt) oraz optymalizowanym wysterowaniem bramek (gate drive) dla uzyskania optymalnych parametrów przełączania.

Niektóre projekty aktualnie dostępne tylko dla prenumeratorów EdW w rubryce DIY PLUS na www.elportal.pl:

1. Nakładka Sound to Light Color Shield dla OLEDUINO v2
2. 3-przewodowy przedwzmacniacz mikrofonu elektretowego
3. Mini Power Monitor Shield dla OLEDUINO v2 z układem INA219
4. Uniwersalna nakładka sterownika silników (Motor Driver Shield) dla OLEDUINO v2
5. Płytka sterująca silnikami elektromagnetycznymi i prądu stałego do OLEDUINO v2
6. Moduł elektronicznej wagi do OLEDUINO v2
7. Wszechstronny odbiornik światłowodowy Versatile Link
8. Wszechstronny nadajnik światłowodowy Versatile Link
9. Bezprzewodowy kontroler samochodu-robota Bluetooth
10. Kontroler ramienia robotycznego wykorzystujący bezprzewodowego pada z konsoli PS3
11. 7-segmentowy mini zegar wykorzystujący PIC16F628A i DS1307 RTC
12. Światło LED oparte na czujniku zbliżeniowym
13. OLEDUINO – wyświetlacz OLED kompatybilny z Arduino
14. Inteligentny regulator lutownicy – precyzyjny regulator grzałki
15. Wskaźnik poziomu paliwa z wyświetlaczem OLED
16. Bezprzewodowy odbiornik wilgotności i temperatury
17. Przerwania zewnętrzne (sprzętowe) i przerwania zegara w MicroPython
18. Laserowy czujnik odległości z wyświetlaczem OLED i RP2040
19. Inklinometr z 17-segmentowym wyświetlaczem słupkowym
20. Izolowany repeater USB – USB 2.0
21. Knight Rider Light – 16 diod LED dużej mocy (kompatybilny z Arduino)
22. Dźwięk do kolorowych efektów świetlnych (kompatybilny z Arduino)
23. Nowy i ulepszony licznik Geigera – teraz z Wi-Fi!
24. Detektor zalania
25. Lampa nastrojowa LED o dużej mocy
26. Kontroler dzwonów kościelnych
27. Arduino Nano – włączanie/wyłączanie urządzeń za pomocą pilota na podczerwień (dwa kanały)
28. Lampa sufitowa LED z czujnikiem ruchu PIR – kompatybilna z Arduino
29. Inteligentny ściemniacz LED z Bluetooth – 4-kanałowy włącznik/wyłącznik Bluetooth
30. Czterokanałowy izolator cyfrowy, wzmocniony, szybki, o niskim poborze mocy
31. Sterowanie prędkością, kierunkiem i zatrzymaniem silnika DC z modułem RF NRF24L01
32. Nadajnik zdalnego sterowania z pojedynczym joystickiem wykorzystujący NRF24L01
33. 8-kanałowy zdalny nadajnik RF z protokołami: Holtek i szeregowym
34. 8-kanałowy zdalny odbiornik RF z protokołami: Holtek i szeregowym
35. Pojemnościowy czujnik wilgotności do konwertera wyjścia analogowego
36. Mostek H dla wysokiej mocy szczotkowego silnika prądu stałego z czujnikiem prądu
37. Przetwornica DC-DC buck 12...75 V na 10 V na wyjściu
38. Czujnik prądu low-side 10 μA...10 mA
39. Kontroler ramienia robota z bezprzewodowym pilotem PS3
40. Termiczny czujnik masowego przepływu powietrza – anemometr stałotemperaturowy
41. Precyzyjny wzmacniacz transimpedancyjny z przełączanym integratorem
42. Wysokowydajny monofoniczny wzmacniacz audio klasy D o mocy 20 W

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 657e0c02ec

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%**

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 657e0c02ec

KURS PRAKTYCZNY AI

Praktyczne podejście. Zero marketingowej mgły!

Zyskaj **15%** rabatu

W prenumeracie tylko

~~116,00 zł~~

98,60 zł

prenumerata drukowana 4 kolejnych wydań

(zima 2026, wiosna, lato, jesień 2027)

Zamów na www.UlubionyKiosk.pl

lub zeskanuj kod QR i zaprenumeruj w 1 minutę

Wydania archiwalne (wiosna, lato, jesień 2026)
są dostępne na www.UlubionyKiosk.pl

eprasa.pl 657e0c02ec