Edukacja w EdW dla szkół i uczelni:
Wykład 40: kompresja dźwięku MP3

JUNIOR



strona 84

Elektronika dla wszystkich

nr 04/2026 (363) • kwiecień • www.elportal.pl

DIY PLUS tylko dla prenumeratorów

PROJEKTY dla elektroników

- Wysokowydajny subwoofer aktywny do domowego sprzętu Hi-Fi, część 1
- Śpiewający ptaszek
- Mała kamera termowizyjna. Rozwiązanie amatorskie oparte na Arduino UNO
- Sterownik systemu nawadniania oparty na witrynie internetowej

DIY dla wszystkich

- Sterowany głosem robot omijający przeszkody
- Wzmacniacz stereofoniczny z wykorzystaniem STK435
- Oświetlenie zewnętrzne – zmierzchowe lub czasowe

TUTORIALE

- Wybór i stosowanie siłowników, część 1. Przekształcanie sygnałów elektrycznych w ruch fizyczny – liniowy i obrotowy
- Wynalazcy i ich wynalazki w elektronice, część 2
- Audio OUT: Uniwersalna płytka z podwójnym wzmacniaczem operacyjnym, zoptymalizowana do zastosowań w układach akustycznych, część 3

Wysokowydajny subwoofer aktywny



Kamera termowizyjna



Śpiewający ptaszek

ISSN 1425-1698 Indeks 33362X
04
9 771425 169269
19,90 zł (w tym 8% VAT)

Pomocna dłoń

automatykaB2B.pl

EP.com.pl
Największy portal dla elektroników konstruktorów



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

eprasa.pl d2e0862bc0

Elektor Bestsellers

SAVE UP TO 26% NOW!

















www.elektor.com/sale/deals

Elektor SUMMER SALE



eprasa.pl d2e0862bc0

elektor design > share > earn

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!

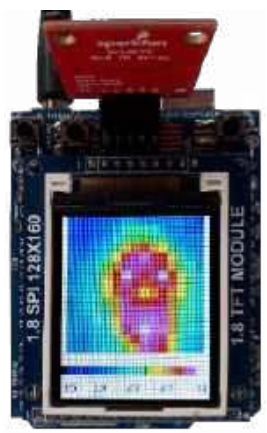
Zamów prenumeratę lub e-prenumeratę na www.UlubionyKiosk.pl/prenumerata
tel. 22 257 84 22 (godz. 10–14) | prenumerata@avt.pl | AVTKorporacja sp. z o.o. ul. Leszczynowa 11, 03-197 Warszawa
rachunek bankowy: 18 1050 1012 1000 0024 3173 1013

ELEKTRONIKA dla wszystkich

Kwiecień 2026 • 04 (363)









Projekty dla elektroników:

Wysokowydajny subwoofer aktywny
do domowego sprzętu Hi-Fi, część 1 8
Śpiewający ptaszek 17
Mała kamera termowizyjna.
Rozwiązanie amatorskie oparte na Arduino UNO 24
Sterownik systemu nawadniania oparty na witrynie internetowej 30

Tutoriale:

Elektroniczne bloki konstrukcyjne:
Wybór i stosowanie siłowników, część 1.
Przekształcanie sygnałów elektrycznych w ruch fizyczny
– liniowy i obrotowy 40
Wynalazcy i ich wynalazki w elektronice, część 2 45
Audio OUT: Uniwersalna płytka z podwójnym wzmacniaczem
operacyjnym, zoptymalizowana do zastosowań
w układach akustycznych, część 3 60
Edukacja w EdW dla szkół i uczelni:
Wykład 40 – Kompresja dźwięku MP3 67

DIY dla wszystkich:

Wzmacniacz stereofoniczny z wykorzystaniem STK435 75
Oświetlenie zewnętrzne – zmierzchowe lub czasowe 79
Sterowany głosem robot omijający przeszkody 82

Junior:

Dwudzieste drugie spotkanie z najmłodszymi pasjonatami elektroniki 84

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

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

Dwukanałowy przełącznik typu high-side z funkcją pomiaru prądu 90
Programowalne generatory PWM z interfejsem I²C
do sterowania silnikiem prądu stałego i diodami LED 90

Rubryki stałe:

Prenumerata 3
Od redakcji 5
Poczta 7

eprasa.pl d2e0862bc0

A za miesiąc w majowym EdW



Liniowy zasilacz 0...50 V i ±15 V – klasyk z 1980 roku wraca w odświeżonej formie
Po 40 latach autor bierze swój zasilacz na warsztat i modernizuje go bez naruszania koncepcji. Cztery płytki, elementy SMD i uporządkowane wnętrze. Wyjścia: 0...50 V/2 A oraz pomocnicze ±15 V/250 mA. Niezawodne 2N3055 wciąż w roli głównej.

Miernik indukcyjności, pojemności i ESR
Łączy funkcje miernika LC z pomiarem ESR kondensatorów. Pozwala wykrywać uszkodzenia, które nie są widoczne przy samym pomiarze pojemności. Układ oparty na Arduino, z wyświetlaczem LCD i ręcznym wyborem trybu pracy. Pomaga skutecznie zlokalizować kondensatory o podwyższonym ESR.

Subwoofer aktywny Hi-Fi o wysokiej wydajności, część 2
Finał budowy: montaż wzmacniacza Ultra-LD, zasilacza i całej elektroniki w obudowie. Przygotowanie radiatora, wykonanie uchwytów i składanie modułu wzmacniacza w zwartą całość. Na końcu instalacja głośnika i pierwsze odsłuchy – czas na prawdziwy bas.

Dla studentów i uczniów: garść technicznych tutoriali

Dla szukających inspiracji: ciekawe projekty DIY

Dla najmłodszych: kolejny zestaw z serii AVTEDU

W kioskach od 27 kwietnia

Kwiecień – z elektroniką w ogrodzie



Doczekaliśmy się kwietnia! Dni wreszcie są cieplejsze i dłuższe. Warsztat coraz częściej przegrywa z podwórkiem, ogrodem i spacerami po łąkach i lasach. Elektronika jednak wcale nie zostaje w domu – przeciwnie, zaczyna nam towarzyszyć na zewnątrz, wśród budzącej się przyrody: na drzewach i między grządkami. W samym człowieku też jakby więcej energii. Aż chce się śpiewać… i grać.

Dlatego ten numer otwieramy dość mocnym akcentem. Phil Prosser rozpoczyna budowę aktywnego subwoofera Hi-Fi o imponujących parametrach. 12-calowy głośnik, solidna obudowa i dopracowane strojenie to propozycja dla tych, którzy chcą nie tylko słuchać muzyki, ale też naprawdę poczuć jej moc!

Chwilę później przenosimy się wprost do ogrodu. Geoff Graham proponuje sterownik systemu nawadniania oparty na WebMite – nowoczesny, wygodny i naprawdę inteligentny. Konfiguracja z poziomu przeglądarki, kontrola harmonogramów, reakcja na pogodę – wszystko to sprawia, że elektronika zaczyna realnie współgrać z naturą.

A skoro ożywia się podlewana flora, szybko pojawia się także fauna. Andrew Woodfifield w projekcie Songbird pokazuje elektronicznego ptaszka, który potrafi śpiewać zaskakująco naturalnie. To układ prosty, a jednocześnie pełen uroku – idealny jako pierwszy projekt lub drobna ozdoba ożywiająca przestrzeń wokół nas.

Do warsztatu wracamy tylko na chwilę. Roland Stiglmayr proponuje miniaturową kamerę termowizyjną z czujnikiem Grid-EYE, pozwalającą „zobaczyć" temperaturę i zajrzeć tam, gdzie zwykłe oko nie sięga. To praktyczne narzędzie, które szybko doceni każdy, kto lubi widzieć więcej.

Nie zabrakło także kontynuacji cyklu dr. Davida Maddisona. W drugiej części „Wynalazców i ich wynalazków" autor prowadzi nas przez kolejne etapy rozwoju elektroniki – od pierwszych lamp elektronowych i fotokomórek, aż po tranzystor i narodziny elektroniki półprzewodnikowej. To dobra okazja, by na chwilę zatrzymać się i zobaczyć, jak długa droga prowadziła do rozwiązań, które dziś wydają się oczywiste.

W części audio Jake Rothman rozwija temat uniwersalnej płytki ze wzmacniaczem operacyjnym.

Z kolei Julian Edgar rozpoczyna nowy cykl o doborze napędów i siłowników, pokazując, jak świadomie wybierać elementy odpowiedzialne za ruch – coraz częściej wykorzystywane także w projektach hobbystycznych, na przykład w systemach automatyki domowej, gdzie siłownik pozwala wpuścić do wnętrza świeże powietrze, a w razie deszczu samoczynnie zamknąć okno.

Nie brakuje również klasycznych, prostych konstrukcji – od automatycznego oświetlenia i wzmacniacza na układzie STK435. Ale pojawia się też coś więcej – robot mobilny sterowany głosem, pokazujący, jak bardzo zmieniły się możliwości nawet w prostych projektach.

W EdW Junior wiosna objawia się w jeszcze bardziej dosłowny sposób. Po marcowym „krzemowym świerszczu" z działu dla elektroników temat podchwycili młodsi – tym razem w artykule pojawiają się elektroniczne robaczki. To niewielkie, poruszające się konstrukcje, które ożywają dzięki prostym silniczkom wibracyjnym. Wyróżniają się ciekawymi kształtami i kolorami płytek PCB oraz pomysłowymi formami odnóży. Te kolorowe żyjątka, przemieszczając się po podłożu, mrugając kolorowymi „oczami" i cicho bzycząc, potrafią wywołać uśmiech nie tylko u najmłodszych.

Kwiecień to moment, w którym elektronika przestaje być tylko warsztatowa. Wychodzi z nami na zewnątrz – do ogrodu, na taras, na ścieżki między drzewami. Trudno polemizować z tym, że przyroda jest piękna. Do tego wręcz stopnia, że nawet my, z definicji bardziej ścisłowcy niż humaniści, często nie potrafimy się oprzeć, by – na miarę własnych talentów i możliwości – próbować o nią coraz lepiej zadbać i jak najwierniej ją odwzorować.

A więc do dzieła!

Mariusz Ciszewski

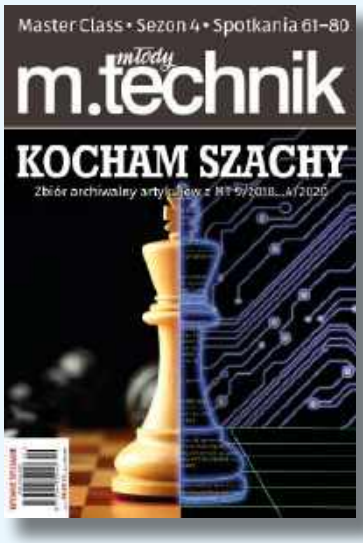
eprasa.pl d2e0862bc0

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/d2e0862bc0

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.

Program do przeglądania plików Gerber

W dziale „Poczta” w lutowym numerze EdW opisuje Pan program do przeglądania plików Gerber. Ma on być dostępny do pobrania w materiałach dodatkowych do tego numeru, jednak nie mogę go znaleźć. Czy istnieje możliwość uzyskania go bezpośrednio od Pana?

Chciałbym pokazać go studentom na zajęciach z przedmiotu Konstrukcja Aparatury Elektronicznej.

Przy pracy z plikami Gerber pojawia się pewien problem podczas amatorskiego wykonywania płytek drukowanych, tzw. metodą żelazkową. Pliki Gerber nie zawierają informacji o otworach w polach lutowniczych – dane te znajdują się w pliku wierceń. W praktyce oznacza to, że amatorzy mają trudności z wierceniem otworów w płytkach, gdy nie są one zaznaczone w polach lutowniczych.

Cennym rozwiązaniem byłoby „pożenienie” tych dwóch plików. Dla sprawnego programisty zapewne nie stanowiłoby to problemu, a znacząco ułatwiłoby wiercenie w płytkach wykonywanych amatorsko.

Pozdrawiam
Jacek Cichosz

Red. Dziękujemy za wiadomość i cieszymy się, że temat wzbudził zainteresowanie.

Program rzeczywiście przez niedopatrzenie nie trafił do materiałów dodatkowych w terminie publikacji numeru, jednak obecnie jest już dostępny i można go pobrać z naszej strony.

Warto przy tym zaznaczyć, że opisywane narzędzie nie jest typową przeglądarką plików Gerber. Jest to raczej ciekawostka dydaktyczna, pozwalająca w czasie rzeczywistym prześledzić, w jakiej kolejności polecenia zawarte w plikach Gerber są przekazywane do maszyny docelowej – a tym samym w jakiej kolejności będą wykonywane oraz jak przebiega proces sukcesywnego odtwarzania obrazu płytki PCB w wyniku interpretacji napływających poleceń. Program stanowi demonstrację pewnej koncepcji i ma przede wszystkim pełnić rolę inspiracji oraz pomocy w nauce tego standardu. Oczywiście nic nie stoi na przeszkodzie, aby rozbudować go o dodatkowe funkcjonalności.

Jeżeli natomiast poszukuje Pan klasycznej przeglądarki plików Gerber, można z czystym sumieniem polecić darmowy program Gerbv. Jest on rozwijany w ramach projektu gEDA i udostępniany na licencji GNU GPL (General Public License). Oznacza to, że można go bezpłatnie używać, kopiować oraz modyfikować – również w zastosowaniach komercyjnych – pod warunkiem zachowania tej samej licencji dla ewentualnych modyfikacji i udostępnienia kodu źródłowego.

Innym godnym polecenia rozwiązaniem jest przeglądarka Gerber Viewer dostępna w pakiecie KiCad. Co istotne, po zaimportowaniu plików Gerber do KiCada można wyeksportować projekt do edytora PCB i dalej go edytować – na przykład dodawać napisy, modyfikować ścieżki czy wprowadzać inne zmiany, a następnie wygenerować nowy zestaw plików produkcyjnych. Stanowi to bardzo ciekawą, bezpłatną alternatywę dla drogich, komercyjnych edytorów plików Gerber.

Odnosząc się do poruszonego problemu związanego z brakiem otworów w polach lutowniczych – pomysł „pożenienia” plików Gerber z plikami wierceń (Excellon) jest jak najbardziej trafny i możliwy do realizacji. W praktyce można to stosunkowo łatwo wykonać z wykorzystaniem KiCada: importując Gerbery oraz plik wierceń do przeglądarki, następnie eksportując projekt do edytora PCB i wykonując wydruk z polami lutowniczymi w postaci pierścieni miedzi wokół otworów. Rozwiązanie to znacząco ułatwia wiercenie przy metodzie żelazkowej.

Przygotowanie dedykowanego narzędzia – na przykład w postaci skryptu w Pythonie, który automatycznie nanosiłby ślady otworów na warstwy miedzi – również wydaje się jak najbardziej osiągalne.

Niewykluczone, że w niedalekiej przyszłości zaprezentujemy Czytelnikom oba podejścia szerzej na łamach EdW.

Stary poczciwy magnetowid

Szanowna Redakcjo,

z dużym sentymentem wracam czasem myślami do lat, gdy w domu stał magnetowid, a nagrywanie programów telewizyjnych było czymś zupełnie naturalnym. Pamiętam ustawianie timera, wkładanie kasety VHS i tę satysfakcję, gdy po powrocie można było obejrzeć ulubiony program nagrany z anteny.

Dziś technika poszła bardzo do przodu – mamy telewizję naziemną DVB-T2, dekodery z elektronicznym przewodnikiem po programach, a niemal każda przystawka wyposażona jest w port USB i funkcję nagrywania na pendrive. Teoretycznie więc wszystko wygląda jeszcze wygodniej niż kiedyś.

W praktyce jednak napotkałem problem. Owszem, mogę nagrać program na podłączony nośnik USB, ale tak zapisanych materiałów nie da się łatwo przenieść na komputer ani odtworzyć poza samym dekoderem. Pliki są albo w dziwnym formacie, albo zabezpieczone, albo po prostu „niewidoczne” dla innych urządzeń.

Zastanawiam się, z czego to wynika. Czy jest to kwestia prawna – np. ograniczeń związanych z prawami autorskimi? A może to decyzja producentów sprzętu? Przecież kiedyś nagrywanie na magnetowid było powszechne i – z tego co pamiętam – całkowicie legalne.

Czy w dzisiejszych czasach istnieje jakiś sposób, aby legalnie nagrywać programy z DVB-T2 i swobodnie odtwarzać je na komputerze?

Z poważaniem
Czytelnik

Red. Szanowny Czytelniku,

bardzo dziękujemy za list – i za to sympatyczne nawiązanie do czasów magnetowidów. Rzeczywiście, dla wielu z nas było to pierwsze „domowe centrum nagrywania”, które pozwalało zatrzymać program telewizyjny na później i obejrzeć go w dogodnym momencie. Co ciekawe, mimo ogromnych zmian technologicznych sama idea wcale nie zniknęła – zmieniła się jedynie forma jej realizacji.

Na wstępie warto rozwiać najważniejszą wątpliwość: nagrywanie programów telewizyjnych na własny użytek było legalne kiedyś i pozostaje legalne również dziś. Mieści się to w tzw. dozwolonym użytku osobistym, pod warunkiem, że nagrane materiały nie są dalej rozpowszechniane.

Zgodnie z art. 23 ustawy o prawie autorskim i prawach pokrewnych, nagrywanie programów telewizyjnych na własny użytek jest w Polsce legalne i nie wymaga zgody nadawcy. Należy jednak pamiętać, że nagrania takie mogą być wykorzystywane wyłącznie prywatnie – ich dalsze rozpowszechnianie, np. w internecie, stanowi naruszenie prawa autorskiego.

Innymi słowy – może Pan nagrać program i obejrzeć go później, tak jak robiło się to na kasecie VHS.

Skąd więc obecne ograniczenia, które Pan zauważył? Problem nie wynika bezpośrednio z przepisów prawa, lecz raczej z polityki producentów sprzętu i – pośrednio – oczekiwań nadawców. Wiele współczesnych dekoderów DVB-T2 zapisuje nagrania w sposób celowo utrudniający ich dalsze wykorzystanie. Pliki bywają szyfrowane i powiązane z konkretnym egzemplarzem urządzenia, stosowane są też niestandardowe formaty zapisu lub dodatkowe mechanizmy kontroli. W efekcie nagranie działa poprawnie na tym jednym dekoderze, ale przeniesione na komputer staje się bezużyteczne. Nie jest to więc tyle zakaz, co raczej ograniczenie techniczne wprowadzone „na wszelki wypadek”, aby utrudnić kopiowanie i dystrybucję treści.

Co istotne, nie wszystkie rozwiązania działają w ten sposób. Istnieją urządzenia i systemy, które pozwalają nagrywać sygnał DVB-T2 w postaci standardowych plików możliwych do odtworzenia na komputerze. Ciekawą i coraz popularniejszą opcją jest wykorzystanie oprogramowania typu TVHeadend, działającego na niewielkim komputerze lub serwerze domowym. Taki system odbiera sygnał z tunera DVB-T2 i udostępnia go w sieci lokalnej, a nagrania zapisuje w postaci typowych strumieni MPEG, które można bez problemu odtworzyć na różnych urządzeniach. Co więcej, możliwe jest programowanie nagrań, korzystanie z przewodnika EPG, a nawet pełna automatyzacja – czyli funkcjonalność bardzo zbliżona do tej, którą kiedyś oferowały magnetowidy, tylko w znacznie wygodniejszej, cyfrowej formie.

Można więc powiedzieć, że sama idea nagrywania telewizji nie zniknęła – została jedynie „opakowana” w nowe technologie, które nie zawsze idą w parze z wygodą użytkownika. Jeśli jednak sięgnie się po bardziej otwarte rozwiązania, wciąż można korzystać z tej funkcji niemal tak swobodnie jak dawniej.

Serdecznie pozdrawiamy
Redakcja EdW

eprasa.pl d2e0862bc0

Wysokowydajny subwoofer aktywny do domowego sprzętu Hi-Fi, część 1



Opisany w artykule subwoofer został zaprojektowany bezkompromisowo, dzięki czemu nadaje się idealnie do wysokiej jakości systemu kina domowego lub jako element systemu stereo wysokiej jakości.

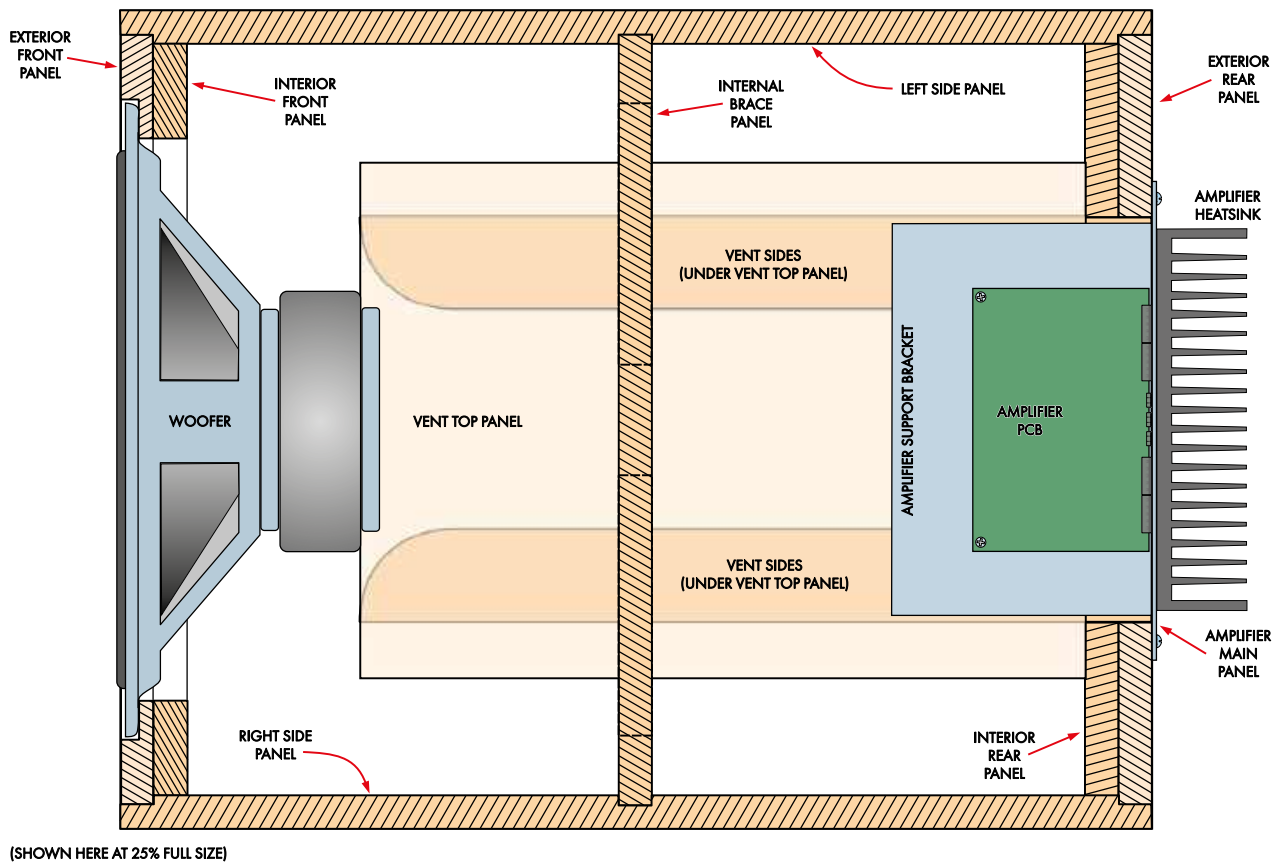
W aktywnym subwooferze został zastosowany 12-calowy głośnik SB Acoustics SB34SWNRX-S75-6 346 mm oraz wbudowany moduł wzmacniacza klasy AB o mocy 200 W, który w tej konfiguracji może dostarczyć do 180 W ciągłej mocy wyjściowej.

Subwoofer został zaprojektowany z myślą o współpracy ze zwrotnicą aktywną oraz aktywnymi głośnikami monitorującymi opisanymi na łamach Silicon Chip (a także EdW z maja i czerwca 2025 roku). Jest to jednak konstrukcja wysokiej klasy o szerokim zakresie zastosowań, zapewniająca bas o dużej mocy oraz bardzo niskim poziomie zniekształceń w najniższych oktawach pasma.

Subwoofery mają za zadanie przenoszenie dużych ilości powietrza. Im głębiej schodzimy w niskie częstotliwości (basy), tym większe jest to dla nas wyzwanie. Aby uzyskać prawdziwie wysoką wierność, chcemy uzyskać punkt –3 dB znacznie poniżej 30 Hz i osiągnąć pełną moc wyjściową do 20 Hz.

Niestety, musimy również wziąć pod uwagę kwestie praktyczne, takie jak wymagana objętość fizyczna. Wymaga to od nas porzucenia egzotycznych rozwiązań, takich jak nieskończone przegrody czy obciążenie tuby.

Po sprawdzeniu kilku podobnych głośników, zdecydowałem się na SB Acoustics SB34SWNRX-S75-6. Zamontowany w 80-litrowej obudowie dostrojonej do 25 Hz, daje



Rysunek 1. Widok subwoofera z góry w przekroju („rentgenowskim”) wraz ze zintegrowanym wzmacniaczem panelowym

eprasa.pl d2e0862bc0

punkt –3 dB przy 25 Hz i w wolnej przestrzeni jest tylko o 8 dB niższy przy 20 Hz. Obudowa ta jest bardzo prosta jak na tak potężny głośnik i do pracy z tak niskimi częstotliwościami.

Możliwe byłoby zastosowanie znacznie większej obudowy i dostrojenie jej do niższej częstotliwości, jednak większe wymiary oraz problemy związane z projektowaniem tunelu bass-reflex czynią takie rozwiązanie mało praktycznym dla większości użytkowników.

Subwoofer opisany niżej jest konstrukcją dość zaawansowaną. Ze wzmacniaczem pracującym z pełną mocą, dostarczającym blisko 200 W, zastosowany głośnik działa całkowicie w swoim liniowym zakresie aż do 20 Hz. Zbudowałem wiele subwooferów, w tym także profesjonalne konstrukcje audio, i na ich tle opisywany w artykule model wypada bardzo korzystnie.

Przy takim poziomie mocy subwoofer wytworzy ponad 110 dB SPL (ciśnienia akustycznego) aż do 30 Hz i ponad 100 dB SPL przy 20 Hz. Wartości te dotyczą wolnej przestrzeni, w realnym świecie mamy podłogę i zwykle jedną lub dwie ściany, które zwiększają to ciśnienie nawet o 6 dB. Fakt, że znajdujemy się w pomieszczeniu o skończonej objętości oznacza, że subwoofer odznacza się płaską charakterystyką częstotliwościową do około 20 Hz.

Cewka drgająca tego głośnika ma średnicę 75 mm i długość 28,5 mm. Jest to więc cewka bardzo długa, wymagana do osiągnięcia wspomnianego liniowego wychylenia. Jedną z konsekwencji jest to, że znaczna część cewki głośnika znajduje się poza magnetyczną szczeliną powietrzną, która ma wysokość 6 mm. Ma to znaczący wpływ na wydajność, co jest ceną, jaką płacimy za osiągnięcie wysokiej mocy wyjściowej przy niskich częstotliwościach.

Głośnik może być sterowany z wyjścia subwoofera wzmacniacza kina domowego lub aktywnej zwrotnicy. Zalecam umieszczenie subwoofera niezbyt daleko od głównych głośników, ale w miejscu, które zaakceptują członkowie rodziny.

Jeśli koszty nie stanowią ograniczenia, dwa subwoofery są zawsze lepszym rozwiązaniem niż jeden. Każdy z nich można umieścić w pobliżu jednego z głośników głównych. W praktyce jednak mało prawdopodobne jest, aby pojedynczy aktywny subwoofer kiedykolwiek osiągnął granice swoich możliwości.

Istotną zaletą prezentowanego subwoofera jest to, że szerokość przenoszonego pasma nie zależy od mocy wyjściowej. Dzięki temu może on pracować przy bardzo wysokich poziomach sygnału aż do częstotliwości 20 Hz. Osiągnięcie takich parametrów wymaga wprawdzie znacznych nakładów, jednak w praktyce uzyskany efekt jest naprawdę imponujący.

Obudowa bass-reflex czy membrana bierna

Zdecydowałem się na zastosowanie w naszym subwooferze portu szczelinowego. Istnieją głośniki bierne (radiatory pasywne), które można sparować z subwooferem, ale są one dość drogie, a potrzebne są dwa! W moim rozwiązaniu tunel bass-reflex jest tak duży, jak tylko mogłem go zmieścić. Tunel ma rozszerzone zakończenia, aby zminimalizować turbulencje powietrza przy wysokich poziomach mocy.

Wykonany jest z ułożonych warstw MDF przyciętych tak, aby tworzyły zaokrąglenia na obu końcach, co daje tunel o wysokości 48...50 mm i szerokości 180 mm.

Konfiguracja otworu bass-reflex wraz ze wzmacniaczem i obudową, które zostały opisane niżej, przedstawiono na **rysunku 1**.

Jeśli subwoofer nie będzie pracował przy bardzo wysokich poziomach sygnału ani reprodukował najniższych częstotliwości, wystarczający okaże się pojedynczy okrągły tunel o średnicy 10 cm i długości 41 cm. Jednak biorąc pod uwagę koszt całej konstrukcji, uważam, że w tym przypadku kompromisy w projekcie portu nie są uzasadnione.

Wzmacniacz

Zintegrowany wzmacniacz pobiera sygnał z wejścia liniowego RCA ze wzmacniacza zwrotnicy aktywnej i dostarcza moc około 180 W.

Wzmacniacz, którego użyłem to moduł Ultra-LD Mk.4 (sierpień-październik 2015, siliconchip.au/Series/289). A jeśli nie lubimy pracować z układami SMD, alternatywnie można użyć modułu Ultra-LD Mk. 3 200 W (lipiec-wrzesień 2011, siliconchip.au/Series/286). Oba sprawdzą się w tej roli doskonale.

Zaprojektowałem obudowę, która będzie pasować do każdego modułu wzmacniacza, ponieważ są one tego samego rozmiaru.

Co jest potrzebne do zbudowania aktywnego subwoofera?

Wzmacniacz Ultra-LD Mk.3 lub Mk.4
Mk.3 – lipiec-wrzesień 2011, siliconchip.au/Series/286
Mk.4 – sierpień-październik 2015, siliconchip.au/Series/289
Wielokanałowy układ zabezpieczenia głośników (4-CH), styczeń 2022, siliconchip.au/Article/15171 (EdW 9/2024).
Płyta MDF na obudowę, wata akustyczna, radiator, przewody i inne elementy (patrz wykaz elementów)

Obudowa

Obudowa jest wykonana z płyty MDF o grubości 18 mm. Aby zapewnić dodatkową wytrzymałość i zmniejszyć wibracje, przednia i tylna ścianka są dwuwarstwowe, a w środku obudowy znajduje się pełne usztywnienie. Obudowa ma 560 mm głębokości, 470 mm szerokości i 470 mm wysokości.

W naszym systemie głośnikowym aktywny subwoofer pracuje z częstotliwością podziału ustawioną na 80 Hz oraz bardzo stromym filtrem o nachyleniu 24 dB na oktawę. Dzięki temu odtwarzane są wyłącznie najniższe częstotliwości, których ludzkie ucho nie potrafi precyzyjnie zlokalizować w przestrzeni. W praktyce oznacza to, że nie da się „usłyszeć", gdzie stoi subwoofer – chyba że w jego pobliżu coś zacznie rezonować lub grzechotać.

Jeśli używasz go z innym systemem kina domowego, spodziewam się, że podział częstotliwości znajdzie się w przedziale 80...150 Hz, i będzie w pełni akceptowalne.

Przyjęty rozmiar stanowi idealne rozwiązanie sprawiające, że subwoofer zmienia się z „ukrytego" w domu, w przedmiot, który trzeba jakoś pomieścić. Obudowa jest solidna i zapewnia zarówno niesamowitą precyzję, jak i „powalający" bas.

Osiągi

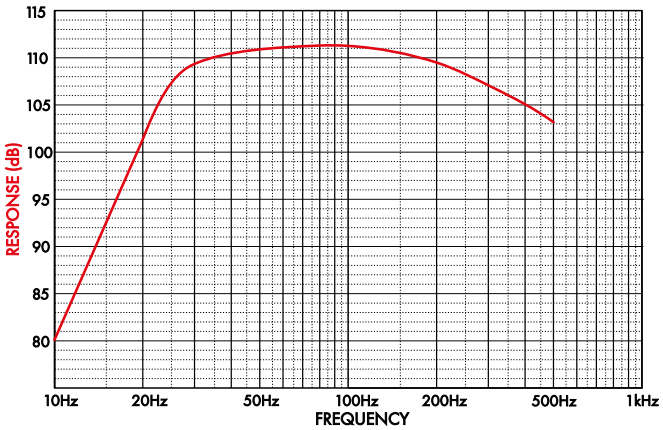
Na **rysunku 2** przedstawiono oczekiwaną (teoretyczną) charakterystykę częstotliwościową, natomiast na **rysunku 3** charakterystykę rzeczywistą (zmierzoną). Pomiar wykonano na zewnątrz, w możliwie dużej odległości od powierzchni odbijających (około 1,5 m od najbliższego budynku), z mikrofonem umieszczonym na wysokości odsłuchu głośników monitorujących na podstawkach 0,8 m oraz w odległości 1 m od subwoofera.

Z pomiaru wynika, że punkt –3 dB wypadł dla częstotliwości 27 Hz. Filtr subsoniczny na wyjściu subwoofera był aktywny. Jego usunięcie spowodowałoby pogłębienie basów. Na charakterystyce widoczne są pewne tętnienia, ale są one nieuniknione bez popadania w skrajności.

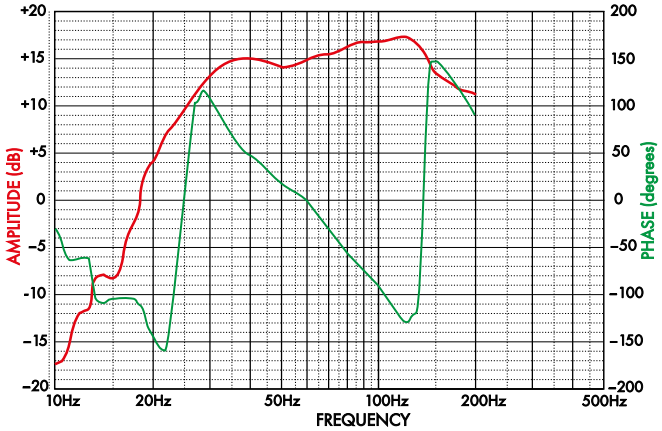
Pasmo przenoszenia subwooferów jest trudne do dokładnego zmierzenia w pomieszczeniach ze względu na występujące w nich rezonanse oraz wpływ podłogi i ścian na ogólne wzmocnienie sygnału. Wynik jednego z pomiarów wykonanych w pomieszczeniu przedstawiono na **rysunku 4**. Jest to pomiar złożony, wykonany w odległości około 20 cm od głośnika niskotonowego oraz tunelu bass-reflex.

„Wzmocnienie pomieszczenia" (ang. room gain) to zjawisko polegające na zwiększeniu poziomu ciśnienia akustycznego generowanego przez subwoofer wskutek rezonansów pomieszczenia. Efekt ten jest szczególnie widoczny

eprasa.pl d2e0862bc0



Rysunek 2. Teoretyczna charakterystyka częstotliwościowa głośnika SB Acoustics SB34SWNRX-S75-6 365 mm w obudowie o pojemności 80,5 litra z częstotliwością strojenia 25,03 Hz



Rysunek 3. Pomiar charakterystyki częstotliwościowej subwoofera wykonany na zewnątrz pomieszczenia, tak daleko od obiektów odbijających dźwięk, jak to było możliwe (z wyjątkiem ziemi)

poniżej częstotliwości, dla której najdłuższy wymiar pomieszczenia odpowiada połowie długości fali. Dla pomieszczenia o długości 10 m częstotliwość ta wynosi około 17 Hz. Z uzyskanej charakterystyki częstotliwościowej wynika, że przy niskich częstotliwościach poziom sygnału jest wyższy, niż przewiduje modelowanie Thiele'a-Smalla. Z dużym prawdopodobieństwem można przypuszczać, że jest to efektem wzmocnienia pomieszczenia.

Krzywa impedancji subwoofera jest pokazana na **rysunku 5**. Wartość ta mieści się w zakresie możliwości wzmacniaczy Ultra-LD stosowanych w układzie i jest wystarczająco niska, aby umożliwić dostarczenie do głośnika niemal pełnej mocy 200 W.

Obudowa

Obudowę można zbudować na wiele sposobów. Na **rysunku 6** pokazano, jak można wyciąć wszystkie ścianki z pojedynczej płyty MDF o wymiarach 2400 mm×1200 mm i grubości 18 mm, minimalizując liczbę cięć. Zrobiłem to w ten sposób, ponieważ nie mam piły stołowej i chciałem wyciąć arkusz w lokalnym markecie budowlanym, w którym go kupiłem.

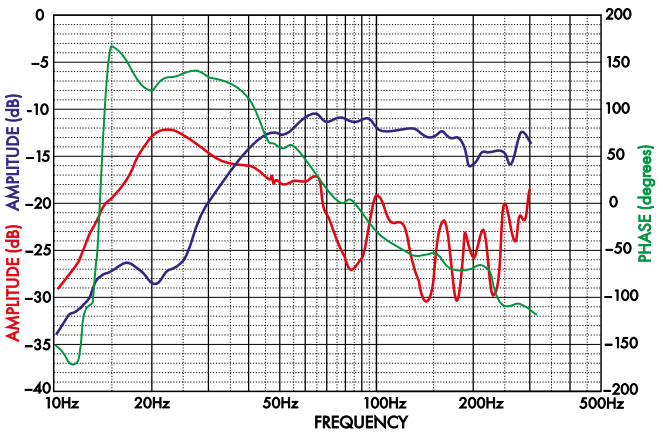
Decyzja ta okazała się bardzo trafna, ponieważ w niespełna 15 minut wszystkie elementy zostały wycięte, a tolerancja wymiarowa mieściła się w granicach 1 mm. Całość zmieściła się w bagażniku samochodu VW Golf, dzięki czemu mogłem bez problemu przewieźć wszystkie elementy do domu. Narzędzia potrzebne do wykończenia surowych paneli to frezarka, wyrzynarka, wiertarka akumulatorowa (lub narzędzia ręczne) oraz sporo pracy.

Przed rozpoczęciem prac należy zapoznać się z rysunkami. Szczegółowe widoki wyciętych paneli przedstawiono na **rysunkach 7...12**. Do połączenia wszystkich elementów obudowy zastosowano frezowane wręgi. Jeśli dysponuje się odpowiednią liczbą zacisków stolarskich, obudowę można po prostu skleić i ścisnąć zaciskami. Frezowanie można wykonać w prosty sposób przy użyciu przyrządu opisanego poniżej. Konieczne jest również wykonanie otworów na tunel bass-reflex, moduł wzmacniacza oraz głośnik.

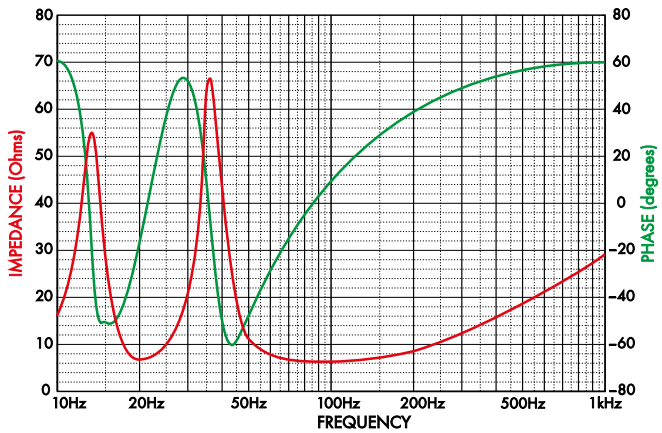
Jeśli nie podoba Ci się pomysł użycia frezarki, możesz zmienić rozmiar paneli i skręcić je na styk. Na zdjęciach widać, że użyłem zarówno wkrętów, jak i wręg. Miało to ułatwić montaż Zakowi, mojemu 9-letniemu pomocnikowi, który przyjechał na weekend. Bardzo chciał się zaangażować w prace nad subwooferem. Klejenie i skręcanie ścianek z wręgami poszło bardzo dobrze.

Moje sugerowane kroki montażu są następujące.

1. Kup płytę MDF i potnij ją na główne elementy.
2. Wyfrezuj ścianki tak, jak to pokazano na rysunkach (7, 10 i 11). Przykręcając przyciętą płytę MDF 18 mm do blatu roboczego i docinając ją pod kątem 90°, można wykonać niezwykle skuteczny przyrząd do frezowania, w którym 18-milimetrowe ścianki będą idealnie pasować, jak pokazano na **fotografii 1**.



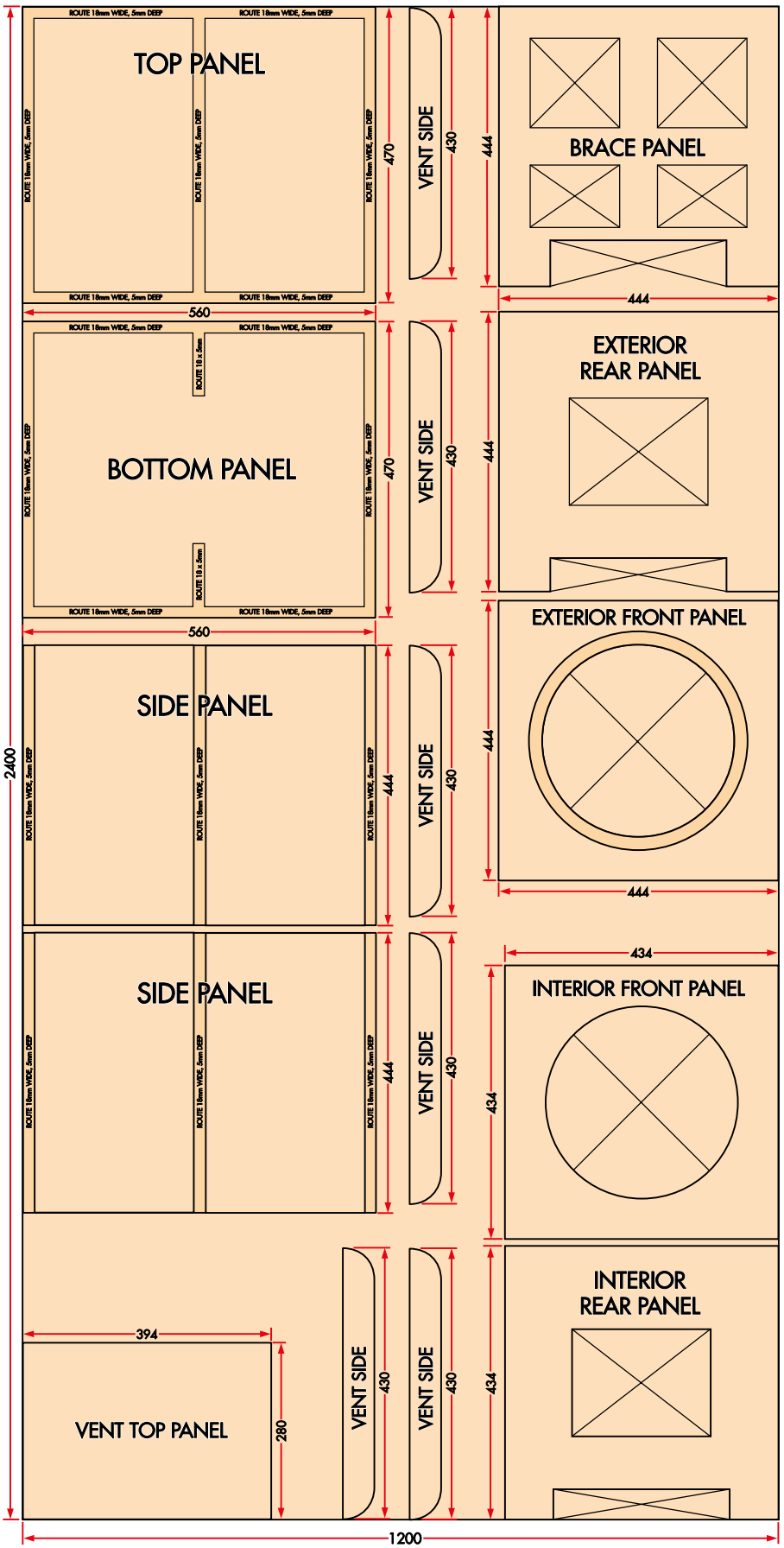
Rysunek 4. Sumaryczna charakterystyka częstotliwościowa wewnętrznego sygnału wyjściowego zdjętego z membrany (ciemnoniebieski) i tunelu bass-reflex (czerwony) pokazuje, że łączą się one, aby uzyskać przewidywaną charakterystykę



Rysunek 5. Impedancja subwoofera zamontowanego w obudowie przed podłączeniem wzmacniacza mocy. Wartości szczytowe pokazują, że nasze strojenie jest zgodne z przewidywaniami

eprasa.pl d2e0862bc0

NOTES:
1. ALL PARTS OF THE SUBWOOFER ARE CUT FROM A SINGLE 1200 x 2400 SHEET OF 18mm THICK MDF, EXCEPT...
2. THE VENT SIDE PANELS SHOULD ALL BE CUT FROM 16mm THICK MDF, OR CUT FOUR FROM 18mm THICK MDF AND TWO FROM 12-14mm THICK MDF.
3. ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETRES
4. THIS DIAGRAM IS DRAWN TO 10% FULL SIZE



Rysunek 6. Ścianki subwoofera wycięte z płyty MDF o grubości 18 mm przy użyciu zalecanych połączeń wręgowanych

Korzystając z tego przyrządu oraz ogranicznika końcowego, nie ma potrzeby wykonywania pomiarów ani żmudnego ustawiania frezowania usztywnienia, ponieważ wszystkie wręgi mają jednakową głębokość (5 mm). W ten sam sposób można również wyfrezować wręgi w panelach przednim i tylnym, co pozwala zachować prostopadłość wszystkich elementów.

3. Wykonaj otwór pod głośnik. Użyłem okrągłej prowadnicy wykonanej z aluminiowego odcinka. Wywierciłem w niej kilka otworów montażowych, które umożliwiły uzyskanie odpowiedniej średnicy otworu pod wręgę oraz głośnik. Poprawność średnicy sprawdzałem, przymierzając głośnik do wykonanego otworu. Rezultat pokazano na **fotografii 2**.

Aby kosz głośnika przylegał równo do przedniej ścianki, głębokość wcięcia (wręgi) powinna wynosić 10 mm.

4. Wytnij otwory bass-reflex oraz otwory w usztywnieniu.

Do ich wykonania użyłem wyrzynarki.

5. Wytnij boki kanału bass-reflex oraz jego wyprofilowane zakończenia (flary),



Fotografia 1. Przyrząd zbudowany za pomocą frezarki i kilku ścinków MDF służący do wykonywania precyzyjnie wyrównanych wręg

eprasa.pl d2e0862bc0



Fotografia 2. Mój domowej roboty okrągły przyrząd do frezarki pozwolił mi wykonać czyste, okrągłe podfryzowanie oraz idealnie wyciąć otwór na głośnik



Fotografia 3. Stos paneli po wykonaniu wręg i otworów. Boki kanału bass-reflex znajdują się na górze stosu (pokazane poniżej). Są one wykonane z trzech warstw MDF sklejonych ze sobą i wyszlifowanych na gładko

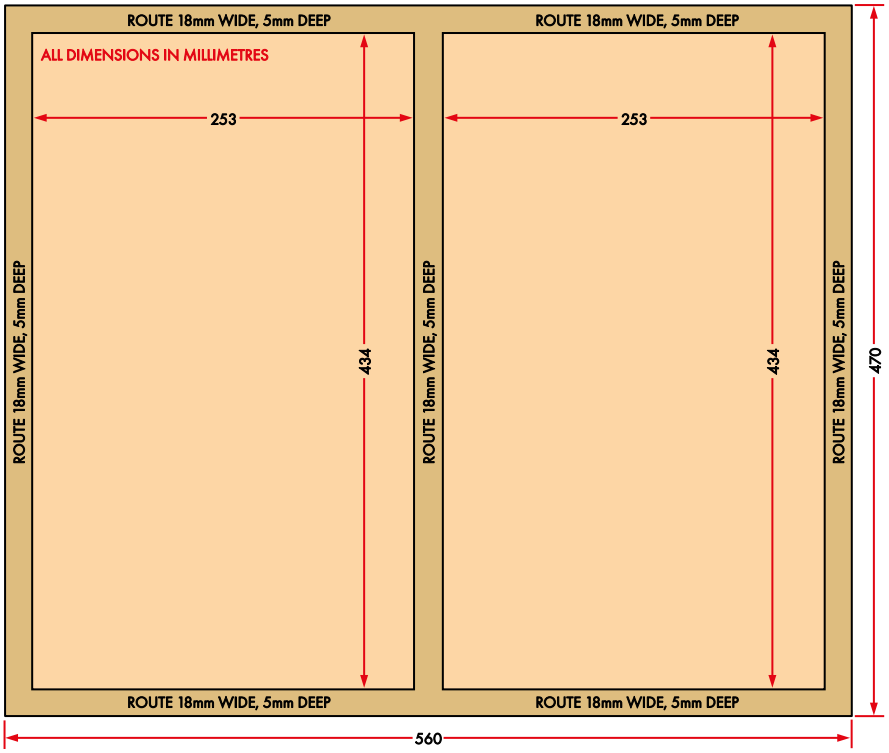


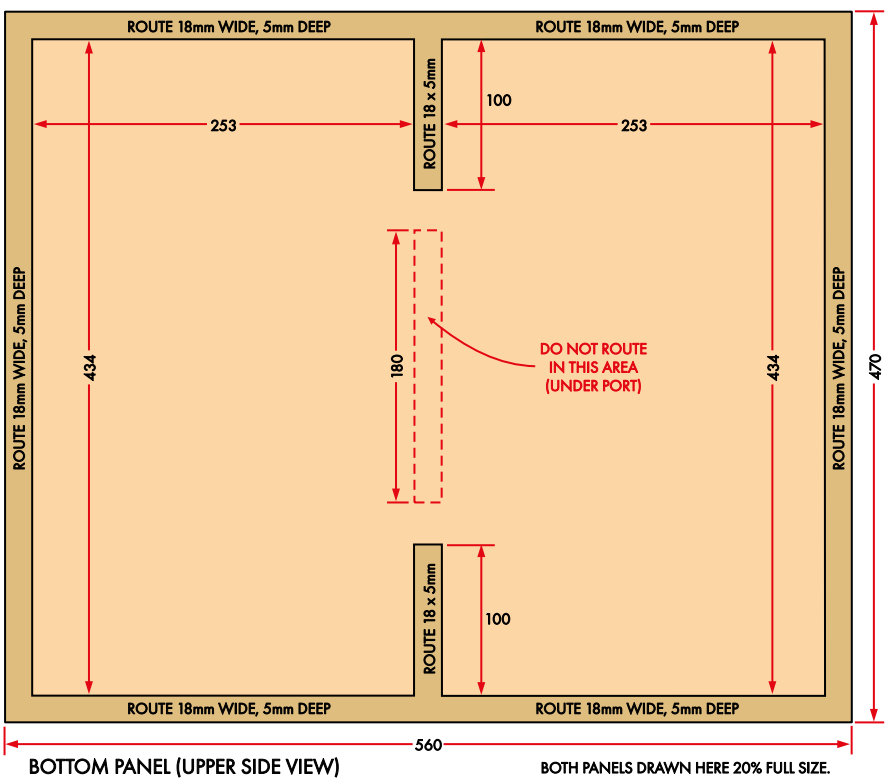
Fotografia 4.



Fotografia 5. Przed nałożeniem kleju bardzo ważne jest „dopasowanie na sucho" wszystkich elementów. Jeśli zaczniesz kleić i napotkasz problem, trudniej będzie go naprawić

a następnie sklej je ze sobą, wypełnij ubytki i przeszlifuj powierzchnię na gładko. Użyłem do tego niewielkiej ilości szpachlówki, którą znalazłem w warsztacie. Odpowiednia będzie praktycznie każda szpachla przeznaczona do szlifowania. Nie należy jednak stosować szpachli akrylowej, ponieważ nie nadaje się ona do obróbki ściernej. Powierzchnia nie musi być idealnie gładka, jednak





Rysunek 7. Szczegóły wręg wyfrezowanych w górnej i dolnej ściance (wszystkie o głębokości 5 mm). Poza tym są to zwykłe prostokąty z płyty MDF

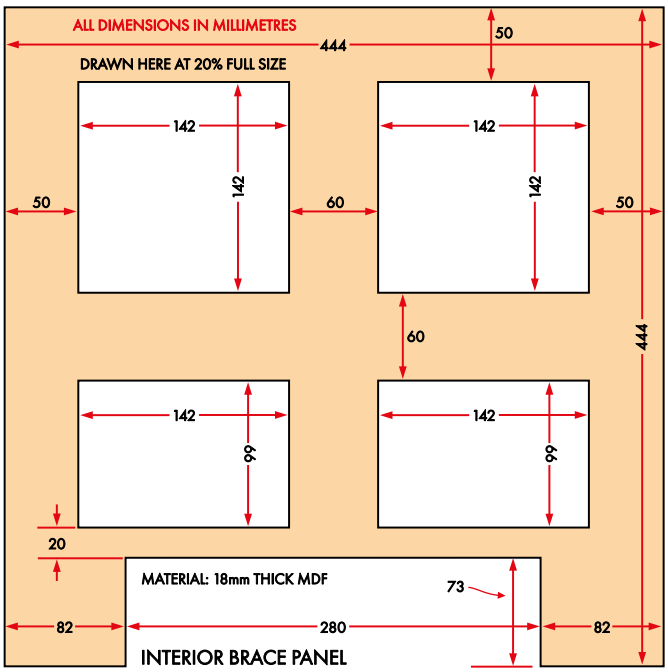
eprasa.pl d2e0862bc0

zależało mi na wyrównaniu niektórych mniej dokładnych cięć.

Montaż

Po wykonaniu ścianek, jak pokazano na **fotografii 3**, nadszedł czas, aby je złożyć, wykonując następujące czynności. Na **rysunku 13** pokazano boczny przekrój subwoofera, który może pomóc w zrozumieniu, jak złączyć wszystkie elementy.

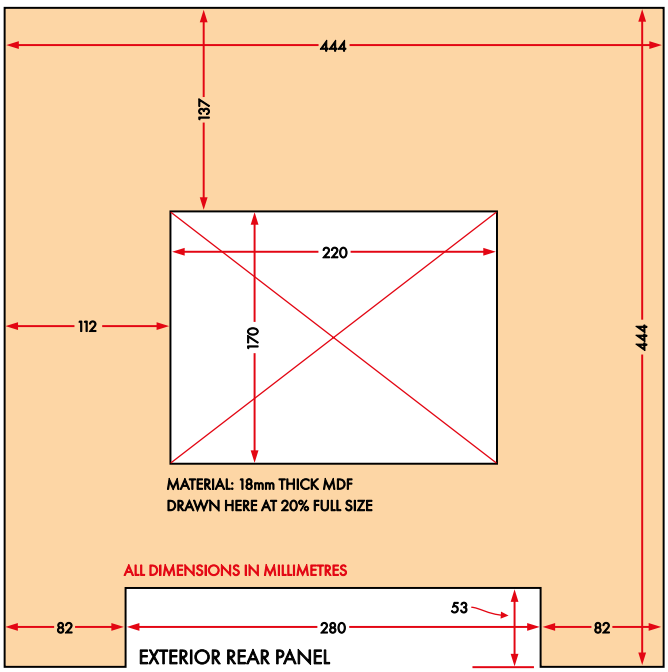
1. Wykonaj pasowanie „na sucho", jak pokazano na **fotografii 5**. Zmontuj obudowę ze wszystkich elementów bez użycia kleju lub śrub. Użyj taśmy malarskiej do utrzymania razem wszystkich ścianek. Musisz mieć pewność, że wszystko jest ze sobą dopasowane i nie ma żadnych szczelin. Jeśli konieczne jest spiłowanie lub przycięcie któregoś z paneli, należy zrobić to teraz, ponieważ dobra jakość wykonania w dużej mierze zależy od właściwego przygotowania.
2. Jeśli planujesz użyć wkrętów i kleju, wywierć i pogłęb otwory, aby dopasować do wkrętów. Odpowiednie będzie wiertło 4 mm. Do wykonania otworów pilotażowych pod wkręty w poprzek włókien podczas montażu obudowy, należy użyć wiertła 3 mm. Może się wydawać, że otwory pilotażowe są duże, ale wkręty 50 mm będą całkowicie bezpieczne i nie dojdzie do pękania płyty MDF.
3. Zamontuj tylne ścianki. Ten krok wymaga przymocowania tylnych ścianek zewnętrznych i wewnętrznych do podstawy. Najpierw umieść dwie tylne ścianki we wrębie, a następnie dopasuj na sucho ścianki boczne upewniając się, że wyrównanie tylnych ścianek

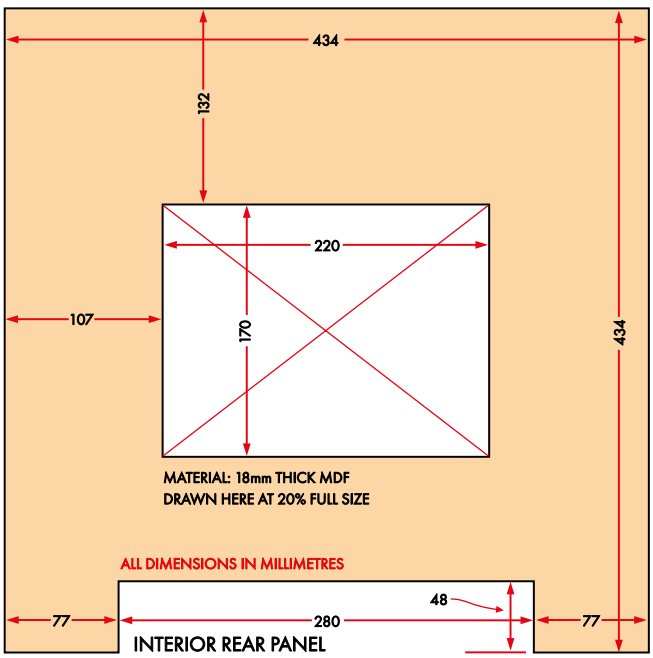


Rysunek 8. Wewnętrzne wzmocnienie konstrukcji. Rozmiary i kształty otworów nie muszą dokładnie odpowiadać moim, ale aby uzyskać oczekiwane parametry, powinny być w miarę zbliżone



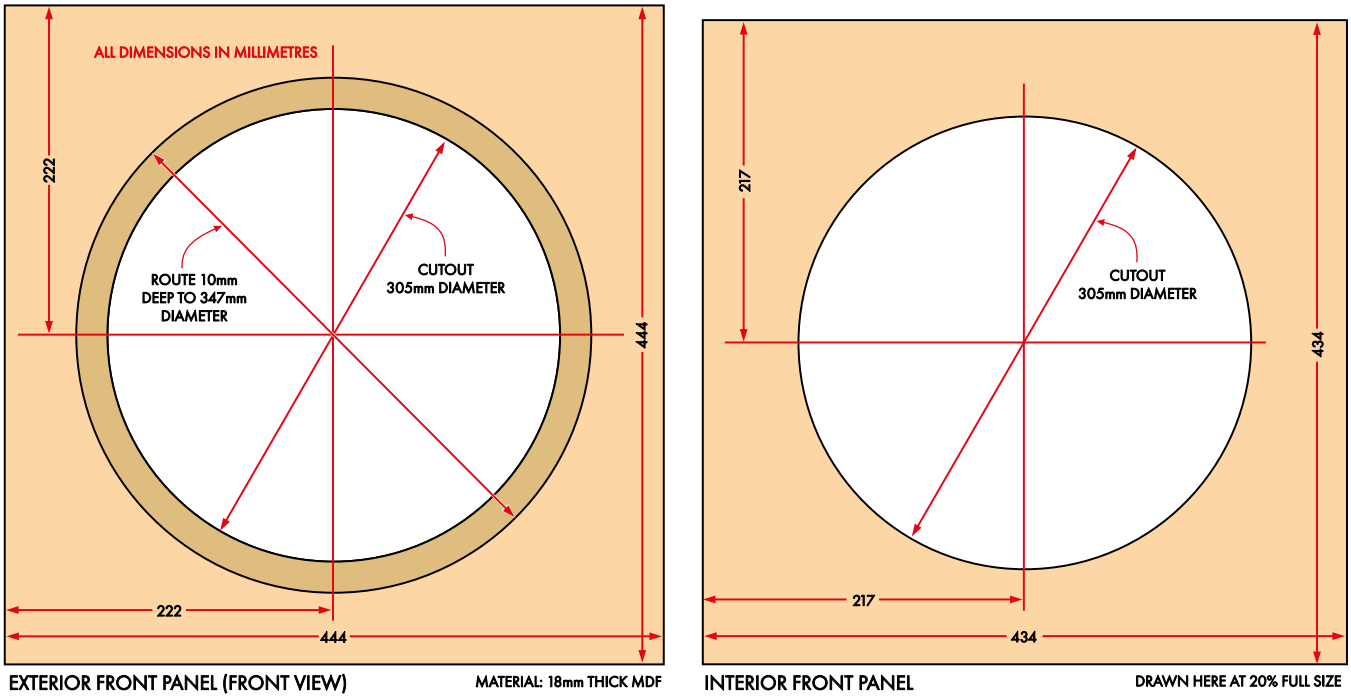
Fotografia 6. Montaż tylnych ścianek. Poprowadziłem je prosto w poprzek dolnej ścianki, a następnie wypełniłem wręgę w obszarze portu szpachlą do drewna





Rysunek 9. Tylna ścianka wykonana z dwóch sklejonych ze sobą kawałków płyty MDF, z których jeden jest nieco mniejszy od drugiego

eprasa.pl d2e0862bc0

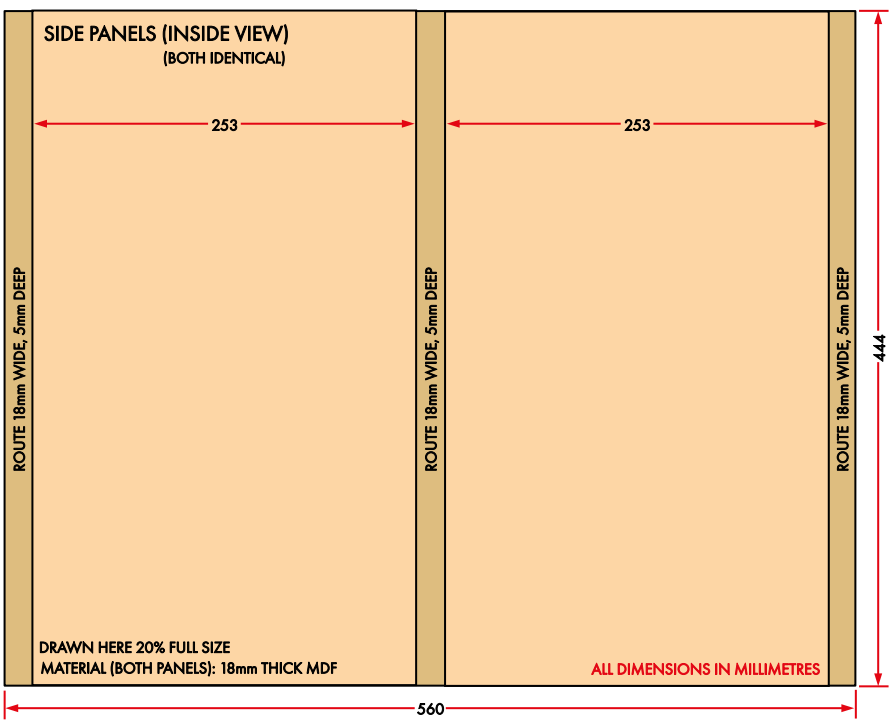


Rysunek 10. Ścianka przednia, podobnie jak ścianka tylna, składa się z dwóch sklejonych ze sobą kawałków płyty MDF. Zapoznaj się z naszymi wskazówkami, jak wykonać przyrząd do poprowadzenia okrągłej wręgi i precyzyjnego wycięcia otworu

jest prawidłowe. Przykręć tylne ścianki wewnętrzne i zewnętrzne za pomocą wkrętów 8G o długości 35 mm z klejem PVA między ściankami. Upewnij się, że ścianki są mocno połączone.

Teraz wyrównaj ścianki z podstawą, upewniając się, że dwie ścianki boczne są idealnie dopasowane do siebie. Przykręć je do podstawy.

4. Przymocuj boki i wsporniki tunelu bass-reflex. Aby idealnie wyrównać lewą stronę, wywierć w odpowiednich miejscach otwory pilotażowe pod śruby, a następnie przykręć je i przyklej. Teraz dopasuj elementy usztywniające tak, aby znajdowały się w jednej płaszczyźnie z tylną ścianką zewnętrzną. Upewnij się, że są one równoległe wewnątrz obudowy i zabezpiecz je. Na koniec zamontuj prawą ściankę.
5. Zamontuj wewnętrzne usztywnienie i ścianki przednie. Najpierw przyklej i przykręć ściankę, która tworzy górną część portu. Wewnętrzne usztywnienie i ścianki przednie powinny wsunąć się prosto na swoje miejsce. Jeśli nie, dopasuj je idealnie. Przyklej je i przykręć.
6. Na koniec przymocuj górną ściankę (**fotografie 7** i **8**). Upewnij się, że klej, który

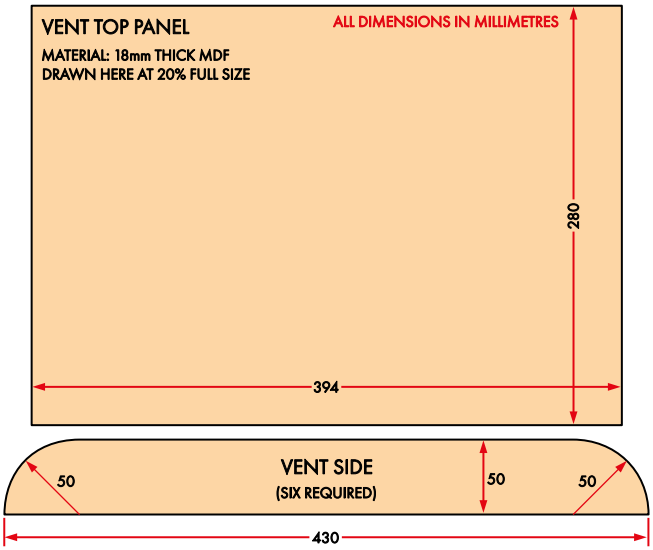


Rysunek 11. Obie ścianki boczne są identyczne i mają centralne wcięcie 5 mm (dla wewnętrznego usztywnienia) oraz po jednym na każdym końcu (gdzie będzie łączyć się ścianka przednia z tylną)



Fotografia 7. W tym momencie wszystkie panele z wyjątkiem górnej ścianki zostały przymocowane

eprasa.pl d2e0862bc0



Rysunek 12. Otwór bass-reflex jest wykonany z tych elementów, ale należy pamiętać, że sześć elementów bocznych należy wyciąć z płyty MDF o grubości 16 mm, aby uzyskać wymaganą łączną grubość 48...50 mm dla trzech elementów, lub użyć czterech wyciętych z płyty MDF o grubości 18 mm i dwóch z płyty MDF o grubości 12 mm (18 mm×2 + 12 mm = 16 mm×3 = 48 mm).

wyciekł ze spoin został oczyszczony, ponieważ po wyschnięciu jest trudny do usunięcia.

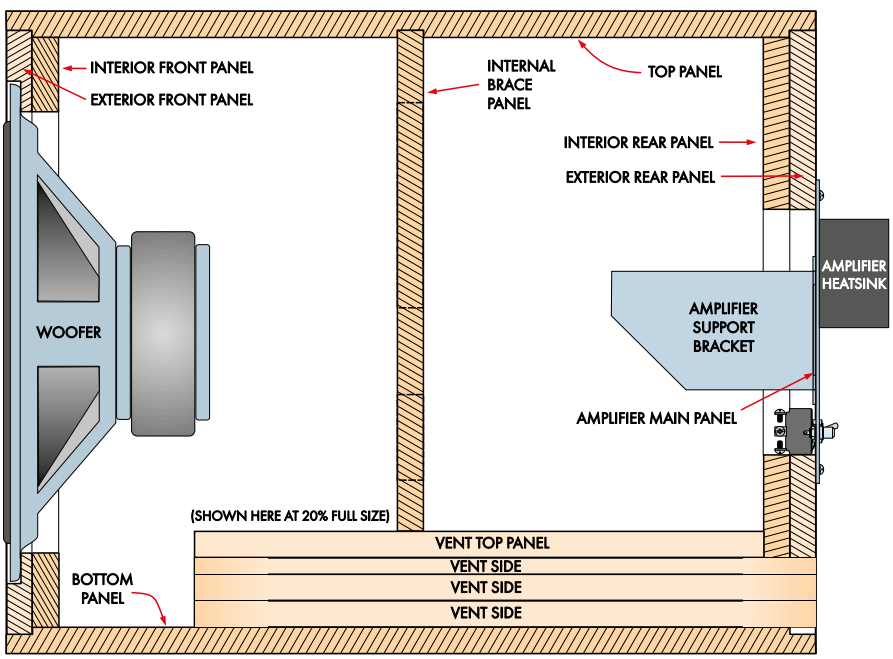
Wykończenie obudowy

Zdecydowałem się na pomalowanie aktywnego subwoofera, przy czym kluczowe kroki to:

1. Frezowanie narożników frezarką o promieniu 6 mm w celu wygładzenia krawędzi.
2. Uszczelnienie obudów podkładem akrylowym nakładanym wałkiem.
3. Delikatne szlifowanie obudowy w celu pozbycia się wszelkich nierówności.
4. Wypełnienie wszystkich otworów po śrubach i słojach szpachlą, uważając, aby nie nałożyć jej zbyt dużo. Byłby to poważny błąd. Grubą warstwę szpachli byłoby bardzo trudno zeszlifować.
5. Szlifowanie na gładko (**fotografia 9**).
6. Powtarzaj gruntowanie i szlifowanie, aż powierzchnia będzie idealna.
7. Ponowne gruntowanie, przeszlifowanie i malowanie (**fotografia 10**).

Wzmacniacz subwoofera

Zbudowałem wzmacniacz Ultra-LD Mk. 4 i zamontowałem go z odpowiednim zasilaczem na aluminiowej płycie. Wybrałem ten wzmacniacz, ponieważ dostarczy on blisko 180 W mocy ciągłej do naszego 6 Ω głośnika niskotonowego.



Rysunek 13. Wewnętrzny widok z boku gotowego subwoofera bez ścianek bocznych



Fotografia 8. Po zamontowaniu górnej ścianki, nałożyłem wiele zacisków i poczekałem na wyschnięcie. Widać tutaj wylot portu i równe dopasowanie wzmocnienia konstrukcji do górnej ścianki portu



Fotografia 9. Przeszlifowałem i zagruntowałem aktywny subwoofer, a następnie przeszlifowałem go ponownie i dodałem kilka poprawek, aby połączenia były idealnie gładkie



Fotografia 10. Aktywny subwoofer z nałożoną końcową warstwą czarnej farby w sprayu. Farba powinna mieć wykończenie satynowe, jednak wygląda bardziej jak błyszcząca

eprasa.pl d2e0862bc0

Aby pomieścić wzmacniacz i wszystkie elementy, tworząc samodzielny moduł, który wsuwa się w wycięcie o wymiarach 220 mm×170 mm w tylnym panelu subwoofera wykonałem odpowiedni wspornik i panel. W jego skład wchodzą:

– jeden moduł wzmacniacza Ultra-LD Mk. 3 (w technologii przewlekanej) lub Mk. 4 (w technologii SMD);
– wielokanałowy układ zabezpieczający głośnik (z używanym jednym kanałem);
– zasilacz o mocy 250...300 W;
– radiator, przełącznik i zabezpieczenia;

Szczegółowe informacje na temat wzmacniacza Ultra-LD Mk. 4 można znaleźć w wydaniach Silicon Chip od sierpnia do października 2015 r. (siliconchip.au/Series/289). Większość informacji konstrukcyjnych znajduje się w wydaniu z września 2015 r.

Używany przez nas układ wielokanałowego „ochraniacza głośników" został opisany w numerze ze stycznia 2022 r. (siliconchip.au/Article/15171) oraz w EdW z września 2024 r. Jedyną zmianą w stosunku do tych instrukcji jest zainstalowanie tylko jednego przekaźnika w układzie zabezpieczenia głośnika, ponieważ zasilamy go z szyn ±57 V. Użycie tylko jednego przekaźnika zmniejsza straty mocy w stabilizatorze i mamy tylko jeden kanał do ochrony.

Jako płytę główną obudowy użyłem aluminiowy panel o grubości 3 mm. Zamontowałem do niego składany wspornik wykonany z aluminium o grubości 1,5 mm na transformator i panel w kształcie litery L dla osłony głośnika.

W następnym odcinku

Nie mamy wystarczająco dużo miejsca, aby zmieścić w tym numerze szczegóły konstrukcyjne wewnętrznego wzmacniacza aktywnego subwoofera. Wszystkie pozostałe szczegóły konstrukcyjne znajdą się w następnym (ostatnim) odcinku.

W międzyczasie, jeśli chcesz rozpocząć budowę aktywnego subwoofera, możesz zebrać wszystkie elementy z zamieszczonego w tym artykule wykazu. Następnie można zmontować obudowę Subwoofera, korzystając z instrukcji zawartych w tym artykule.

Następnie można zmontować moduł wzmacniacza Ultra-LD Mk.3 lub Mk.4, korzystając z instrukcji zawartych odpowiednio w numerze Silicon Chip z sierpnia 2011 r. lub września 2015 r. (ale jeszcze bez instalowania układów wyjściowych).

Dobrym pomysłem byłoby również zbudowanie czterokanałowego modułu ochrony głośników (styczeń 2022), ale bez jednego z przekaźników i powiązanych elementów sterujących. W tej aplikacji musimy chronić tylko jeden kanał.

Wykaz elementów:

1 zmontowany wzmacniacz panelowy – patrz poniżej
1 głośnik niskotonowy SB Acoustics SB34SWNRX-S75-6 346 mm [Wagner Electronics SB34NRX75-6]
1 płyta MDF o wymiarach 2400 mm×1200×18 mm lub podobna, przycięta zgodnie z rysunkiem 6
100 wkrętów do drewna 4×50 mm (opcjonalnie)
16 wkrętów do drewna 4×35 mm
30 wkrętów do drewna 4×28 mm
4 przyklejane filcowe podkładki pod nóżki mebli o średnicy 100 mm
1 3-metrowa taśma uszczelniająca z miękkiej pianki o szerokości 5...10 mm (do głośnika i wzmacniacza panelowego)
1 mata waty akustycznej 1 m×1 m [np. Lincraft „king size thick watding"]
1 tubka kleju PVA o pojemności 250 ml
1 pojemnik nadającej się do szlifowania szpachli do drewna
1 puszka farby akrylowej o pojemności 250 ml
1 puszka 350 g farby podkładowej w sprayu
1 puszka 350 g farby w sprayu (na dwie lub więcej warstw nawierzchniowych)
1 mała tubka pasty termoprzewodzącej
duża ilość papieru ściernego o ziarnistości 120, 240 i 400 (dostępnego w rolkach o długości 5 m)

Wzmacniacz panelowy

1 zmontowany moduł wzmacniacza Ultra-LD Mk.3 lub Mk.4 na żebrowanym radiatorze o szerokości 200 mm *
1 zmontowany 4-drożny układ zabezpieczenia głośników z pojedynczym przekaźnikiem (styczeń 2022) *
1 transformator toroidalny 40-0-40, 250 VA lub 300 VA [Tortech 0300-2-040]
1 gniazdo wejściowe IEC z wbudowanym bezpiecznikiem [Altronics P8324, Jaycar PP4004]
1 żółte izolowane gniazdo RCA do montażu w obudowie [Altronics P0219]
1 miniaturowy podświetlany przełącznik kołyskowy DPST 250 V AC 6 A z końcówkami lutowniczymi [Altronics S3217, Jaycar SK0995]
1 3-drożna sieciowa listwa zaciskowa [Altronics P2130A]
1 bezpiecznik topikowy 5 A 250 V 3AG [Altronics S5685, Jaycar SF2232]
1 mostek prostowniczy 35 V 400 V [Altronics Z0091A, Jaycar ZR1324]
4 kondensatory elektrolityczne 8000 µF 80 V [Jaycar RU6710]
1 kondensator MKT 10 nF 63 V
1 rezystor drutowy 270 Ω 10% 10 W [Altronics R0440, Jaycar RR3369]
* PCB i niektóre inne elementy są dostępne w sklepie internetowym Silikon Chip

Sprzęt

4 śruby z łbem walcowym M3×25 mm
16 śrub z łbem walcowym M3×16 mm
10 śrub z łbem walcowym M3×6 mm
2 śruby z łbem stożkowym M3×6 mm
2 tuleje dystansowe z gwintem M3 o długości 15 mm
5 płaskich podkładek M3
25 podkładek przeciwwstrząsowych M3
5 nakrętek sześciokątnych M3
1 blacha aluminiowa o wymiarach 260 mm×210 mm×3 mm
1 blacha aluminiowa 377 mm×150 mm×1,5 mm
1 blacha aluminiowa 152 mm×72 mm×1,5 mm
1 blacha aluminiowa 20 mm×38 mm×1,5 mm (wspornik)
1 arkusz Presspahnu o wymiarach 90 mm×70 mm lub podobna izolacja
4 niebieskie izolowane konektory wsuwkowe żeńskie (crimp) 6,3 mm [Altronics H2006B, Jaycar PT4625]
2 końcówki lutownicze 3,2...4,3 mm [Altronics H1503, Jaycar HP1350] lub
2 zaciskane końcówki oczkowe 3,7...4 mm [Altronics H1520, Jaycar PT4930]

Przewody i kable

1 1 m brązowego przewodu zasilającego 7,5 A [Altronics W2273, Jaycar WH3050]
1 1 m niebieskiego przewodu zasilającego 7,5 A [Altronics W2275, Jaycar WH3052]
1 przewód sieciowy 7,5 A w zielono-żółte paski o długości 10 cm (odłączony od przewodu zasilającego lub elastycznego przewodu zasilającego)
1 2-metrowy czerwony, przewód połączeniowy o dużej obciążalności (0,75 mm²/18 AWG) [Altronics W2270/83, Jaycar WH3040/45]
1 2-metrowy czarny, przewód połączeniowy o dużej obciążalności (0,75 mm²/18 AWG) [Altronics W2272/84, Jaycar WH3041/46]
1 zielony, przewód połączeniowy długości 2,2 m o dużej obciążalności (0,75 mm²/18 AWG) [Altronics W2274/85, Jaycar WH3042/47]
1 2-metrowy biały przewód połączeniowy o dużej obciążalności (0,75 mm²/18 AWG) [Altronics W2271/81]
1 30-centymetrowy czerwony przewód połączeniowy o średniej wytrzymałości [Altronics W2260]
1 30-centymetrowy zielony przewód połączeniowy o średniej obciążalności [Altronics W2263]
1 ekranowany kabel audio o długości 40 cm [Altronics W3010, Jaycar WB1500]

Nie montuj jeszcze głośnika w obudowie, chociaż możesz do tego się przygotować. Wcześniej należy rozłożyć watę akustyczną (zostanie to opisane w następnym odcinku). Konieczne będzie również dołączenie do głośnika odpowiedniej długości przewodu głośnikowego o dużym przekroju, aby później można było podłączyć go do modułu wzmacniacza, który zostanie zamontowany w kolejnym etapie.

W następnym odcinku przedstawimy instrukcje dotyczące budowy wspornika, do którego jest mocowany wzmacniacz, i na którym zamontowany jest również zasilacz sieciowy. Moduł wzmacniacza znajduje się po jednej stronie wspornika, a obok niego umieszczone zostanie zabezpieczenie głośnika. Transformator, mostek prostowniczy i bateria kondensatorów montowane są po drugiej stronie, tworząc kompaktowy zintegrowany moduł wzmacniacza.

Z tyłu tego modułu, poza obudową subwoofera, znajduje się radiator wzmacniacza, gniazdo wejściowe zasilania, przełącznik zasilania i wejście sygnału RCA. ■

Phil Prosser

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

eprasa.pl d2e0862bc0



Śpiewający ptaszek

Oto układ liczący sobie kilkadziesiąt lat, ale w nowej odsłonie. Spodoba się konstruktorom zarówno początkującym jak i doświadczonym. Jest szybki i łatwy do zbudowania, dlatego świetnie nadaje się także dla najmłodszych elektroników.

Kiedy zbliżają się święta lub czyjeś urodziny, elektronicy amatorzy często szukają małego, łatwego do zbudowania projektu, nadającego się na prezent. Uniwersalny urok, szczególnie dla naszych dzieci i wnuków, ma coś, co miga światełkami lub wytwarza przeróżne dźwięki. Pomoc początkującemu w zbudowaniu czegoś takiego to doskonały sposób na rozbudzenie w nim zainteresowania elektronicznym hobby.

Problemem bywa znalezienie odpowiedniego układu. Ostatnio podczas moich poszukiwań natknąłem się na „elektronicznego kanarka" zaprojektowanego przez Rona de Jonga. Projekt opublikowano w Electronics Australia w maju 1981 roku.

Niestety – układy CMOS z serii 74C użyte w oryginalnym projekcie nie są tak powszechnie dostępne jak układy z serii 74HC. Ponadto projekt oryginalny składał się z dużej kwadratowej płytki drukowanej wmontowanej w wielką prostokątną plastikową obudowę z aluminiowym panelem przednim, w dużym stopniu pustym. Czułem, że brakowało mu atrakcyjności wizualnej, która mogłaby przyciągnąć uwagę dzisiejszych młodych czytelników.

Przedstawiony tu projekt stanowi moją propozycję unowocześnienia układu. Zastosowałem układy z rodziny 74HC, a płytkę drukowaną przeprojektowałem tak, aby była bardziej zwarta i miała atrakcyjny kształt ptaka – czegoś pomiędzy przekarmioną papużką falistą a kukaburą!

Każdy współczesny producent płytek drukowanych oferuje do wyboru różne kolory maski lutowniczej. Ja wybrałem fioletowy, ale można też wybrać zielony, żółty lub czerwony (wszak pierwowzorem projektu był kanarek). Kolor soldermaski, kontrastujący z barwnymi paskami na rezystorach, sprawia, że ogólny efekt jest przyjemny i wesoły. Dzięki użyciu dwustronnej płytki drukowanej układ jest znacznie łatwiejszy w budowie niż jego pierwowzór z 1981 roku.

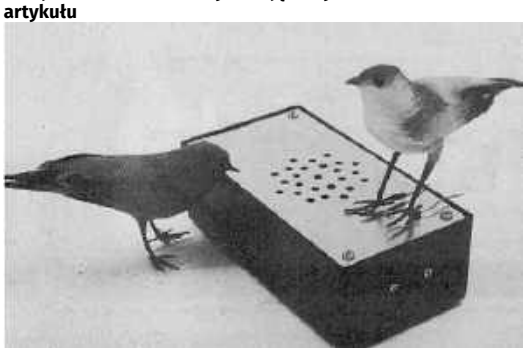
Usunąłem oryginalny duży i kosztowny głośnik o mocy 8 W i tranzystor sterujący na rzecz nowoczesnego niedrogiego głośnika piezoelektrycznego. Jest zamontowany z tyłu płytki drukowanej, wytwarza czysty dźwięk i... nie doprowadza rodziców do rozpaczy.

Oryginał wykorzystywał baterię 9 V, dość drogą, natomiast moja nowa wersja jest zasilana dwoma tanimi ogniwami AAA. Zasilanie 3 V przyczyniło się do znacznego zmniejszenia poboru prądu – do poniżej 2 mA.

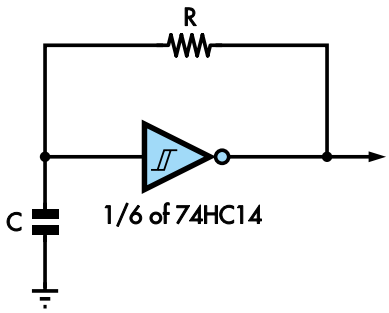
Co sprawia, że ptaszek śpiewa?

Układ „śpiewającego ptaszka" składa się z dwóch niemal identycznych bloków po trzy sprzężone ze sobą generatory czyli układy wytwarzające zmieniające się napięcia. Każdy generator jest oparty na jednym

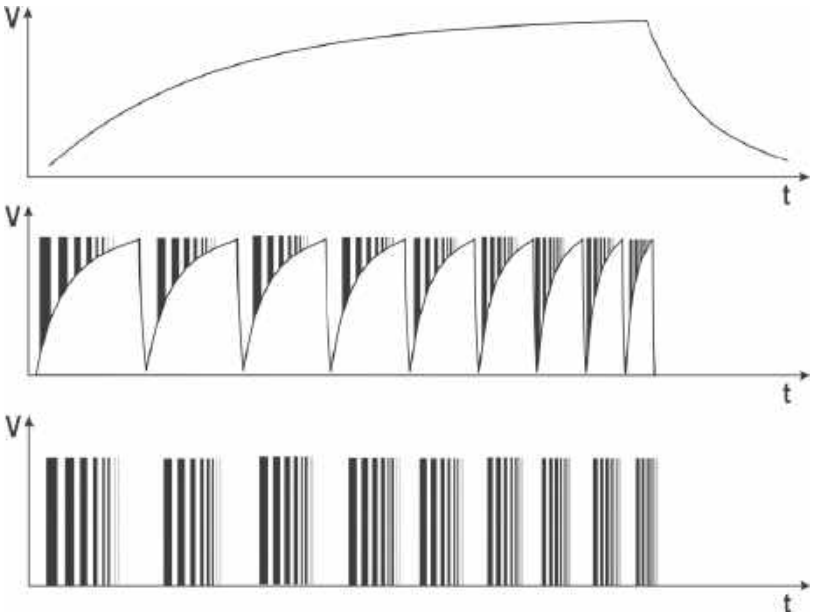
Inspiracją dla projektu „śpiewającego ptaszka" był artykuł z Electronics Australia z maja 1981 roku. Widzimy tu zdjęcie tytułowe artykułu



eprasa.pl d2e0862bc0



Rysunek 1. „Ptaszek" zawiera sześć generatorów. Każdy z nich to prosty generator RC (rezystor/kondensator)



Rysunek 2. W pojedynczym bloku trzech generatorów na inwerterach Schmitta są wytwarzane przebiegi pokazane na rysunku

z sześciu inwerterów Schmitta wchodzących w skład układu scalonego CMOS 74HC14. **Rysunek 1** przedstawia podstawowy układ każdego generatora.

Na wyjściu inwertera pojawia się niski poziom napięcia, gdy na jego wejściu panuje poziom wysoki – i odwrotnie. Do wyjścia dołączono rezystor R i kondensator C. W każdym generatorze wartości tych elementów są inne.

Po włączeniu zasilania kondensator jest rozładowany, zatem wejście inwertera znajduje się na potencjale masy (0 V), czyli ma niski poziom logiczny. Wskutek tego napięcie wyjściowe inwertera jest bliskie +3 V (wysoki poziom logiczny). Z wyjścia inwertera przez rezystor płynie prąd, a napięcie na kondensatorze zaczyna rosnąć.

Gdy napięcie na kondensatorze wzrośnie ponad poziom przejścia ze stanu niskiego w wysoki (w tym przypadku około 1,5 V), inwerter przełączy się w stan przeciwny. Zachodzi wówczas natychmiastowa zmiana napięcia wyjściowego na poziom niski, czyli prawie potencjał masy (0 V). Napięcie na kondensatorze zaczyna wtedy spadać, gdyż prąd przepływa z kondensatora przez rezystor do wyjścia inwertera. Gdy napięcie wejściowe spadnie poniżej poziomu przejścia ze stanu wysokiego w niski (około 0,7 V), napięcie wejściowe inwerter rozpozna jako niskie, a wyjście szybko przełączy się na poziom wysoki.

Cały cykl będzie się powtarzał. W efekcie na pinie wejściowym powstanie okresowe napięcie trójkątne wahające się między 0,7 V a 1,5 V. Na wyjściu inwertera wystąpi fala prostokątna o zakresie od około 0 V do 3 V. Częstotliwości obu przebiegów są identyczne, a okres jest proporcjonalny do iloczynu rezystancji R i pojemności C („stała czasowa").

Podstawowy dźwięk „ptaszka" jest wytwarzany przez dwie grupy po trzy takie generatory połączone ze sobą. W każdej grupie trzech generatorów jeden z nich odpowiada za rytmiczne powtarzanie dźwięku, drugi naśladuje szybką modulację charakterystyczną dla ćwierkania, a trzeci wytwarza właściwy dźwięk. Generatory są wzajemnie połączone elementami biernymi, dzięki czemu ich przebiegi wpływają na siebie nawzajem.

Przebiegi wynikowe pokazano na **rysunku 2**. Na górze widzimy napięcie generatora „rytmu", w środku – przebieg generatora „ćwierknięć", a na dole – sygnał generatora tonowego.

Kompletny schemat „śpiewającego ptaszka" przedstawia **rysunek 3**. W każdym generatorze równolegle do rezystora R jest dołączony szeregowy układ diody i drugiego rezystora, przez co rezystancje są różne dla ładowania i dla rozładowywania kondensatora, co zapewnia asymetryczny kształt fali prostokątnej.

W każdej grupie trzech generatorów mamy nieco inne wartości kondensatorów i rezystorów, a zatem grupy te wytwarzają dźwięki odrobinę się różniące. Przebieg każdej z grup steruje innym wyprowadzeniem głośnika piezoelektrycznego. W ten sposób w głośniku dochodzi do łączenia się tych dźwięków.

Układ jest zasilany z baterii (na rysunku 3 w prawym górnym rogu). Składa się ona z dwóch ogniw 1,5 V połączonych szeregowo, co daje 3 V. Jest dołączona do układu poprzez wyłącznik zasilania S1. Napięcie baterii jest stabilizowane kondensatorem 100 µF, dzięki czemu napięcie to nie wykazuje krótkich wahań wywołanych zmieniającym się poborem prądu generatorów.



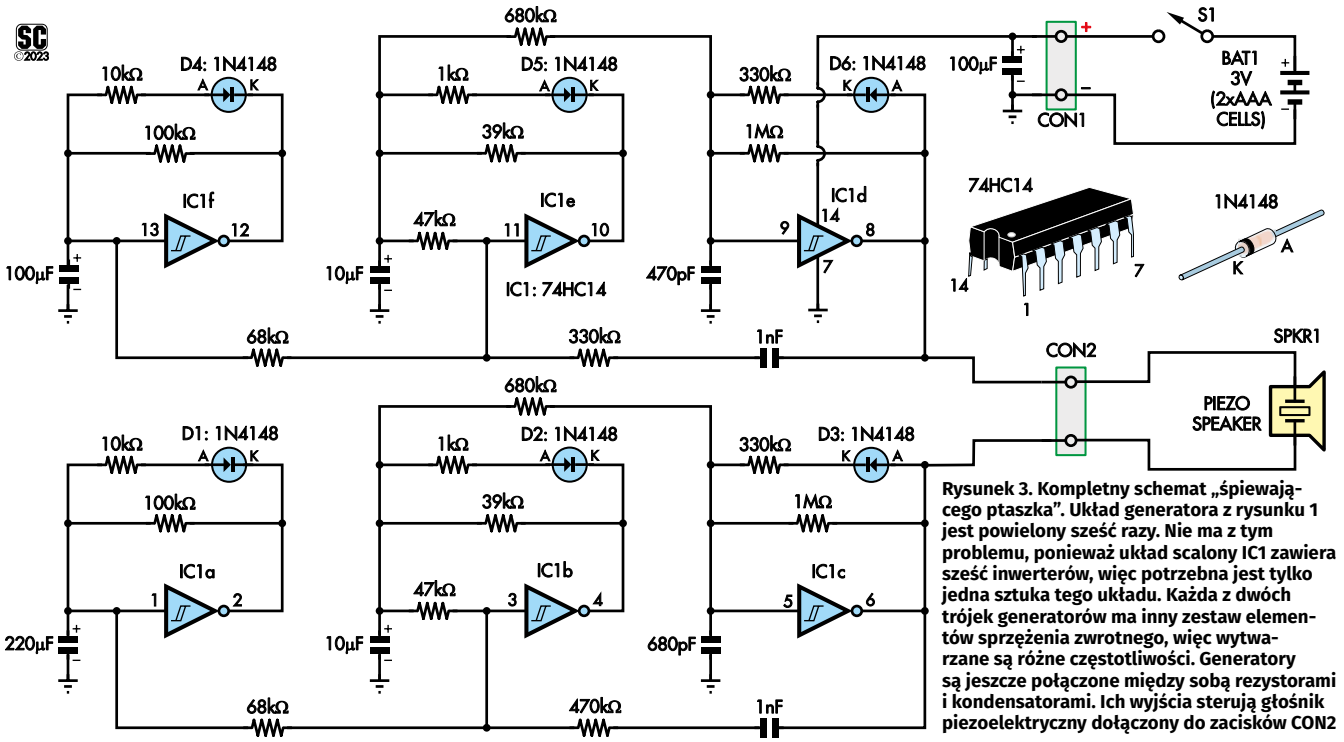
Wersja podstawowa „ptaszka" używa jako podstawy kawałka zwykłego laminatu. W przypadku użycia pojemnika na baterie ze zintegrowanym przełącznikiem podstawa będzie musiała być nieco szersza (63 mm), ponieważ pojemnik taki jest dłuższy niż ten pokazany na zdjęciu. Pozwoli on jednak uniknąć konieczności montowania i podłączania dodatkowego przełącznika.

Jak zbudować „śpiewającego ptaszka"?

Jest to idealny projekt dla początkujących, więc poniższy opis jest przeznaczony przede wszystkim dla osób ze skromnym doświadczeniem. Układ może zbudować – z pomocą kogoś starszego – nawet dziewięcio- czy dziesięciolatek. Projekt, ze względu na swą oryginalność, zainteresuje jednak również wielu starszych elektroników.

Biorąc pod uwagę ryzyko związane z używaniem gorącej lutownicy, cążek i innych potencjalnie niebezpiecznych narzędzi, dzieciaki i początkujący będą potrzebować pomocy bardziej doświadczonych konstruktorów.

eprasa.pl d2e0862bc0



Rysunek 3. Kompletny schemat „śpiewającego ptaszka". Układ generatora z rysunku 1 jest powielony sześć razy. Nie ma z tym problemu, ponieważ układ scalony IC1 zawiera sześć inwerterów, więc potrzebna jest tylko jedna sztuka tego układu. Każda z dwóch trójek generatorów ma inny zestaw elementów sprzężenia zwrotnego, więc wytwarzane są różne częstotliwości. Generatory są jeszcze połączone między sobą rezystorami i kondensatorami. Ich wyjścia sterują głośnik piezoelektryczny dołączony do zacisków CON2

Instrukcja zakłada budowanie „ptaszka" w czterech etapach, z których każdy zajmie od 20 do 45 minut. Można ją jednak rozłożyć na kilka etapów krótszych – 10...15-minutowych – co będzie lepiej dostosowane do możliwości koncentracji osób młodszych. Bardziej doświadczeni elektronicy będą w stanie zbudować całość prawdopodobnie w 1,5...2 godziny.

Ale nie ma pośpiechu. „Ptaszek" cierpliwie poczeka, aż skończysz. Jeśli nie będziesz się spieszyć, to z pewnością popełnisz mniej błędów. Przed lutowaniem sprawdzaj każdy element i ciesz się spokojną atmosferą budowania.

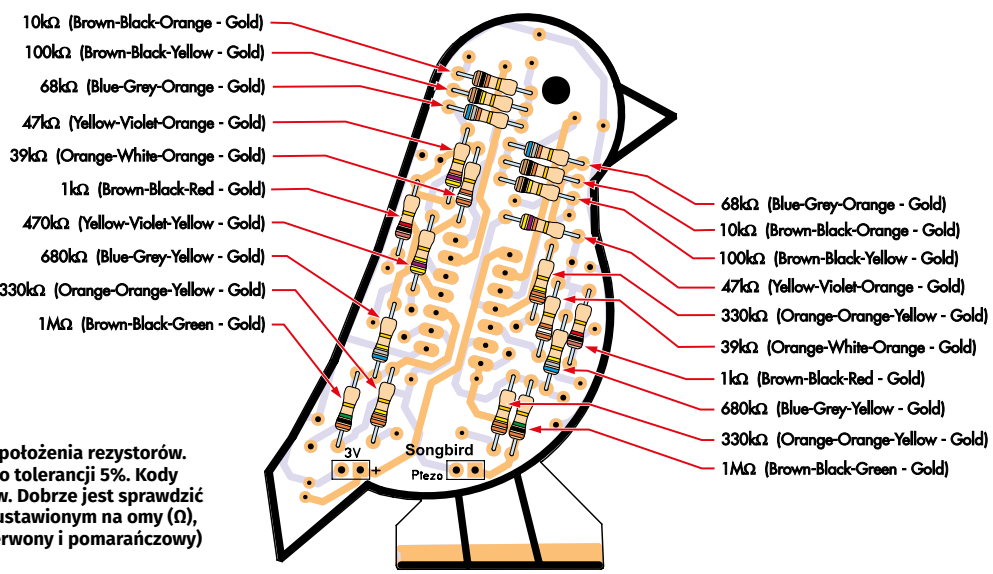
Niektóre z potrzebnych narzędzi to:

1. Lutownica o mocy 15…25 W z grotem cienkim lub średnim. Utrzymuj ją w czystości, ostrożnie wycierając grot co jakiś czas wilgotną szmatką lub gąbką.
2. Drut lutowniczy o średnicy 0,5...1,0 mm z kalafonią w rdzeniu. Jeśli będzie użyty tylko do tego projektu, prawdopodobnie wystarczy 15 gramów.
3. Małe cążki boczne.

Inne przydatne narzędzia:

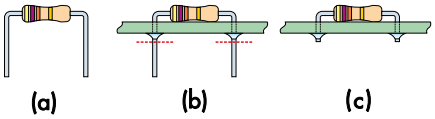
1. Wąska pęseta lub narzędzie do zaginania wyprowadzeń elementów (np. Jaycar Cat TH1810 czy Altronics Cat T1495).
2. Podstawka lutownicy. Zapobiegnie przypadkowemu dotknięciu gorącego grota! Dobre stacje lutownicze są już wyposażone w podstawkę.
3. Odsysacz do cyny i/lub plecionka lutownicza. Pomoże usunąć lutowie, jeśli dostanie się w niewłaściwe miejsce albo gdy jakiś element umieścimy nieprawidłowo i będziemy musieli go zdemontować (co może się zdarzyć każdemu).
4. Multimetr. Może być przydatny do sprawdzania wartości rezystorów, napięcia baterii oraz testowania obwodów na zwarcia i przerwy. Ceny multimetrów zaczynają się już od kilkunastu złotych!

Na budowanie „śpiewającego ptaszka" znajdź sobie dobrze oświetlone miejsce, np. stół kuchenny. Upewnij się, że jest dobra wentylacja, ponieważ podczas lutowania powstają szkodliwe opary. Na blacie stołu połóż tkaninę, gazetę lub podobny płaski przedmiot do jednorazowego użytku, co zapobiegnie zniszczeniu blatu przez narzędzia, płytkę



Rysunek 4. Płytka drukowana „ptaszka" i położenia rezystorów. Kolorowe paski pokazano dla rezystorów o tolerancji 5%. Kody pięciopaskowe podano w liście elementów. Dobrze jest sprawdzić wartość każdego rezystora multimetrem ustawionym na omy (Ω), ponieważ niektóre kolory pasków (np. czerwony i pomarańczowy) można łatwo pomylić

eprasa.pl d2e0862bc0



Rysunek 5. Każdy rezystor należy a) wygiąć do odpowiedniego kształtu, b) umieścić na płytce drukowanej i przylutować, a następnie przyciąć wyprowadzenia cążkami bocznymi c)

drukowaną czy stopioną cynę. Elementy potrzebne do budowy najlepiej położyć z jednej strony obszaru roboczego na małej plastikowej tacy, powiedzmy 30×20 cm.

Pierwszy etap budowy (rezystory)

Miejsce każdego rezystora pokazano na **rysunku 4**. Zazwyczaj najłatwiej jest montować rezystory dzieląc je uprzednio na grupy. Przed montażem należy dwukrotnie sprawdzić wartość każdego rezystora odczytując kod na kolorowych paskach – a jeszcze lepiej zmierzyć ją multimetrem cyfrowym ustawionym na pomiar rezystancji, ponieważ rezystory o różnych wartościach (np. 1 kΩ, 10 kΩ i 100 kΩ) mogą mieć bardzo podobny układ pasków.

Dystrybutor elementów może mieć tylko rezystory 1/8 W (mniejsze) albo o tolerancji 1% (precyzyjniejsze). Będą one działać równie dobrze. Rezystory 1% zamiast czterech pasków mają pięć. Różnice w oznaczeniach pokazano w ramce na liście elementów.

Konieczne będzie wygięcie wyprowadzeń rezystorów w kształt litery U, żeby można je było włożyć do płytki drukowanej, co pokazano na **rysunku 5a**. Można to zrobić palcami lub pęsetą, choć lepsze wyniki da przyrząd do gięcia wyprowadzeń (do nabycia w niskiej cenie w sklepach np. Jaycar czy Altronics), ponieważ zagięcia powstaną wtedy dokładnie w odpowiedniej odległości od siebie.

Po wygięciu wyprowadzeń wkładamy rezystor w płytkę, jak pokazano na **rysunku 5b**. Lutujemy wyprowadzenia, upewniając się, że tworzy się połyskujący stożek cyny, jak na **rysunku 5c**. Następnie przycinamy nadmiarowe odcinki wyprowadzeń cęgami bocznymi. Podczas wykonywania tej czynności chronimy oczy, ponieważ końcówki, jeśli nie będą przytrzymywane, mogą podczas odcinania „wystrzelić".

Zapamiętajmy, że każdy rezystor można wstawić w płytkę w dowolnym kierunku, a układ w obu przypadkach będzie działał tak samo. Mimo to najlepiej zorientować je wszystkie jednakowo – tak jak na rysunku 4.

Drugi etap budowy (diody i kondensatory)

Teraz montujemy sześć diod, jak na **rysunku 6**. Wszystkie są tego samego typu. Mogą mieć nieco inny kolor obudowy niż te pokazane tutaj. Rozmiar diod na rysunku jest nieco przesadzony dla poprawienia czytelności. Istotne jest, aby w każdym przypadku czarny pasek na obudowie był skierowany w dół lub w prawo – zgodnie z rysunkiem.

Wyginamy przewody każdej diody w taki sam sposób, jak w rezystorach. Po włożeniu każdej diody w płytkę upewniamy się, że czarny pasek na diodzie pokrywa się z paskiem wydrukowanym na warstwie opisowej płytki. Lutujemy i przycinamy przewody w taki sam sposób, jak w rezystorach.

Następnie montujemy cztery kondensatory ceramiczne, oznaczone na rysunku 6 na żółto. Dwa z nich mają taką samą wartość. Należy uważać, aby umieścić właściwe kondensatory we właściwych miejscach. Kondensatory są niepolaryzowane, więc nie ma znaczenia, w której stronę będą odwrócone. Aby było je łatwiej zmontować, na warstwie opisowej pokazano wartość każdego kondensatora.

Kondensatory ceramiczne mogą być oznaczone na różne sposoby. Najczęstsze oznaczenia pokazano na rysunku 6. Po włożeniu każdego kondensatora w płytkę należy przylutować i przyciąć wyprowadzenia w podobny sposób jak poprzednio.

Teraz w górnej części płytki drukowanej montujemy trzy małe kondensatory elektrolityczne. Są one zamykane w metalowych puszkach, osłoniętych plastikiem z wyjątkiem górnej części. Kondensatory elektrolityczne są polaryzowane, a to oznacza, że należy je skierować na płytce w prawidłową stronę. Biegun ujemny jest oznaczony paskiem na korpusie kondensatora. „Plus" na warstwie opisowej wskazuje, gdzie włożyć wyprowadzenie dodatnie (dłuższe). Po umieszczeniu właściwie zorientowanych kondensatorów na swoich miejscach, lutujemy ich wyprowadzenia i przycinamy je.

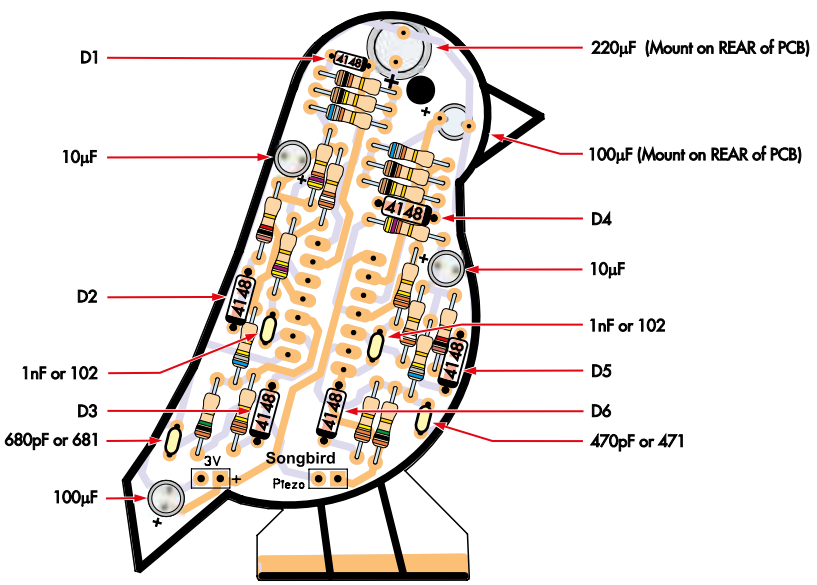
Dwa większe kondensatory elektrolityczne znajdują się na drugiej stronie płytki. Dzięki temu oko „ptaszka" jest lepiej widoczne. Te kondensatory montujemy jako ostatnie.

Trzeci etap budowy (układ scalony)

Użyty układ scalony CMOS ma symbol 74HC14. Należy go umieścić na płytce zgodnie ze wzorem na warstwie opisowej. Jeden brzeg układu scalonego jest oznaczony wycięciem w obudowie (w niektórych przypadkach – wgłębieniem lub kropką w pobliskim rogu). Ten brzeg ma być skierowany w stronę oka „ptaszka", jak widać na **rysunku 8**.

Przed włożeniem układu scalonego do otworów warto lekko wygiąć oba rzędy jego pinów, aż będą mniej więcej równoległe do siebie. W tym celu delikatnie dociskamy układ scalony z każdej strony do twardej płaskiej powierzchni (**rysunek 7**). Można również kupić przeznaczone do tego celu narzędzie. Ułatwi ono pracę, choć metoda z płaską powierzchnią przy zachowaniu ostrożności też się sprawdza.

Wkładamy teraz układ scalony w płytkę drukowaną, jak na rysunku 8, i lutujemy wszystkie piny. Nie ma potrzeby przycinania ich po lutowaniu, ponieważ będą one tylko lekko wystawać na drugą stronę płytki.



Rysunek 6. Rysunek ten pomoże Wam rozmieścić na płytce „ptaszka" diody i kondensatory. Kondensatory ceramiczne nie są polaryzowane i można je skierować w dowolnym kierunku. Natomiast kondensatory elektrolityczne muszą być umieszczone z dłuższymi wyprowadzeniami w polach oznaczonych + (pasek na obudowie kondensatora wskazuje drugi, ujemny biegun). Analogicznie – diody muszą być zamontowane z paskami oznaczającymi katodę skierowanymi zgodnie z rysunkiem

eprasa.pl d2e0862bc0



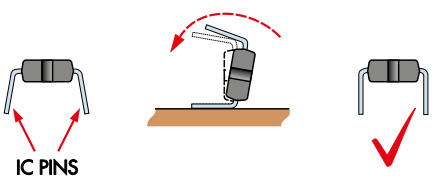
Wersja podstawowa. Główna płytka drukowana jest przylutowana wzdłuż swojej podstawy do kawałka laminatu. Na laminacie jest również zamontowany pojemnik baterii i przełącznik suwakowy

Czwarty etap budowy (głośnik i bateria)

Budowanie „ptaszka” można zakończyć na dwa sposoby. Można dać podstawę w formie zwykłej kwadratowej płytki drukowanej. Ta wersja będzie szybka i prosta w budowie. Ale można też stworzyć coś bardziej rozbudowanego – klatkę z podstawą. Zajmie to więcej czasu, ale zapewni bardziej atrakcyjny wygląd.

Wariant 1 – podstawowy

Zdjęcie w lewym górnym rogu przedstawia podstawowy sposób finalizacji, z płytką drukowaną „ptaszka” przymocowaną (przylutowaną w kilku punktach) do jednostronnej, niewytrawionej płytki drukowanej (laminatu pokrytego miedzią) o wymiarach 52×45 mm. Rezultat jest zaskakująco solidny. Do tej pustej płytki drukowanej jest następnie bezpośrednio montowany pojemnik baterii AAA i przełącznik suwakowy. Pierwszy z nich – kilkoma kroplami kleju epoksydowego, a drugi poprzez przylutowanie trzech nieużywanych dolnych wyprowadzeń do podstawy.



Rysunek 7. Przed włożeniem układu scalonego do płytki należy ostrożnie wygiąć jego piny, aby oba ich rzędy były w przybliżeniu równoległe. Najlepiej jest użyć specjalnego narzędzia do prostowania wyprowadzeń. Można też wygiąć piny o płaską powierzchnię, byle nie przykładać za dużo siły

Obejma głośnika piezoelektrycznego wydrukowana w 3D

Zalecany typ głośnika piezoelektrycznego to tani model o średnicy 27 mm, powszechnie stosowany np. w kartkach okolicznościowych i małych zabawkach. Głośniki takie są łatwo dostępne u różnych dystrybutorów. Istnieją też głośniki piezoelektryczne produkowane w komplecie z cienką tłoczoną obudową metalową, tworzącą komorę rezonansową. Są jednak nieco droższe, poza tym trudniej byłoby je zamontować w „ptaszku”.

Obejma wydrukowana w 3D ma trzy zalety. Upraszcza montaż (wystarczy przykleić!), dźwięk jest znacznie lepszy, a całość jest dość tania i łatwa do wykonania. Zaskakująca jest różnica, jaką ten prosty sposób mocowania daje dla ogólnej głośności dźwięku. Głośnik piezo montujemy w obejmie od strony wgłębienia, skierowany na zewnątrz, i mocujemy kropelką kleju szybkoschnącego.

Możliwe jest również wykonanie obejmy o wysokości 5...10 mm i średnicy 27 mm ze zwiniętego papieru. Wykonujemy ściankę o grubości około 1 mm, sklejając papier klejem PVA lub podobnym, aby nadać mu trochę sztywności, i formujemy pierścień. Głośnik piezoelektryczny kleimy do górnej powierzchni pierścienia kroplą kleju szybkoschnącego. Całość następnie przyklejamy klejem na gorąco do spodu płytki drukowanej.



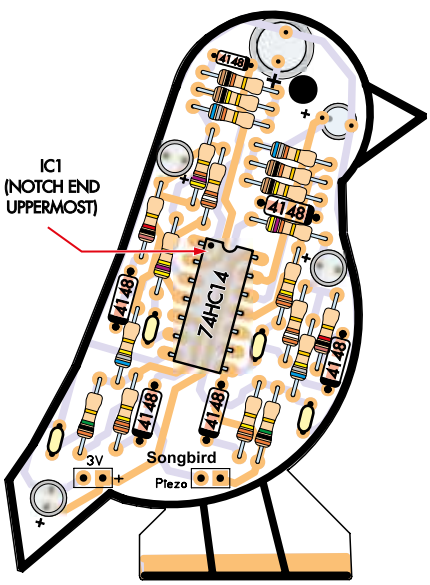
Rysunek 9. Prosta obejma głośnika wydrukowana w 3D – poprawia dźwięk i upraszcza konstrukcję

Zwróćmy uwagę, że zestaw do samodzielnego montażu zawiera pojemnik na baterie ze zintegrowanym przełącznikiem, co upraszcza nieco konstrukcję. Zestaw zawiera również dwustronną taśmę samoprzylepną, którą można bardzo łatwo i szybko przykleić pojemnik do podstawy. Pojemnik z zestawu jest nieco dłuższy niż zwykły uchwyt baterii, więc w tym przypadku najlepiej byłoby użyć podstawy większej – o wymiarach 63×45 mm (podstawa nie wchodzi w skład zestawu).

Inny sposób to przyklejenie płytki drukowanej „ptaszka” do boku pojemnika na baterie klejem na gorąco lub silikonem. Zwróćcie tylko uwagę, aby po przyklejeniu płytki nadal dało się wkładać i wyjmować ogniwa!

Głośnik piezoelektryczny można zamontować z tyłu płytki drukowanej „ptaszka” w wydrukowanej w 3D obejmie głośnika (**rysunek 9**) z użyciem kilku kropel kleju na gorąco. Uchwyt możemy wydrukować samodzielnie, jeśli mamy drukarkę 3D. W zestawie do montażu uchwyt już jest. Pliki STL wszystkich elementów drukowanych w 3D użytych w tym projekcie można pobrać ze strony internetowej Silicon Chip.

Przewody głośnika piezoelektrycznego dołączamy do płytki drukowanej w dwóch punktach oznaczonych „Piezo” na warstwie opisowej, jak widać na **rysunku 10**. Przed przylutowaniem przewodów można je lekko przyciąć, jeśli są zbyt długie. Przewody mogą mieć różne kolory.



Rysunek 8. Układ scalony sześciokrotnego inwertera 74HC14 musi być zamontowany z wycięciem (oznaczenie pinu 1) pasującym do rysunku na płytce drukowanej



Wariant „klatka dla ptaków” zawiera podstawę wydrukowaną w 3D i kilka drutów pełniących rolę prętów klatki. Głośnik jest przymocowany do tylnej części płytki drukowanej obejmą z rysunku 9

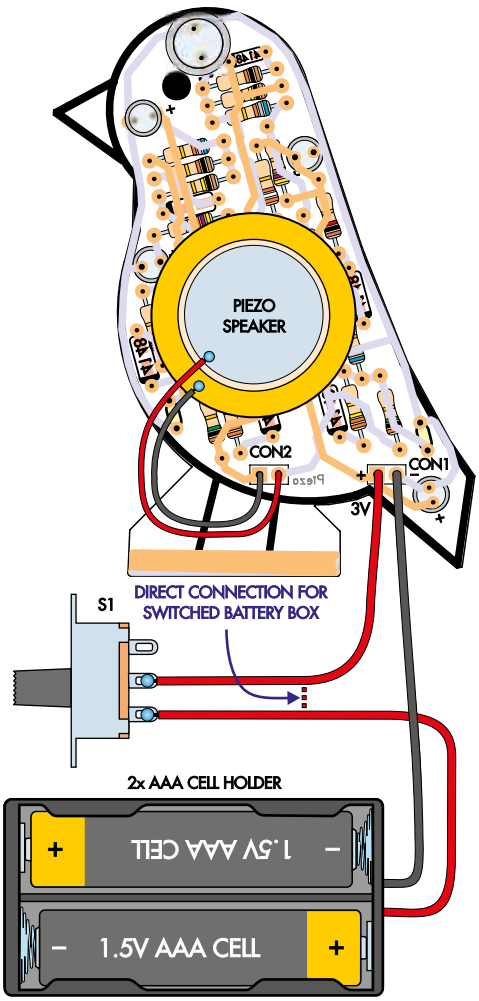
eprasa.pl d2e0862bc0

Zestaw do samodzielnego montażu SC6633 – dostępny w Silicon Chip

Zestaw jest w dużym stopniu kompletny i zawiera główną płytkę drukowaną (fioletową, zieloną, żółtą lub czerwoną – podać w zamówieniu) oraz wszystkie elementy na niej montowane, a także głośnik piezo, obejmę na głośnik wydrukowaną w 3D i pojemnik baterii z wyłącznikiem. Samemu trzeba zrobić tylko podstawę.

Czasem są dość cienkie, więc wymagana jest odrobina ostrożności.

Na koniec dołączamy do płytki kabelki baterii i przełącznika. W przypadku zestawu do montażu przełącznik nie jest wymagany, ponieważ zawiera go pojemnik na baterie. W takim przypadku wystarczy dołączyć do płytki drukowanej tylko dwa przewody z pojemnika. Należy jedynie zwrócić uwagę na polaryzację – przewód czerwony musi być na płytce dołączony do zacisku oznaczonego +.



Rysunek 10. Połączenia przewodowe baterii i głośnika. Rysunek pokazuje również oznaczenia na płytce drukowanej ułatwiające identyfikację połączeń. Jeśli pojemnik baterii zawiera przełącznik, zewnętrzny przełącznik nie jest potrzebny – prowadzimy po prostu czerwony przewód z pojemnika baterii bezpośrednio do pola na płytce drukowanej oznaczonego +, obok przewodu czarnego (minusa)

Wariant 2 – klatka dla ptaków

Dla prototypu zaprojektowałem podstawę wydrukowaną w 3D. Posiadacze tokarki mogą wytoczyć z drewna podstawę bardziej elegancką. Inna możliwość to uważne zbadanie oferty pobliskiego supermarketu w celu znalezienia plastikowej pokrywki do słoika, o wysokości 15 mm i średnicy 70 mm.

W podstawie można następnie zamontować pojemnik baterii i przełącznik. Użyłem przełącznika dźwigniowego a nie suwakowego, ponieważ łatwiej było go zamontować na zaokrąglonej powierzchni. Następnie na podstawie montujemy płytkę „ptaszka" poprzez dwa kawałeczki laminatu miedziowego o wymiarach około 3×6 mm. Muszą być one przylutowane do dolnej krawędzi płytki drukowanej „ptaszka" z tyłu w odstępie około 10 mm.

Ta metoda pozwala na zamontowanie „ptaszka" w szczelinie podstawy, a następnie wyśrodkowanie go poprzez przesuwanie w szczelinie. Szczelina jest również wykorzystana do przełożenia kabli przełącznika i baterii. Szczegóły pokazano na **rysunku 11**.

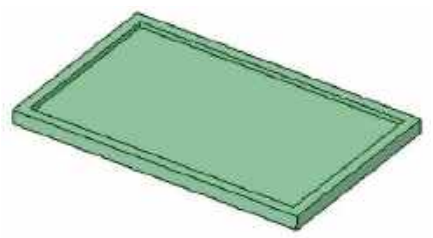
Głośnik piezoelektryczny montujemy w taki sam sposób, jak w wersji podstawowej (wariant 1). Dołączenie baterii i głośnika kabelkami do płytki drukowanej też jest takie samo (rysunek 10).

Jeśli wolicie umieścić głośnik poza zasięgiem wzroku, to w podstawie jest na niego wystarczająco dużo miejsca. Można go tam przykleić, używając wydrukowanej w 3D obejmy głośnika. Dźwięk będzie jednak słabszy.

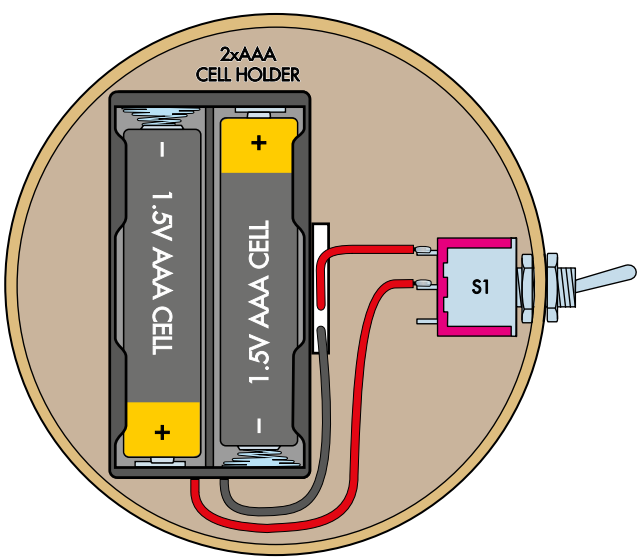


Rysunek 12. Opcjonalne teksty dla wariantu „klatka dla ptaków" („nie karmić ptaszka"/„ale właściciel lubi pączki"). Grafikę i pliki STL dla drukarki 3D można pobrać ze strony internetowej Silicon Chip

Klatka jest wykonana z ocynkowanego drutu o średnicy 1,2 mm i krążka



Rysunek 13. Ramka dla tekstów z rysunku 12, wydrukowana w 3D (28×18 mm)



Rysunek 11. W wariancie „klatka dla ptaków" przyklejamy pojemnik baterii do podstawy przed przymocowaniem przełącznika i łączeniem przewodów

eprasa.pl d2e0862bc0

Wykaz elementów:

1 dwustronna płytka drukowana z soldermaską fioletową, zieloną, żółtą lub czerwoną; kod Silicon Chip 08103231, wymiary 61×75 mm
1 pojemnik baterii 2×AAA z przełącznikiem i przewodami (BAT1+S1) lub 1 pojemnik baterii 2×AAA i 1 przełącznik dźwigniowy lub suwakowy (BAT1/S1)
1 głośnik piezoelektryczny o średnicy 27 mm (SPK1)
1 kawałek laminatu pokrytego miedzią, wymiary 52×45 mm (w przypadku użycia pojemnika baterii z wyłącznikiem: 63×45 mm) (tylko wariant podstawowy)

Półprzewodniki

1 sześciokrotny inwerter Schmitta 74HC14, obudowa DIP-14 (IC1)
6 diod 1N4148, 75 V/200 mA, obudowa DO-35 (D1-D6)

Kondensatory

1 szt. elektrolityczny 220 µF/16 V,
2 szt. elektrolityczny 100 µF/16 V,
2 szt. elektrolityczny 10 µF/16 V,
2 szt. ceramiczny 1 nF/50 V
1 szt. ceramiczny 680 pF/50 V
1 szt. ceramiczny 470 pF/50 V

Rezystory (wszystkie 1/4 W, 5% lub dokładniejsze, wyprowadzenia osiowe)

2 szt. 1 MΩ	2 szt. 680 kΩ	1 szt. 470 kΩ
3 szt. 330 kΩ	2 szt. 100 kΩ	2 szt. 68 kΩ
2 szt. 47 kΩ	2 szt. 39 kΩ	2 szt. 10 kΩ
2 szt. 1 kΩ		

blachy o średnicy 20 mm. Ocynkowany drut można kupić w prawie każdym centrum ogrodniczym i markecie technicznym. Blaszany krążek wyciąłem z puszki po konserwie.

Najłatwiej jest zacząć od rozwinięcia z rolki około metra drutu. Prostujemy go na ile to możliwe, trzymając jeden koniec drutu w imadle i ciągnąc za drugi koniec solidnymi kombinerkami. Niekonieczna będzie duża siła. Następnie odcinamy osiem odcinków o długości po 105 mm.

Umieszczamy te druty promieniowo jak najrównomierniej dookoła krążka blachy, opierając całość na podstawie z kawałka drewna lub sklejki. Druty przyklejamy tymczasowo krótkimi odcinkami taśmy malarskiej. Gdy wszystko jest już dobrze wyrównane – w czym bardzo pomaga taśma – lutujemy druty do krążka. Drewno izoluje termicznie lutowany drut i płytkę, chroniąc powierzchnię roboczą.

Każdy drut wyginamy ręcznie do ostatecznego kształtu pręta klatki. Drut jest bardzo łatwy do zginania, a jednocześnie dobrze zachowuje swój kształt. Następnie wsuwamy końce drutów w osiem otworów w podstawie wydrukowanej w 3D lub drewnianej.

Aby zapewnić dobre dopasowanie, konieczne może być rozwiercenie w podstawie otworów dla drutów. Zależy to od dokładności drukarki 3D. Dla osób tworzących własną podstawę z innych materiałów: otwory mają średnicę 1,2 mm i są równomiernie rozmieszczone na okręgu o średnicy 65 mm, wyśrodkowanym na podstawie o średnicy 70 mm. Aby utrzymać każdy z drutów na miejscu, dodajemy wewnątrz podstawy kropelkę żywicy epoksydowej lub kleju na gorąco.

Wszystko to brzmi skomplikowanie, zajmie jednak w praktyce zaskakująco mało czasu i wysiłku, a zapewni bardzo estetyczne wykończenie projektu.

Obok klatki można umieścić napis „Nie karmić ptaszka”. Napis przyklejamy do kartki (z jej drugiej strony również można przykleić jakiś napis) i umieszczamy w ramce wydrukowanej w 3D (również jest do pobrania). Ramkę można przykleić na klatce w dogodnym miejscu.

Działanie

Po załączeniu baterii „ptaszek” niemal natychmiast zaczyna śpiewać. Do prototypów, które zbudowałem, dołączyło kilka egzemplarzy stanowiących owoce pracy początkujących konstruktorów. Chór „śpiewających ptaszków” tworzył fantastyczny dźwięk. Rodzice „będą zachwyceni”, gdy dowiedzą się, że żywotność baterii wynosi co najmniej sześć miesięcy regularnego użytkowania!

Dźwięk „ptaszka” można zmienić. Najbardziej znaczący wpływ będzie miała zmiana wartości rezystorów 330 kΩ i 470 kΩ włączonych w szereg z kondensatorami 1 nF. ■

Andrew Woodfield

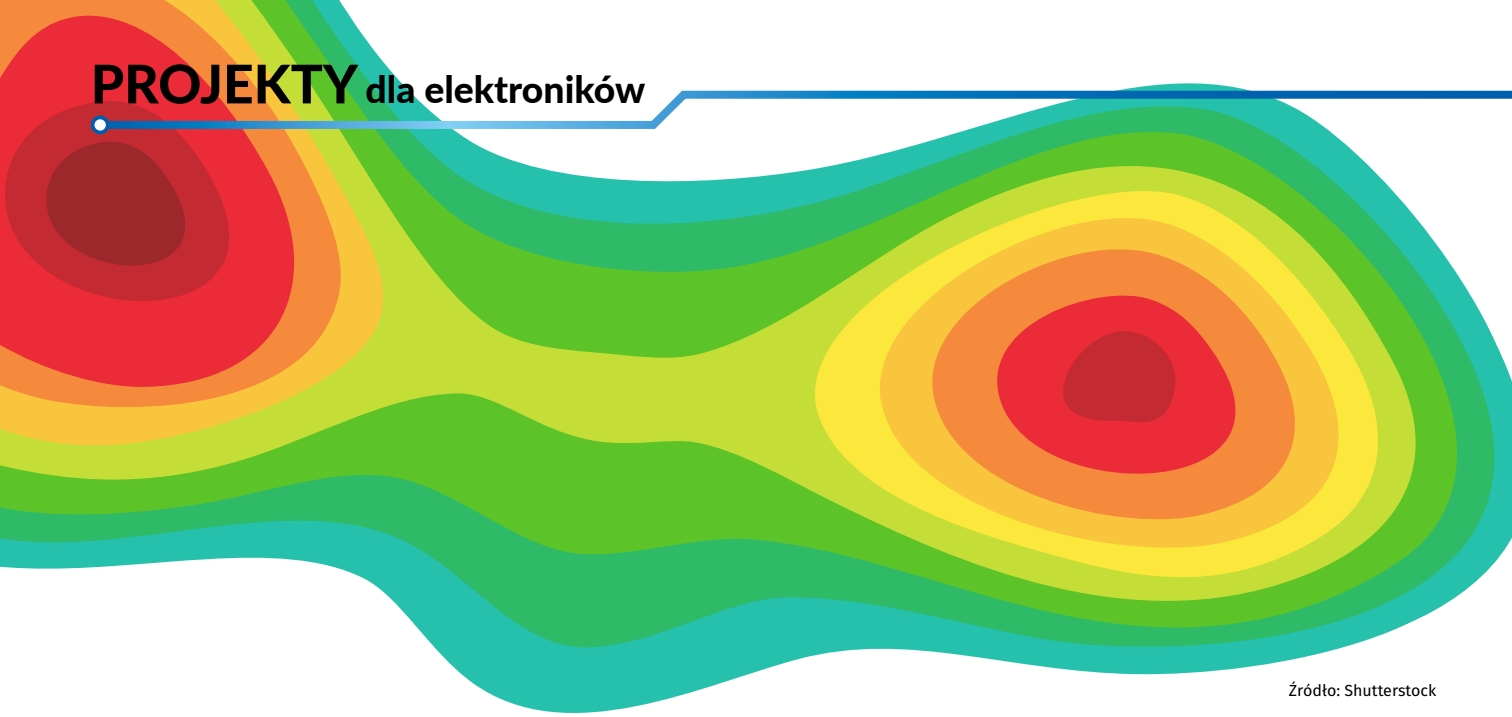
Materiały dodatkowe dostępne są na stronie Silicon Chip:
https://www.siliconchip.com.au/Shop/8/6743

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





Źródło: Shutterstock

Mała kamera termowizyjna. Rozwiązanie amatorskie oparte na Arduino UNO

Każdy, kto kiedykolwiek musiał znaleźć gorące miejsca w układzie elektronicznym, zmierzyć temperaturę elementu zasilającego lub wykryć osoby w pomieszczeniu, zapewne chciał mieć kamerę termowizyjną. W artykule przedstawiamy niedrogie rozwiązanie amatorskie oparte na czujniku 8×8 pikseli firmy Panasonic.

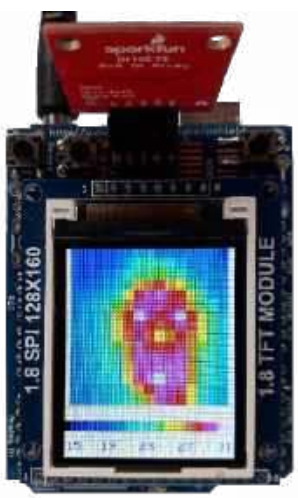
Dociekliwy inżynier elektronik może zadać pytanie: czy i jak można samodzielnie zbudować kamerę termowizyjną? Odpowiedź brzmi: „owszem – o ile użyjemy odpowiednich elementów". Czujnikiem termowizyjnym najlepiej nadającym się do tego celu jest AMG88xx „Grid-EYE" firmy Panasonic. Ma wewnętrzne przetwarzanie sygnału, które całkowicie przejmuje obliczanie temperatur 64 punktów pomiarowych. Zmniejsza to znacznie obciążenie komputera zewnętrznego. Dlatego do zbudowania prostej kamery termowizyjnej w zupełności wystarczy Arduino UNO z ekranem TFT 1,8" – zestaw taki jak na **rysunku 1**.

Czujnik podczerwieni

Czujnik AMG88xx [1] to „chip" umieszczony na ceramicznym nośniku i wykonany w technologii MEMS z 64 punktami pomiarowymi (pikselami) czułymi na podczerwień. Piksele tworzą kwadratową matrycę. W czujniku znajduje się też układ ASIC ze wspomnianą elektroniką przetwarzającą oraz termistorem do pomiaru temperatury odniesienia. Ceramiczny nośnik jest pokryty metalową pokrywą, w której osadzona jest soczewka z krzemu, przepuszczająca promieniowanie w zakresie długości fal 5...12 µm.

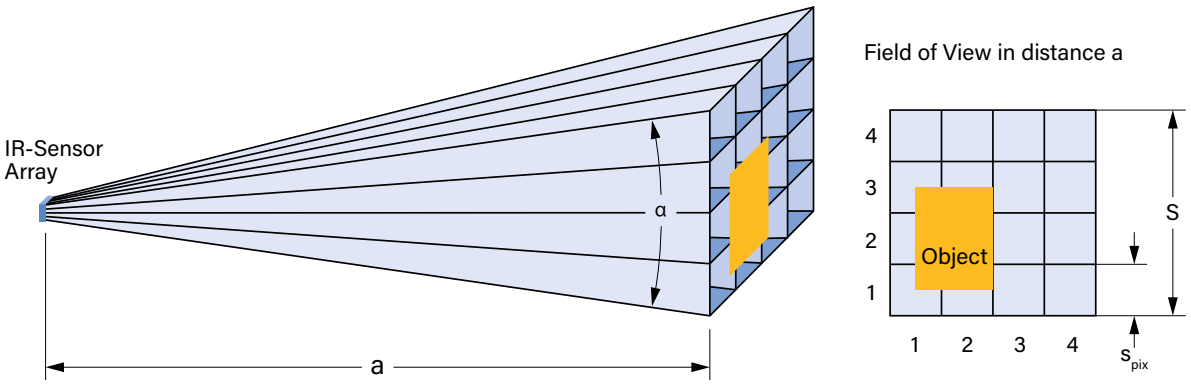
Przez obiektyw na polu czujnika obrazowany jest obiekt. Można to sobie wyobrazić tak, jakby na każdym pikselu umieszczony był wierzchołek piramidy o kwadratowej podstawie i odbierał tylko promieniowanie skierowane do wewnątrz tej piramidy. W ten sposób wykrywane są łącznie 64 fragmenty obiektu – ułożone w kwadrat, co wynika z rozmieszczenia piramid.

Rysunek 2 przedstawia uproszczoną i wyidealizowaną reprezentację matrycy z 4×4 punktami pomiarowymi. Pole widzenia (*Field Of View*) to obszar widoczny dla matrycy, który jest określony wyłącznie przez pionowe i poziome kąty przysłony. Ponieważ matryca jest kwadratem, kąty są sobie równe i oznaczone jako α. Dla każdej odległości obiektu a, w polu widzenia znajduje się widoczna powierzchnia o długości krawędzi S. Powierzchnia ta z kolei składa się z 16 indywidualnych powierzchni o długości krawędzi spix, z których każda jest przypisana do określonego piksela. Temperatura obiektu jest mierzona dokładnie tylko wtedy, gdy obiekt całkowicie pokrywa co najmniej jeden obszar częściowy. Wymóg ten można wykorzystać do obliczenia najmniejszego wykrywalnego rozmiaru obiektu dla określonej odległości a. W przypadku kwadratowej matrycy



Rysunek 1. Ciepło wytwarzane przez inteligentny (a jakże) umysł

eprasa.pl d2e0862bc0



Rysunek 2. Obszar widzenia z odległości a kwadratowego czujnika 4×4 z kątem widzenia α

o wymiarach n×n pikseli obowiązuje następująca zasada:

$$S_{pix} = \frac{1}{n}\left(2a \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right)$$

$$A_{pix} = {S_{pix}}^2$$

Na **rysunku 2** tylko piksel o współrzędnych (2,2) spełnia ten wymóg. Piksele dla obszarów pola widzenia o współrzędnych (2,1), (1,2) i (2,3) są pokryte tylko w połowie. Zmierzona temperatura tych pikseli wyniesie zatem tylko połowę tej zmierzonej dla obszaru (2,2).

Mówiąc prościej: oznacza to, że wraz ze wzrostem odległości obiekty muszą być coraz większe – dostatecznie duże, aby obszar rzutowany na piksel został w pełni uchwycony. Ta zależność musi być zawsze brana pod uwagę, aby uniknąć nieprawidłowych pomiarów i interpretacji. **Rysunki 3** i **4** to przykłady ilustrujące zależność między polem widzenia a odległością od obiektu pomiarowego.

Dokładność pomiaru zależy również od emisyjności ε obiektu. Wynika ona ze składu powierzchni i określa zdolność do emitowania promieniowania cieplnego. W wewnętrznych obliczeniach temperatury czujnik Grid-EYE przyjmuje stałą emisyjność na poziomie 0,93.

Stos termoelektryczny

Każdy pojedynczy piksel czujnika to tak zwany stos termoelektryczny (*thermopile*) [2], który składa się z wielu miniaturowych termopar połączonych elektrycznie szeregowo i termicznie równolegle. Podłoże ceramiczne czujnika wyznacza temperaturę odniesienia, a napromieniowana powierzchnia termopar daje temperaturę mierzoną. Termopary wytwarzają napięcie proporcjonalne do różnicy temperatur. Aby określić temperaturę bezwzględną, należy bardzo dokładnie zmierzyć temperaturę odniesienia i dodać ją do różnicy temperatur. Charakterystyka termopary nie jest liniowa. Temperatura bezwzględna jest pewną funkcją temperatury odniesienia i mierzonego napięcia. Mierzone wartości są linearyzowane przy użyciu charakterystyk zapisanych w pamięci ROM czujnika. Rozrzut parametrów wszystkich stosów termoelektrycznych jest kompensowany przez indywidualne wielkości kalibracyjne zapisane w czujniku. Łatwo sobie wyobrazić, jak czasochłonna i wymagająca obliczeniowo byłaby linearyzacja charakterystyk, gdyby tym zadaniem nie zajmował się wewnętrzny układ ASIC. Układ ten dostarcza kompletnie przetworzone, zlinearyzowane wartości pomiarowe w stopniach Celsjusza, i można je odczytać przez interfejs I²C.

Dostępne są różne typy czujników, w zależności od zastosowania. **Tabela 1** zawiera ich przegląd.

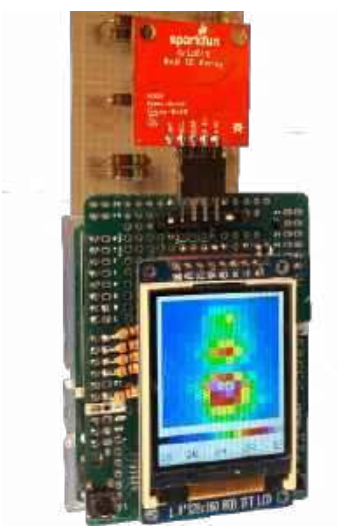
Konstrukcja

Cały układ kamery termowizyjnej składa się z Arduino UNO, nakładki z małym kolorowym wyświetlaczem TFT, dwóch przycisków i modułu kamery. Kompletny schemat kamery przedstawia **rysunek 5**.

Moduł kamery

Można użyć kompletnie zmontowanej płytki drukowanej [4] z układem AMG8833 (**rysunek 6**). Należy tylko ustalić, czy połączenia powinny być wykonane przewodami systemu QWIIC czy poprzez złącza „goldpin". Moduł czujnika można jednak stosunkowo łatwo zmontować samemu, ponieważ czujnik bez problemu przylutujemy lutownicą o cienkim grocie. Zaletą samodzielnego montażu jest możliwość wyboru odpowiedniego typu czujnika. Przykładowo – do wielu zastosowań doskonale nadaje się czujnik AMG883642 [3] ze względu na małe pole widzenia i szeroki zakres temperatur.

Autor przylutował czujnik na płytce adaptera SSOP20/DIL (1,27 mm na 2,54 mm), umieszczając tam także kilka innych elementów SMD (**rysunek 7**). Adres I²C układu nie jest dla nas istotny, ponieważ oprogramowanie określi go podczas uruchamiania. Dzięki temu pin ADDR czujnika można śmiało dołączyć do masy.



Rysunek 3. Obiekt mierzony z odległości 50 mm, α = 60°



Rysunek 4. Obiekt mierzony z odległości 100 mm, α = 30°

eprasa.pl d2e0862bc0

Tabela 1. Typowe parametry czujników podczerwieni serii AMG88xx

Moduł	VDD	Zakres pomiarowy	Całkowity kąt wykrywania	Kąt wykrywania piksela	Rozmiar obiektu w odniesieniu do jednego piksela w odległości 0,3 m
AMG8832	3,3 V	–20°C...100°C	60°	7,5°	4 cm
AMG8833	3,3 V	0°C...80°C	60°	7,5°	4 cm
AMG8834	3,3 V	–20°C...100°C	60°	7,5°	4 cm
AMG8853	5 V	0°C...80°C	60°	7,5°	4 cm
AMG8854	5 V	–20°C...100°C	60°	7,5°	4 cm
AMG883642	3,3 V	–20°C...100°C	32°...34°	4°	2 cm
AMG883543	3,3 V	0°C...80°C	90°	11,25°	6 cm

Nakładka TFT

Układ z rysunku 5 jest tak prosty, że można go łatwo zbudować na uniwersalnej nakładce Arduino Mega Proto Shield. Jest tam wystarczająco dużo miejsca by użyć elementów przewlekanych (**rysunki 8** i **9**). Wyświetlacz TFT o przekątnej 1,8 cala i rozdzielczości 128×160 pikseli musi mieć sterownik ST7735 i pracować przy zasilaniu 3,3 V. Całkowicie wystarczający będzie tani egzemplarz chińskiej produkcji. Uwaga: wyświetlacze spotykane na rynku mają różną kolejność pinów. W tym projekcie nie stanowi to problemu, należy jednak mieć świadomość tego faktu. Odpowiednim złączem dla wyświetlacza będzie podstawka pod układ scalony DIL.

Zasilanie i magistrale

Moduł kamery jest zasilany napięciem 3,3 V z Arduino UNO. Z tego powodu rezystory podciągające linii I²C są dołączone do 3,3 V. Oprócz rezystorów na module kamery są również dwa rezystory podciągające do 3,3 V na nakładce i jeszcze dwa w celu skompensowania wewnętrznego prądu 140 µA z portów. Arduino UNO, choć jest zasilane z 5 V, odczytuje sygnały 3,3 V bez żadnych błędów.

Wyświetlacz TFT jest sterowany przez interfejs SPI. Jego sterownik ST7735 akceptuje sygnały 3,3 V. Sygnały Arduino UNO o poziomie 5 V są więc redukowane do poziomu 3,3 V dzielnikami napięcia R10/R14 oraz R16/R20.

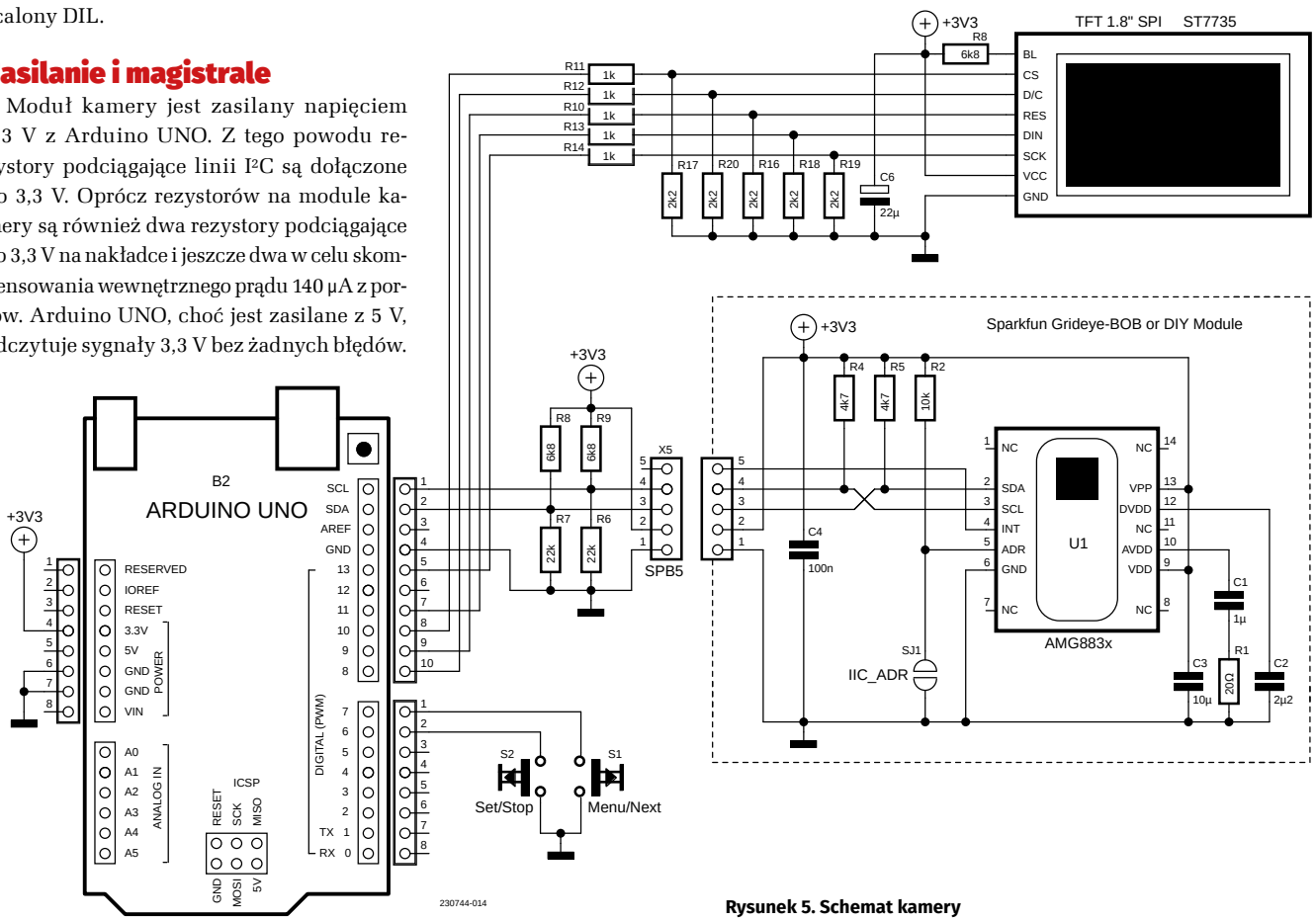
Częstotliwość zegara SPI wynosi 10 MHz, a zatem rezystancje nie mogą być zbyt duże – w przeciwnym razie pojemności pasożytnicze spowodują zniekształcenie przebiegów. Użyte wartości – 1k i 2,2k – stanowią dobry kompromis między poborem prądu a przenoszeniem sygnałów bez zniekształceń. Umiejscowienie przycisków można zobaczyć na **rysunku 10**.



Rysunek 6. Czujnik Sparkfun BoB oraz samodzielnie wykonany moduł czujnika

Konfiguracja

Pierwszym krokiem jest zainstalowanie dwóch bibliotek: *Adafruit_ST7735_and_ST7789_Library* i *Adafruit_GFX_Library*



Rysunek 5. Schemat kamery

eprasa.pl d2e0862bc0

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



Rysunek 7. Samodzielnie wykonany moduł czujnika, strona tylna

za pomocą menedżera bibliotek Arduino IDE. Następnie należy skompilować szkic *Grideye_V2x.ino* ze strony projektu w „Elektorze” [5] i załadować program do Arduino UNO. Przy wyłączonym zasilaniu, jeszcze bez modułu kamery, dołączamy nakładkę i załączamy zasilanie Arduino UNO. TFT powinien się zaświecić i wyświetlić komunikat o błędzie „no valid device found”. Teraz sprawdzamy polaryzację napięcia zasilania na złączu modułu kamery. Możemy też oscyloskopem skontrolować sygnały I²C. Następnie należy wyłączyć zasilanie, dołączyć moduł kamery do nakładki i ponownie uruchomić układ. Na wyświetlaczu powinien się ukazać sensowny obraz. Jego położenie i kolory mogą być nieprawidłowe, co wynika z istnienia różnych wersji sterownika ST7735. Można to skorygować w programie. Szkic Arduino oferuje w tym celu cztery różne procedury inicjalizacji. Są zdefiniowane cztery wartości TFT_TYPE_n, z których jedna musi być przypisana do stałej TFT_TYPE. Przy prawidłowej wartości obraz jest dopasowywany u góry, po lewej i po prawej stronie. Jeśli kolory czerwony i niebieski są zamienione, wartość TFT_CHANGE_COLR należy ustawić na *true*. Jeśli obraz jest odwrócony, należy przypisać wartość 02 do TFT_ORIENTATION. I wreszcie – zakres temperatur używanego czujnika należy dobrać poprzez ustawienie wartości AMG88x3 na *true* lub *false* (**listing 1**).

```
#define AMG88x3 false
// wybierz typ czujnika: true jeśli AMG88x3
#define PERMANENT_AUTO false
// jeśli true to autoranging jest zawsze aktywny
#define T_OFFSET 0
// offset dla korekty T[°C]
#define TFT_ORIENTATION 00
// format “portret”
//#define TFT_ORIENTATION 02
// format „portret”, odwrócony

#define TFT_TYPE_1 00
// moduł typu 1 (bez karty SD)
#define TFT_TYPE_2 01
// moduł typu 2
#define TFT_TYPE_3 02
// moduł typu 3 (z kartą SD)
#define TFT_TYPE_4 03
// moduł typu 4
const byte TFT_TYPE= TFT_TYPE_1;
// ustaw używany typ modułu

#define TFT_CHANGE_COLR true
// zamień czerwony z niebieskim w zależności od typu TFT
```

Listing 1.

Program

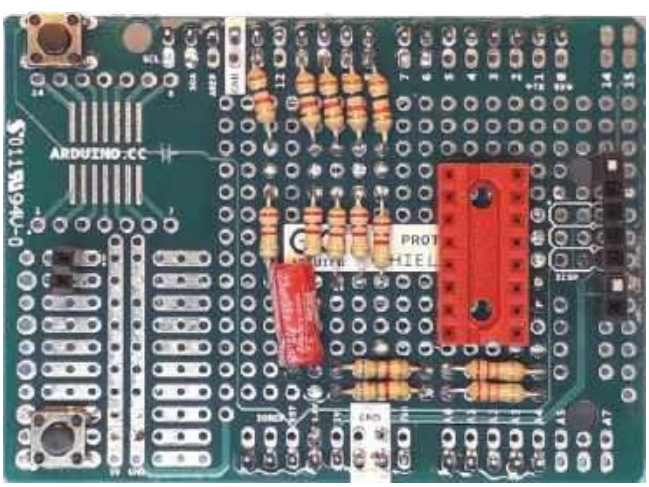
Szkic został utworzony w środowisku programistycznym Arduino. Dla czujnika Grid-EYE nie jest używana żadna zewnętrzna biblioteka; wszystkie niezbędne funkcje są zaimplementowane bezpośrednio w szkicu. Ułatwia to wprowadzanie zmian lub rozszerzeń zgodnie z własnymi pomysłami.

Program główny (**listing 2**) wywołuje cyklicznie procedurę pomiarową read_GridEYE (proces jest deterministyczny). Procedura pomiarowa odczytuje 64 temperatury za pomocą funkcji GridEye_getT. Podczas odczytu jest wyznaczana temperatura najniższa i najwyższa; są one zapisywane wraz z pozycją najwyższej temperatury.

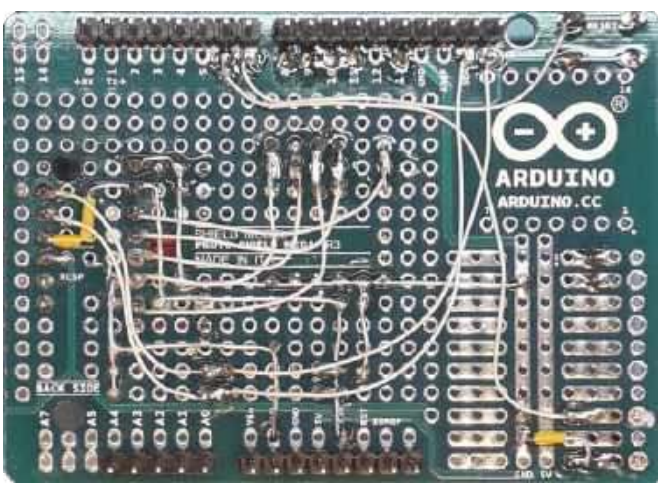
Wartości temperatury mają rozdzielczość 0,25 K. Aby uniknąć liczb ułamkowych, są one mnożone w czujniku przez współczynnik 4. Czujnik wysyła te wartości na 12 bitach. Bit dwunasty (najstarszy) jest znakiem. Procedura odczytu dokonuje konwersji tego formatu na typ *int*, czyli 16 bitów w kodzie uzupełnieniowym do dwóch (U2).

Wartości z czujników są zapisywane w dwuwymiarowej tablicy *pixel_Table*. Tablica ta ma rozmiar 15×15 wartości typu *int*, a zatem może również przechowywać wartości interpolowane. Po wczytaniu temperatur z czujnika, dla każdego wiersza podprogram interpoluje wartości między dwoma sąsiednimi punktami. Interpolacja jest następnie przeprowadzana między kolumnami, obejmując również wartości interpolowane w wierszach. W rezultacie w tablicy *pixel_Table* mamy 15×15 = 225 wartości.

Funkcja *showT_as_Color* wyświetla wartości 225 punktów w sztucznych kolorach. Kolory są przypisywane do wartości za pośrednictwem tablicy *color_Scale*. Dla dobrego rozróżniania temperatur rozdzielczość jest ograniczona do 32

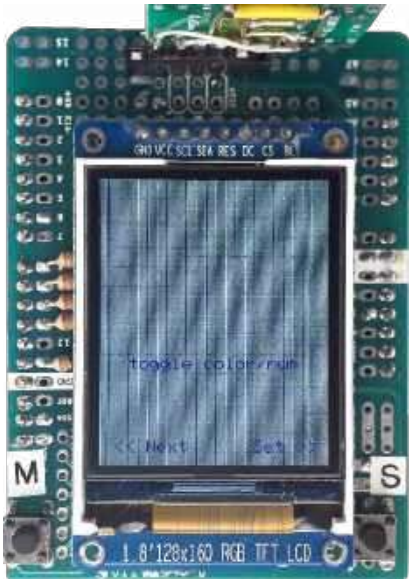


Rysunek 8. Samodzielnie wykonana nakładka, strona montażu



Rysunek 9. Samodzielnie wykonana nakładka, strona okablowania

eprasa.pl d2e0862bc0



Rysunek 10. Położenie przycisków oraz strona menu przełączania między wyświetlaniem graficznym a numerycznym

kolorów. Zmierzone wartości muszą być zatem przeskalowywane tak, aby mieściły się w zakresie 32 wartości. Służy do tego funkcja *do_Auto_Ranging*. Funkcja wybiera zakres pomiarowy z sześciu predefiniowanych wartości (w zależności od najniższej zmierzonej temperatury) i przekazuje go do zmiennej *Tcoloffset*. Różnica między najwyższą zmierzoną temperaturą a *Tcoloffset* jest wykorzystywana do określenia rozdzielczości zakresu pomiarowego *Tcolrange*, wybieranej spośród pięciu predefiniowanych wartości. Zmierzone wartości temperatury są przekształcane do zakresu 32 wartości poprzez odjęcie *Tcoloffset* i pomnożenie przez *Tcolrange*. Dzięki temu mogą być one reprezentowane przez 32 kolory.

Numeryczne wyświetlanie zmierzonych wartości jest obsługiwane przez podprogram *showT_as_Numeric*. Wyjście szeregowe jest obsługiwane przez funkcję *Serial_send_T*. Podprogram *Set_menu* zapewnia wybór różnych ustawień i stosuje je po aktywacji. Ustawienia są zapisywane w pamięci EEPROM i przywracane przy każdym ponownym uruchomieniu urządzenia.

Działanie

Przejście do ustawień umożliwia przycisk *Menu*. Wielokrotne naciskanie tego przycisku umożliwia przewijanie elementów do wyboru. Ustawienia aktywne są wyświetlane na zielono. Aby wybrać wyświetlaną pozycję, naciskamy przycisk *Set* (ustaw). Pierwszym parametrem jest *Auto Ranging*, który zwykle zapewnia optymalne parametry wyświetlania. *color/num* (**rysunek 10**) przełącza wyświetlanie wyników z układu kolorów na numeryczne.

```
if (acquire==true)
(read_GridEYE (&lowestT, &highestT,  //read all pixels and
&highestTpix));                      //get lowest and highest T

...

void read_GridEYE (int *pl, int *ph, int *phnum)
{
*ph= -512; *pl= 1024;                //init values highest, lowest
int T; //temporary
byte pixnum;

// read data of 64 pixels
// ----------------------

for(byte y = 0; y <8; y++)           //line address
{
for(byte x=0; x<8; x++)              //column address
{
pixnum= (y+56)-(x*8);                //due to orientation, start with pixel 56
T= GridEye_getT (pixnum);            //read this pixel
pixel_Table[y*2][x*2]= T;            //T to each second column, line
                                     //position

if (T>*ph)                           //find highest temperature
{ *ph=T;
*phnum= y*256 + x;                   //save position of this pixel
}
if (T<*pl) *pl=T;                    //find lowest temperature
}
}

// interpolate between the horizontal pixels of each line
// ------------------------------------------------------

for (byte y=0; y<8; y++)             //line address counter
{
for (byte x=0; x<7; x++)             //column address counter
{
T= (pixel_Table [2*y][2*x] + pixel_Table [2*y][(2*x)+2])/2;
pixel_Table [2*y][(2*x)+1]= T;
}
}

// interpolate between the vertical pixels of each column
// ------------------------------------------------------

for (byte x=0; x<15; x++)            //column address counter
{
for (byte y=0; y<7; y++)             //line address counter
{
T= (pixel_Table [2*y][x] + pixel_Table [(2*y)+2][x])/2;
pixel_Table [(2*y)+1][x]= T;
}
}
}
```

Listing 1: Funkcja read_GridEYE

Jeśli podczas pomiaru zostanie naciśnięty przycisk *Set*, pomiar zostanie zatrzymany, a wyniki „zamrożone". Wyświetlacz można następnie edytować w menu bez zmiany zmierzonych wartości. Ponowne naciśnięcie *Set* spowoduje kontynuowanie pomiaru.

W przypadku wyświetlania układu kolorów, temperatura najcieplejszego punktu jest dodatkowo wyświetlana jako wartość liczbowa. Funkcję tę można wyłączyć, przytrzymując przycisk *Menu* podczas załączania urządzenia.

Wyniki są przesyłane przez interfejs szeregowy w sposób ciągły z rozdzielczością 0,25 K.

Podsumowując – można się mocno zdziwić, do czego zdolny jest tak mały mikrokontroler ATmega! ■

Roland Stiglmayr (Niemcy)

Odnośniki

[1] Dokumentacja Grid-EYE: https://industrial.panasonic.com/ww/products/pt/grid-eye
[2] Thermopile (Wikipedia): https://en.wikipedia.org/wiki/Thermopile
[3] Karta danych AMG883462: https://industrial.panasonic.com/cdbs/www-data/pdf/ADI8000/ast-ind-139049.pdf
[4] Grid-EYE-BoB: https://sparkfun.com/products/14607
[5] Strona projektu: https://elektormagazine.com/230744-01

Artykuł reprodukowano na podstawie umowy z „Elektor International Media", 2022. www.elektormagazine.com

eprasa.pl d2e0862bc0



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



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



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

BESTSELLERY sklepu AVT – sklep.avt.pl

Mierniki Testery FNIRSI

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

-3%

Rabat dla Prenumeratorów EdW
przy zakupie podaj numer prenumeraty

-6%



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



FN-LCR-P1
Tester elementów FNIRSI LCR-P1



FN-HRM10
Tester rezystancji wewnętrznej akumulatorów FNIRSI HRM-10



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



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



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



Sterownik systemu nawadniania oparty na witrynie internetowej

Zaawansowany sterownik systemu nawadniania opisany w artykule potrafi wszystko. Może zmieniać harmonogram podlewania w zależności od pory roku, sprawdzać prognozę pogody przed podlewaniem, a nawet ostrzegać o pękniętej rurze lub zablokowanym zraszaczu. Co najlepsze, jest bardzo łatwy w konfiguracji i obsłudze.

Sterowniki systemu nawadniania, często znane jako sterowniki sieci nawadniających lub nawadniania, są bardzo trudne do zaprogramowania. Zazwyczaj mają mały ekran LCD i szereg małych przycisków lub przełączników do konfigurowania harmonogramu nawadniania.

Sterownik systemu nawadniania nie posiada wyświetlacza LCD ani przycisków. Cała konfiguracja i obsługa odbywa się wygodnie przez przeglądarkę internetową na smartfonie, tablecie lub komputerze. Intuicyjne strony konfiguracyjne są przejrzyste i zawierają wszystkie niezbędne opcje potrzebne do szybkiego i łatwego ustawienia systemu.

Kluczowym elementem systemu jest WebMite – moduł oparty na Raspberry Pi Pico W, obsługujący język programowania mmBasic. Odpowiada on za hostowanie stron internetowych sterownika, pobieranie z Internetu aktualnej godziny, daty i informacji o pogodzie oraz realizację zaprogramowanego harmonogramu nawadniania.

Poza nim układ składa się jedynie z kilku prostych elementów: niewielkiego zasilacza oraz przekaźników półprzewodnikowych (SSR), które sterują elektromagnetycznymi zaworami systemu nawadniania.

Oprogramowanie działające na WebMite zostało napisane w języku BASIC, dzięki czemu można je łatwo odczytać i zmodyfikować. Pozwala to w prosty sposób dostosować działanie systemu do własnych potrzeb lub dodać nowe funkcje.

Opisany tu projekt został częściowo opracowany jako demonstracja możliwości WebMite. Nawet jeśli nie planujesz budowy sterownika systemu nawadniania, projekt może okazać się przydatny – zawiera kod oraz rozwiązania, które można wykorzystać w innych aplikacjach.

Program działa nawet na samym Raspberry Pi Pico W, bez dodatkowych elementów sprzętowych. Dzięki temu można zapoznać się z jego działaniem i samodzielnie go przetestować bez konieczności budowania całego urządzenia – wystarczy jedynie moduł Pico W.

Układ systemu nawadniania

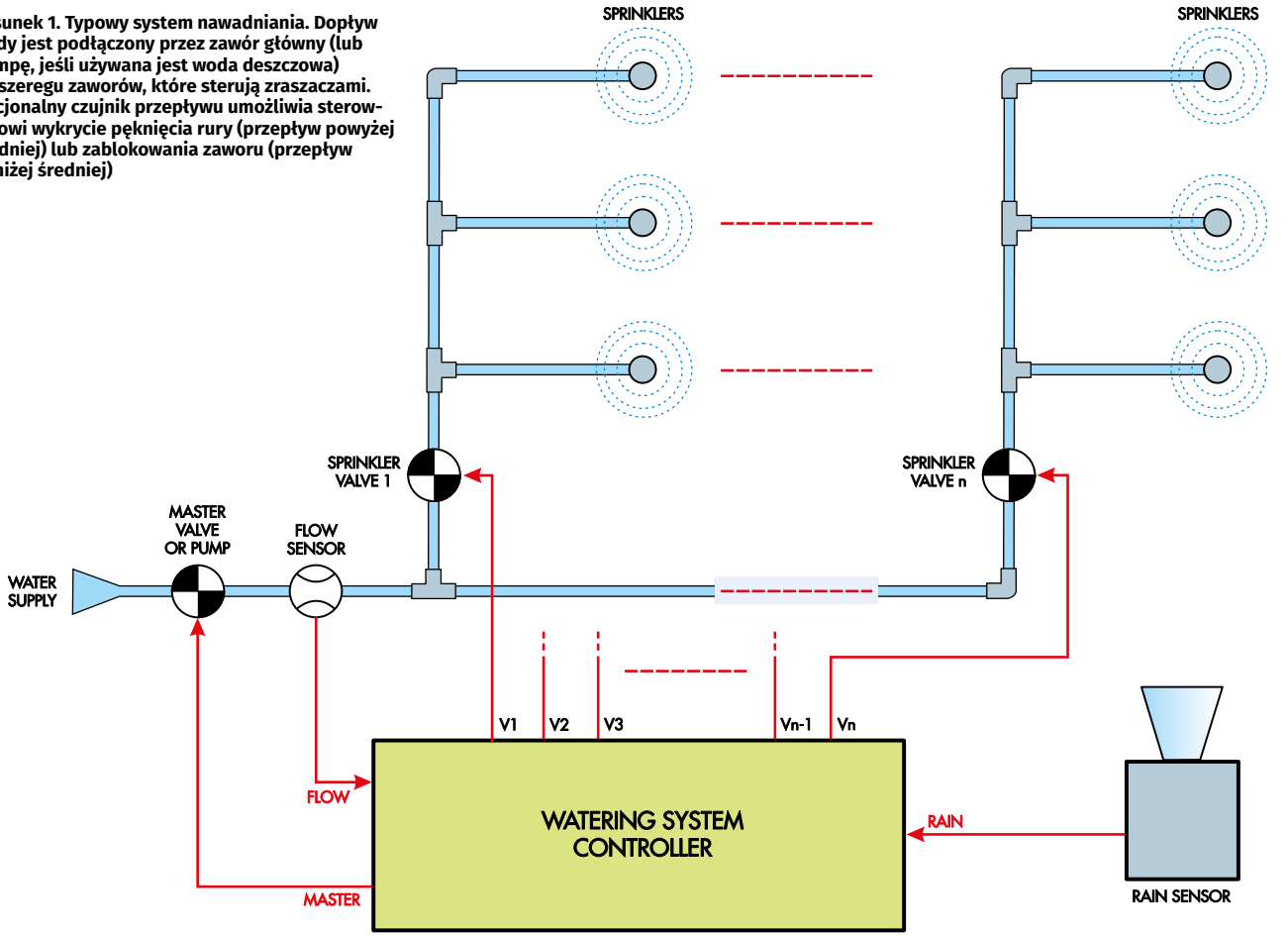
Schemat nawadniania pokazano na rysunku 1. Dopływ wody jest podłączony przez zawór główny do szeregu zaworów sterujących poszczególnymi zraszaczami (lub zestawami zraszaczy). Sterownik otwiera zawór główny, a następnie przechodzi kolejno przez każdy zawór zraszacza, otwierając je na określony czas.

Zawór główny jest ważny, ponieważ zapewnia rezerwę na wypadek zablokowania się jednego z zaworów zraszaczy (co się zdarza). Zawór główny nadal będzie odcinał dopływ wody, ograniczając szkody spowodowane przez stale otwarty zawór.



Gotowy sterownik w odpornej na warunki atmosferyczne obudowie zamontowanej na ścianie zewnętrznej. Zdecydowaliśmy się zamontować diodę LED stanu na pokrywie wraz z wodoodpornym przełącznikiem zasilania.

eprasa.pl d2e0862bc0



Rysunek 1. Typowy system nawadniania. Dopływ wody jest podłączony przez zawór główny (lub pompę, jeśli używana jest woda deszczowa) do szeregu zaworów, które sterują zraszaczami. Opcjonalny czujnik przepływu umożliwia sterownikowi wykrycie pęknięcia rury (przepływ powyżej średniej) lub zablokowania zaworu (przepływ poniżej średniej)

Niektóre systemy używają pompę jako źródło wody. W takim przypadku sterownik systemu nawadniania będzie włączał i wyłączał pompę zamiast zaworu głównego.

Tak czy inaczej, sterownik włączy go pół sekundy przed otwarciem pierwszego zaworu zraszacza i wyłączy pół sekundy po zamknięciu ostatniego. Ma to na celu zapewnienie pełnego napełnienia rur doprowadzających wodę do zaworów zraszaczy, co pozwala uniknąć sytuacji, w której zawór zraszacza zamyka się po zaworze głównym, wypuszczając wodę z rur.

W przeciwnym razie, gdy zawór główny zostanie otwarty, woda przepływająca przez puste rury może zadziałać jak młot i uszkodzić połączenia w rurze i zaworze.

Opcjonalnym, ale wartościowym dodatkiem jest czujnik przepływu. Zwykle jest on montowany na wylocie pompy lub zaworu głównego i informuje sterownik o ilości wody przepływającej przez system. Sterownik rejestruje to i z czasem oblicza średnie natężenie przepływu dla każdego zaworu.

Sterownik może następnie łatwo wykryć nieprawidłowy przepływ, po otwarciu zaworu, powyżej lub poniżej średniej. Jest to nieoceniona cecha, ponieważ nadmierny przepływ wskazuje, że rura pękła i może spowodować no. powstanie dziury w ogrodzie. Niższy niż normalny przepływ oznacza, że zraszacz lub zawór jest zablokowany. Jeśli nie zostanie naprawiony, może to spowodować obumarcie roślin.

W przypadku wykrycia zbyt wysokiego przepływu sterownik natychmiast wyłącza zawór, aby zapobiec uszkodzeniom. Jeśli natomiast przepływ będzie zbyt niski, sterownik będzie kontynuował nawadnianie, licząc że część wody przedostanie się przez

Cechy i specyfikacja

- Konfiguracja za pomocą przeglądarki internetowej ze smartfona, tabletu lub komputera
- Sterowanie zaworem głównym i maksymalnie ośmioma zaworami zraszaczy
- Do ośmiu niezależnych harmonogramów nawadniania
- Harmonogramy można dostosować do różnych wymagań w okresie letnim itp.
- Aktywny harmonogram można pominąć, jeśli prognozowany lub wykryty jest deszcz
- Czas zraszania można wydłużyć w gorące dni
- Obsługa czujników przepływu do wykrywania pękniętych rur, zablokowanych zaworów lub zraszaczy
- Opcjonalnie dołączany czujnik deszczu pozwala uniknąć podlewania podczas deszczu
- Harmonogramy mogą być uruchamiane w określone dni tygodnia lub w odstępach dniowych
- Harmonogramy mogą rozpoczynać się o ustalonej godzinie lub w okresie przed/zachodem słońca
- Czas i data są ustawiane z Internetu z automatycznym wyborem czasu letniego
- Nie jest wymagany zegar zasilany bateryjnie
- Harmonogramy są kontynuowane w przypadku awarii sieci Wi-Fi lub Internetu
- Harmonogramy automatycznie uruchamiają się ponownie po awarii zasilania
- Zasilanie 24 V AC, 1 A

eprasa.pl d2e0862bc0

zawór, ale jednocześnie poinformuje użytkownika o problemie.

Opcjonalny jest również czujnik deszczu. Sterownik systemu nawadniania może sprawdzić prognozę pogody i pominąć nawadnianie, jeśli przewidywany jest deszcz, ale podłączenie czujnika deszczu zapewnia rozwiązanie awaryjne dostosowane do danego ogrodu. Sterownik sprawdzi stan czujnika przed rozpoczęciem nawadniania, a jeśli wskaże on, że aktualnie pada deszcz, harmonogram tego dnia zostanie pominięty.

Możliwości sterownika

Konfigurowanie sterownika odbywa się za pośrednictwem przeglądarki internetowej. Sterownik generuje własną stronę internetową, pokazaną na **ekranie 1**. Zawarto na niej listę wszystkich możliwych harmonogramów nawadniania, z przyciskiem do konfiguracji każdego z nich. Jest tam również przycisk RUN NOW, którego można użyć w dowolnym momencie do uruchomienia harmonogramu nawadniania.

Harmonogramy są ustawione tak, aby rozpoczynały się w określonym dniu w roku i kończyły w innym. Na przykład, harmonogram można skonfigurować na miesiące letnie. Będzie on dostosowany do wymagań gorącej pogody. Inny harmonogram będzie ustawiony na jesień, kiedy wymagane jest mniejsze podlewanie, inny na zimę i tak dalej. Możesz ustawić wymagania dotyczące podlewania na cały rok i, o ile nie zmienisz zdania, będą one powtarzane rok po roku.

Typowe sterowniki systemu nawadniania wymagają zmiany charakterystyki nawadniania na początku każdego sezonu, co może szybko stać się uciążliwe, a co nasz projekt eliminuje.

Strona internetowa zawiera przyciski do konfiguracji każdego harmonogramu. Po kliknięciu jednego z nich zostanie wyświetlona strona podobna do pokazanej na **ekranie 2**, która zawiera wszystkie szczegóły harmonogramu.

Pierwsze pole na stronie konfiguracji umożliwia wprowadzenie zrozumiałego tytułu, który będzie wyświetlany na stronie głównej. Harmonogram można również włączyć lub wyłączyć za pomocą pola wyboru. Kolejne cztery pola umożliwiają ustawienie daty rozpoczęcia i zakończenia harmonogramu w danym roku. Harmonogramy mogą nakładać się, a jeśli chcesz mieć ten sam schemat nawadniania przez cały rok, możesz ustawić początek na 1/1, a koniec na 31/12.

Kolejna sekcja umożliwia ustawienie dni tygodnia nawadniania lub określenie interwału nawadniania w dniach. Można wybrać jedną lub drugą opcję, ale nie obie.

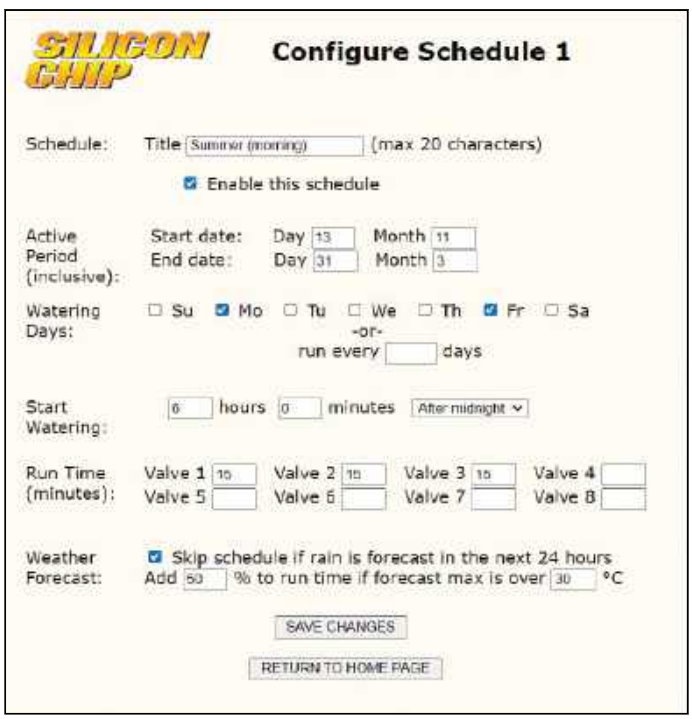
Następnie należy ustawić czas rozpoczęcia nawadniania. Ustawienie pokazane na **ekranie 2** dotyczy nawadniania 6 godzin i 0 minut po północy (tj. o 6 rano). Jednak korzystając z listy rozwijanej, można określić również liczbę godzin i minut przed wschodem słońca, po wschodzie słońca, przed zachodem słońca lub po zachodzie słońca. Daje to dużą elastyczność w ustawianiu godziny rozpoczęcia.

W następnej sekcji można skonfigurować czas nawadniania z każdego zaworu elektromagnetycznego określanego w minutach. Sterownik przejdzie przez każdy zawór w sekwencji, otwierając go na określony czas. Może on sterować maksymalnie ośmioma zaworami (plus zawór główny), ale jeśli potrzebna jest mniejsza ich liczba, nie trzeba instalować tylu zaworów. Program pominie wszystkie zawory z zerowym lub pustym czasem nawadniania.

Jeśli w tych polach wprowadzono czasy nawadniania, na stronie głównej pojawi się przycisk RUN NOW (uruchom teraz), nawet jeśli harmonogram jest wyłączony, a pozostałe pola nie zostały wypełnione. Oznacza to, że można utworzyć sekwencję nawadniania, która jest uruchamiana tylko na żądanie ze strony internetowej.



Ekran 1. Główna strona internetowa widoczna po nawiązaniu połączenia ze sterownikiem. Zawiera listę wszystkich harmonogramów nawadniania oraz daty ich rozpoczęcia i zakończenia. Przycisk CONFIGURE umożliwia zmianę powiązanego harmonogramu, a przycisk RUN NOW natychmiast uruchamia ten program

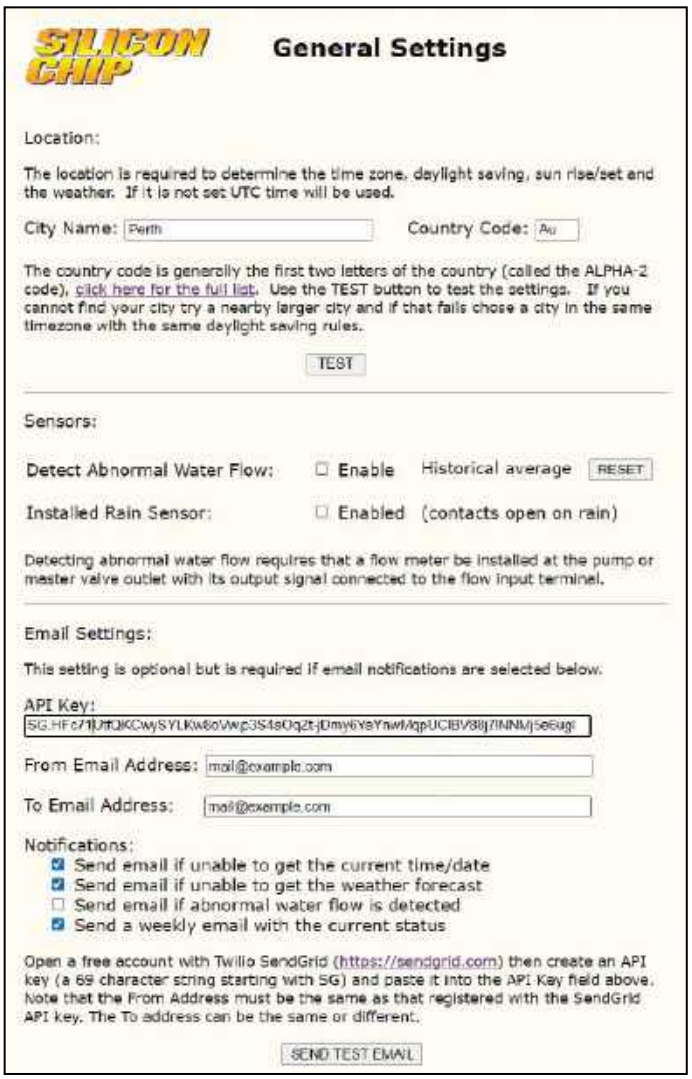


Ekran 2. Umożliwia modyfikację harmonogramu, w tym daty rozpoczęcia i zakończenia, czasu rozpoczęcia nawadniania, czasu nawadniania dla każdego zaworu oraz działań, które należy podjąć w oparciu o prognozę pogody

eprasa.pl d2e0862bc0

Ostatnia sekcja umożliwia zmianę harmonogramu nawadniania na dany dzień w zależności od prognozy pogody. Można całkowicie pominąć podlewanie, jeśli prognozowany jest deszcz, lub wydłużyć czas podlewania, jeśli prognoza na następne 24 godziny przewiduje maksymalną temperaturę powyżej określonego progu. Pierwsza opcja pozwala uniknąć marnowania wody, a druga może zapobiec obumieraniu roślin w wyjątkowo upalne dni.

Na dole strony znajduje się przycisk umożliwiający zapisanie wprowadzonych zmian. Program BASIC zapisuje konfigurację i ustawienia w pliku o nazwie settings.dat w wewnętrznym systemie plików WebMite.



Ekran 3. Ekran umożliwia zmianę ustawień sterownika jako całości. Możesz określić swoją lokalizację, podłączone czujniki i sposób wysyłania wiadomości e-mail. Lokalizacja jest szczególnie ważna, ponieważ służy do określenia strefy czasowej, kompensacji czasu letniego, czasu wschodu i zachodu słońca oraz prognozy pogody



Ekran 4. Możesz przetestować wprowadzoną lokalizację, a jeśli zostanie znaleziona, zobaczysz widoczny tu komunikat. Podczas testowania funkcji e-mail zostanie wyświetlony podobny komunikat potwierdzający, że wszystko działa prawidłowo

Po włączeniu zasilania lub ponownym uruchomieniu program odczytuje ten plik, dzięki czemu wszystkie szczegóły znajdują się w pamięci.

Ustawienia ogólne

Przycisk GENERAL SETTINGS (ustawienia ogólne) u dołu strony głównej (na ekranie 1) powoduje przejście do strony internetowej pokazanej na **ekranie 3**. Na tej stronie można podać programowi swoją lokalizację, podłączone czujniki i szczegóły dotyczące wysyłania wiadomości e-mail.

Dane o lokalizacji są wykorzystywane do wielu funkcji sterownika, w tym do określenia strefy czasowej, ustawienia czasu letniego, czasu wschodu i zachodu słońca oraz prognozy pogody. Należy wprowadzić nazwę miasta i kod kraju, czyli AU dla Australii i NZ dla Nowej Zelandii (pełną listę kodów Alpha-2 można znaleźć na stronie https://w.wiki/Gb$). Następnie możesz kliknąć przycisk TEST, zobaczysz wtedy komunikat podobny do pokazanego na **ekranie 4**.

W przypadku dużych miast można również wprowadzić przedmieście (np. „North Sydney"). Jeśli zostanie ono znalezione, wyświetli się bardziej szczegółowa prognoza pogody.

Baza danych zawiera ponad 200000 miast i miasteczek, więc jest całkiem możliwe, że znajdziesz swoją lokalizację. Jeśli nie możesz, spróbuj znaleźć najbliższe większe miasto w tej samej strefie czasowej. Prognozy pogody mogą być nadal wystarczająco dokładne, w zależności od tego, jak blisko się znajdujesz.

Powyższe funkcje wykorzystują dane z Open Weather Map (http://openweathermap.com). Usługa ta służy do sprawdzania szerokości i długości geograficznej podczas weryfikacji lokalizacji użytkownika. Program może następnie użyć tych informacji do zapytania Open Weather Map o strefę czasową (w tym czas letni) oraz czas wschodu i zachodu słońca.

Jeśli harmonogram zależy od prognozy pogody, przed uruchomieniem harmonogramu nawadniania program wyświetli zapytanie do Open Weather Map o 24-godzinną prognozę. Dzięki tym danym program może określić, czy harmonogram powinien zostać pominięty lub zmodyfikowany.

Jeśli nie wprowadzisz lokalizacji, sterownik nadal będzie działać, ale będzie używać strefy czasowej AEST (GMT + 10 godzin) lub innej ustawionej w programie BASIC. Nadal można ustawić harmonogram nawadniania i godziny rozpoczęcia, ale kompensacja czasu letniego nie zostanie uwzględniona i nie

eprasa.pl d2e0862bc0

będzie można ustawić czasu w oparciu o zachód/wschód słońca ani zmodyfikować harmonogramu w oparciu o pogodę.

Czujniki

Poniżej danych lokalizacji znajduje się sekcja, w której można skonfigurować czujniki przepływu i/lub deszczu (jeśli są zamontowane).

Czujnik przepływu powiadomi użytkownika, jeśli przepływ wody dla danego zaworu znacznie przekroczy lub spadnie poniżej średniego natężenia przepływu. W obu przypadkach dioda LED stanu zacznie migać, a na stronie głównej sterownika pojawi się komunikat ostrzegawczy. Można je jednak przeoczyć, więc aby upewnić się, że zostaniesz powiadomiony o usterce, należy również skonfigurować powiadomienie e-mail (patrz opis poniżej).

Jeśli usterka nie zostanie usunięta, sterownik z czasem włączy ten nieprawidłowy przepływ do średniego natężenia przepływu dla danego zaworu i ostatecznie przestanie traktować go jako awarię. Dlatego jeśli otrzymasz wiadomość e-mail informującą o usterce, niezwłocznie podejmij odpowiednie działania. Po usunięciu usterki wyzeruj średnią, klikając odpowiedni przycisk, aby program BASIC wiedział, że należy zbudować nową średnią wykorzystywaną do wykrywania usterek (zostanie ona wyznaczona dla wszystkich zaworów).

Można podłączyć czujnik deszczu. Po jego skonfigurowaniu sterownik nie uruchomi harmonogramu nawadniania, jeśli aktualnie pada deszcz. Funkcja ta stanowi uzupełnienie sprawdzania prognozy pogody. Większość czujników deszczu ma styki normalnie zwarte, które rozwierają się w czasie opadów – do takiego właśnie sposobu działania przystosowano sterownik. Aby włączyć tę funkcję, wystarczy podłączyć czujnik do odpowiedniego zacisku śrubowego w sterowniku i zaznaczyć właściwe pole w ustawieniach.

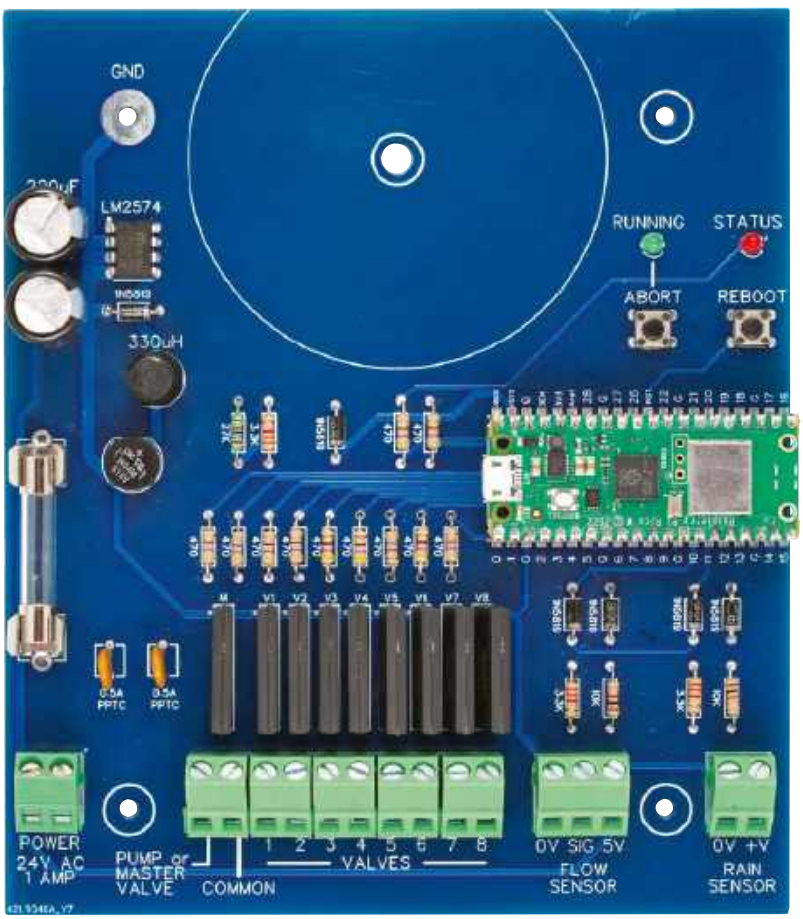
Wysyłanie wiadomości e-mail

Jest to nieoceniona funkcja, ponieważ zwykle nie sprawdza się codziennie diody LED stanu sterownika ani strony internetowej. Ponadto, ze względu na to, że zraszacze są uruchamiane zwykle przed wschodem słońca, krytyczne usterki mogą pozostać niezauważone przez wiele miesięcy, a do tego czasu mogą wyrządzić wiele szkód w ogrodzie.

Aby wysyłać wiadomości e-mail, należy otworzyć bezpłatne konto w SendGrid (http://sendgrid.com). Otwarcie konta jest nieco żmudne, ponieważ musi być zweryfikowana Twoją tożsamość, co pozwoli zapobiec nadużywaniu usług przez spamerów. Jednak po utworzeniu konta można uzyskać bezpłatny klucz API (ciąg 69 znaków), który można wprowadzić w polu klucza API.

Po otrzymaniu klucza od SendGrid, musisz również przesłać pasujący „adres e-mail nadawcy", który należy wprowadzić w następnym polu (From Email Address). Na koniec należy podać adres e-mail, na który będą wysyłane wiadomości. Może on być taki sam jak adres nadawcy lub inny.

Aby przetestować ustawienia, kliknij przycisk TEST. Po kilku sekundach powinieneś zobaczyć wiadomość potwierdzającą, że testowa wiadomość e-mail została pomyślnie wysłana. Następnie możesz sprawdzić swoją skrzynkę odbiorczą, aby potwierdzić jej otrzymanie.



Fotografia 1. W pełni zmontowana płytka drukowana sterownika systemu nawadniania (pokazana w rozmiarze mniejszym niż rzeczywisty). Wzdłuż dolnej krawędzi znajdują się zaciski śrubowe dla wejścia zasilania, zaworu głównego i ośmiu zaworów zraszaczy oraz wejść dla opcjonalnych czujników przepływu i deszczu. Płytka ma dużo miejsca poniżej zacisków śrubowych na poprowadzenie przewodów

Szczegóły schematu

Schemat układu sterownika systemu nawadniania (**rysunek 2**), jest niemal całkowicie oparty na Raspberry Pi Pico W (tj. WebMite). Jedynymi dodatkowymi komponentami są: zasilacz i sterowniki elektrozaworów.

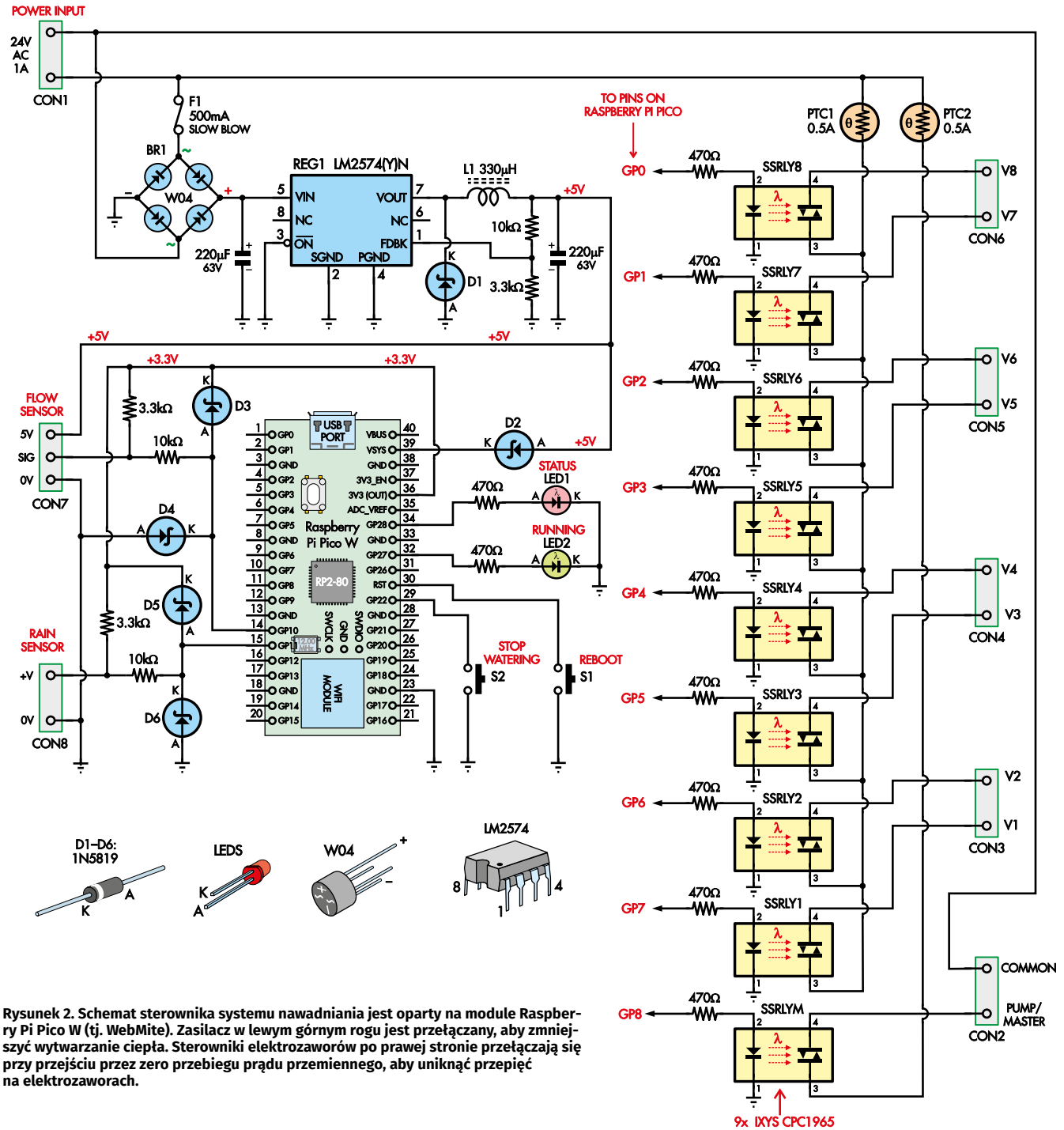
Wszystkie zawory mają jedno wspólne połączenie powrotne. Sterownik jest przeznaczony do typowych zaworów elektromagnetycznych stosowanych w domowych systemach nawadniania, które są sterowane napięciem 24 V AC. Elektrozawory te zwykle pobierają prąd udarowy o wartości 350 mA, gdy są zasilane, a następnie spada on do prądu podtrzymania wynoszącego około 220 mA.

Przekaźnik półprzewodnikowy IXYS CPC1965 steruje każdym zaworem. Przełączają się one w momencie przejścia przez zero przebiegu AC, dzięki czemu nie ma problemów z przepięciem indukowanym, w cewkach zaworów elektromagnetycznych. Są one kontrolowane przez wbudowaną diodę LED, która zapewnia izolację między wejściem a wyjściem.

Prąd płynący przez diodę LED wynosi około 5 mA (ograniczony przez rezystor 470 Ω). Jest to prąd, którym można bezpośrednio obciążyć wyjścia cyfrowe mikrokontrolera.

Jednocześnie mogą być zasilane tylko dwa zawory elektromagnetyczne: główny i aktualnie otwarty zawór zraszacza. Są one

eprasa.pl d2e0862bc0



Rysunek 2. Schemat sterownika systemu nawadniania jest oparty na module Raspberry Pi Pico W (tj. WebMite). Zasilacz w lewym górnym rogu jest przełączany, aby zmniejszyć wytwarzanie ciepła. Sterowniki elektrozaworów po prawej stronie przełączają się przy przejściu przez zero przebiegu prądu przemiennego, aby uniknąć przepięć na elektrozaworach.

zabezpieczone niezależnymi bezpiecznikami PPTC (są to bezpieczniki polimerowe o dodatnim współczynniku temperaturowym), które zwiększają rezystancję, jeśli przepływa przez nie nadmierny prąd, ograniczając prąd maksymalny. Po usunięciu usterki powracają do normalnego działania. Chronią one przed zwarciami w cewce lub okablowaniu cewki.

Zasilacz to przetwornica buck (step-down) dostarczająca stabilizowane napięcie 5 V DC do WebMite i czujnika przepływu (jeśli jest zamontowany). Zasilacz obejmuje przetwornicę REG1, cewkę L1, diodę D1, dzielnik napięcia sprzężenia zwrotnego, który ustawia napięcie wyjściowe 5 V oraz kilka kondensatorów filtrujących/filtrujących. Prąd zasilający sterownik jest niewielki i wynosi 60...100 mA.

Stosunkowo wysokie napięcie wejściowe wynoszące około 34 V DC z wyprostowanego napięcia 24 V AC spowodowałoby jednak rozpraszanie mocy strat rzędu 3...4 W zamienianej w ciepło przez stabilizator liniowy. W szczelnej obudowie mogłoby to skrócić żywotność kondensatorów elektrolitycznych. W przypadku zasilacza impulsowego rozpraszanie jest mniejsze niż 1 W.

Żywotność kondensatorów elektrolitycznych jest bardzo ważna, ponieważ sterownik systemu nawadniania powinien działać przez 10...20 lat lub dłużej. Z tego powodu zastosowaliśmy kondensatory wysokonapięciowe i wysokotemperaturowe o większej pojemności niż jest to absolutnie konieczne. Te czynniki razem powinny znacznie wydłużyć żywotność kondensatorów.

eprasa.pl d2e0862bc0

Zasilanie 5 V do WebMite jest dostarczane przez diodę Schottky'ego D2, która pozwala odizolować zasilanie sterownika od napięcia USB 5 V dostarczanego przez komputer, jeśli został podłączony do WebMite. Rozwiązanie to umożliwia korzystanie z portu USB do debugowania i testowania oprogramowania na WebMite, nawet gdy system nawadniania jest zasilany.

Wejścia czujników przepływu i deszczu są podciągnięte do 3,3 V (z Pico) przez rezystory 3,3 kΩ i zabezpieczone diodami Schottky'ego dołączonymi do masy i do zasilania. Diody służą do ochrony przed błędnym podłączeniem, wyładowaniami atmosferycznymi itp. W obu przypadkach wejście jest ściągane do masy przez czujnik, który jest wykrywany i obsługiwany przez program BASIC WebMite.

Na płytce drukowanej znajdują się dwie diody LED i dwa przyciski. Czerwona dioda LED wskazuje stan sterownika. Gdy świeci się światłem ciągłym, sterownik działa prawidłowo. Jeśli miga lub jest wyłączona, oznacza to usterkę, taką jak nieprawidłowy przepływ wykryty przez czujnik przepływu, brak połączenia z Internetem itp.

Zielona dioda LED świeci się, gdy sterownik wykonuje cykl nawadniania. Przycisk anulowania znajdujący się pod nią może zakończyć ten cykl. Przełącznik zerowania wymusi ponowne uruchomienie WebMite, co jest przydatne w przypadku aktualizacji oprogramowania układowego.

Projekt płytki drukowanej

Płytka PCB serownika nawadniania w pełnej konfiguracji jest pokazana na **zdjęciu 1**. Jest ona przeznaczona do montażu w wodoszczelnej obudowie RITEC RP1285BF 186 mm×146 mm×75 mm. Altronics ma ją w swojej ofercie (nr kat. H0310F), są też inne obudowy o podobnym rozmiarze, niektóre z przezroczystą pokrywą.

Zwróć uwagę na zaciski śrubowe wzdłuż dolnej krawędzi płytki drukowanej. Pierwszy z lewej to wejście zasilania 24 V AC. Chociaż podano wydajność 1 A, źródło o wydajności 750 mA lub większej powinno działać prawidłowo.

Dalej na dole znajdują się wyjścia do sterowania ośmioma zaworami zraszaczy i jednym zaworem głównym.

Na dolnej krawędzi znajdują się również wejścia dla opcjonalnych czujników przepływu i deszczu. Należy stosować hallotronowe czujniki przepływu, które mogą być zasilane napięciem 5 V DC. W wykazie elementów znajduje się przykład takiego czujnika, ale można stosować również inne podobne. Czujnik deszczu nie wymaga zasilania i powinien mieć styki normalnie zamknięte. I w tym przypadku w wykazie elementów podano typowy przykład.

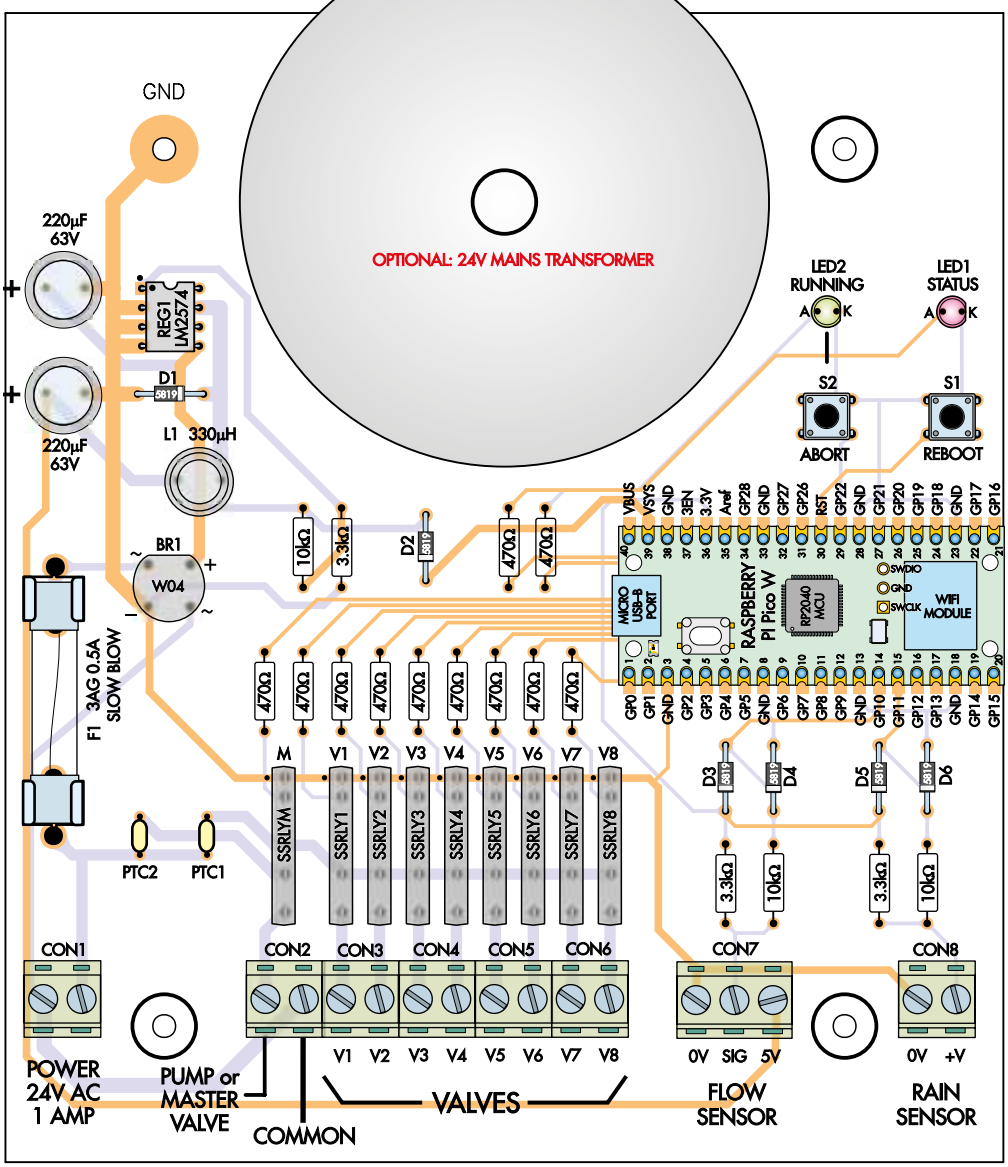
Płytka została zaprojektowana tak, aby między zaciskami śrubowymi a spodem obudowy było dużo miejsca, co pozwala na łatwe prowadzenie przewodów.

W górnej części płytki drukowanej znajduje się miejsce na mały transformator toroidalny, który może być zamontowany przez wykwalifikowanego elektryka, jeśli sterownik ma być na stałe podłączony do obwodu zasilania.

Zanim zdecydujesz się na umieszczenie sterownika, sprawdź, czy WebMite ma dostęp do sieci Wi-Fi w tej lokalizacji. Jak opisano dalej, można to zrobić, ładując oprogramowanie układowe do urządzenia WebMite i zasilając go za pomocą banku zasilania USB 5 V lub komputera przenośnego. Jeśli możesz wywołać jego stronę internetową z tej lokalizacji, jesteś gotowy do pracy.

Źródło zasilania 24 V AC

Napięcie 24 V AC jest standardowym źródłem zasilania dla



Rysunek 3. Rozmieszczenie elementów na płytce drukowanej. Należy pamiętać, że wiele części jest opcjonalnych i można je pominąć, jeśli nie są potrzebne. Należy zwrócić uwagę na orientację układów scalonych, diod, przekaźników SSR i kondensatorów elektrolitycznych

eprasa.pl d2e0862bc0

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

sterowników domowych systemów nawadniania i jeśli wymieniasz istniejący sterownik, napięcie to powinno być już dostępne.

My zamontowaliśmy prototyp sterownika systemu nawadniania obok domowej skrzynki bezpiecznikowej, w której znajdowało się gniazdo z napięciem przemiennym sieci 230 V, a następnie użyliśmy zasilacza wtyczkowego 24 V AC do zasilania sterownika. Jest to najlepsze i najbardziej ekonomiczne rozwiązanie. Zasilacze tego rodzaju są niedrogie i łatwe do kupienia. Typowymi przykładami są Jaycar MP3032 i Altronics M9379A.

Jeśli chcesz zasilać sterownik z sieci, będziesz potrzebować wykwalifikowanego elektryka, który poprowadzi kable i podłączy je do obwodu zasilania. Jest to kosztowne rozwiązanie, więc nie zalecamy go, ale jeśli musisz, płytka drukowana ma miejsce na mały transformator toroidalny na górze. Może to być na przykład Jaycar Cat MT2112 lub Vigortronix VTX-146-030-212.

Sterownik nie umożliwia podłączenia ani zabezpieczenia uzwojenia pierwotnego transformatora, ponieważ czynności te powinien wykonać elektryk.

Budowa

Sterownik można zbudować przy użyciu dwustronnej płytki drukowanej o wymiarach 132 mm×152 mm i kodzie 15110231, z elementami zamontowanymi tak, jak to pokazano na **rysunku 3**.

Przed rozpoczęciem należy zdecydować, które opcje zostaną uwzględnione, a które wykluczone. Pierwszą z nich jest liczba zaworów do sterowania. Większość systemów nawadniania wymaga tylko dwóch, trzech lub czterech zaworów zraszaczy, ale sterownik może obsługiwać nawet osiem. Większość konstruktorów wybierze jedną z opcji wymienionych w wykazie elementów: cztery, sześć lub osiem zaworów.

Dwa wejścia czujników są również opcjonalne. Jeśli nie planujesz instalować czujnika deszczu lub przepływu, możesz pominąć powiązane elementy. Mimo to warto je zamontować na wypadek, gdybyś zdecydował się użyć ich później.

Dwie diody LED i przyciski są również opcjonalne. Są one pomocne podczas wyszukiwania błędów lub konfigurowania sterownika, ale będą mało przydatne po zamknięciu obudowy. Można je zamontować na panelu przednim za pomocą wodoodpornych diod LED i przełączników z dodatkowymi przewodami, gdzie byłyby znacznie bardziej przydatne.

Na przednim panelu naszego prototypu zamontowaliśmy wodoodporny przełącznik zasilania i diodę LED sygnalizującą stan urządzenia. Jeśli zauważysz miganie diody LED, możesz odwiedzić stronę sterownika, aby ustalić przyczynę.

Wszystkie elementy są typu przelotowego, więc montaż powinien być łatwy i pozbawiony pułapek. Postępuj zgodnie z rysunkiem 3 i opisami na płytce. Zacznij od komponentów o niskim profilu, przechodząc do coraz wyższych.

WebMite (Pico W) można przylutować bezpośrednio do płytki drukowanej, ale zdecydowanie zalecamy użycie gniazd na płytce drukowanej i goldpinów na WebMite, co powoli na ewentualną łatwą wymianę modułów w celu przetestowania i znalezienia usterek.

Ładowanie oprogramowania sprzętowego

Przed podłączeniem modułu WebMite do płytki należy wgrać jego oprogramowanie układowe przez port USB komputera (Windows, macOS lub Linux). W przypadku fabrycznie nowego Raspberry Pi Pico W trzeba najpierw wgrać oprogramowanie WebMite (MMBasic). Procedura ta została szczegółowo opisana w instrukcji obsługi WebMite, ale poniżej przedstawiamy jej skrócony opis:

1. Przytrzymując biały przycisk na górze modułu Pico, podłącz go do komputera. Pico powinien pojawić się w systemie jako pseudo-napęd USB.
2. Pobierz plik oprogramowania WebMite (np. WebMiteV5.07.07.uf2) i skopiuj go na ten napęd USB.
3. Po zakończeniu kopiowania WebMite uruchomi się ponownie i zgłosi się w komputerze jako port szeregowy USB. Zielona dioda LED na górze Pico W powinna powoli migać.
4. Sprawdź nazwę portu szeregowego używanego przez WebMite (np. COM12), a następnie użyj programu terminalowego Tera Term (http://tera-term.en.lo4d.com), aby połączyć się z tym portem.
5. Po naciśnięciu klawisza Enter powinien pojawić się wiersz poleceń mmBasic (znak >).

Następnie należy ustawić opcje WebMite dla dostępu do sieci Wi-Fi. Są one wprowadzane

Wykaz elementów:
1 dwustronna płytka drukowana o kodzie PCB 15110231, 132 mm×152 mm
1 moduł Raspberry Pi Pico W (MOD1)
1 wodoszczelna obudowa RITEC RP1285BF 186 mm×146 mm×75 mm [Altronics H0310F, DigiKey 164-RP1285BF-ND, Mouser 546-RP1285BF]
1 dławik na karkasie z rdzeniem ferrytowym (L1) 330 µH 0,5 A [Altronics L6227]
1 przekaźnik półprzewodnikowy IXYS CPC1966Y lub CPC1965Y (SSRLYM) [Mouser 849-CPC1966Y lub 849-CPC1965Y]
2 bezpiecznik PPTC (PTC1-2) prąd podtrzymania 500 mA, prąd zadziałania 1 A, resetowalny [Altronics R4550A lub Bourns MF-RX050/72-AP]
2 przyciski monostabilne do montażu na płytce drukowanej (S1, S2) [Altronics S1120]
2 dwukierunkowe listwy zaciskowe 5/5,08 mm 45° do montażu na płytce drukowanej (CON1, CON2) [Altronics P2044A]
2 złącza 20-pinowe, raster 2,54 mm (dla MOD1)
2 20-stykowe gniazda główne o rozstawie 2,54 mm (dla MOD1)
2 zaciski bezpiecznikowe 3AG do montażu na płytce drukowanej (F1) [Altronics S5980]
1 bezpiecznik 3AG 500 mA (F1)
4 wkręty samogwintujące z łbem walcowym nr 4×6 mm

Półprzewodniki
1 przetwornica buck LM2574(Y)N-ADJ, DIP-8 (REG1)
1 mostek prostowniczy (BR1) W04 400 V 1,2 A [Altronics Z0073 lub Z0073A]
2 diody Schottky'ego 1N5819 40 V 1 A (D1, D2)
1 czerwona dioda LED 3 mm (LED1)
1 zielona dioda LED 3 mm (LED2)

Kondensatory
2 radialne kondensatory elektrolityczne 220 µF 63 V 105ºC

Rezystory (wszystkie 1/4 W 5% osiowe)
1 10 kΩ 1 3,3 kΩ 3 470 Ω

Dodatkowe elementy do sterownika 4-, 6- lub ośmiozaworowego
4, 6 lub 8 przekaźników półprzewodnikowych IXYS CPC1966Y lub CPC1965Y (SSRLY1-SSRLY8) [Mouser 849-CPC1966Y lub 849-CPC1965Y]
4, 6 lub 8 rezystorów osiowych 470 Ω 1/4 W 5%
2, 3 lub 4 dwukierunkowe złącza zaciskowe 5/5,08 mm 45° do montażu na płytce drukowanej (CON3-CON6) [Altronics P2044A]

Dodatkowe elementy do czujnika przepływu
2 diody Schottky'ego 1N5819 40 V 1 A (D3, D4)
1 rezystor osiowy 10 kΩ 1/4 W 5%
1 rezystor osiowy 3,3 kΩ 1/4 W 5%
1 trójdrożna listwa zaciskowa 5/5,08 mm 45° do montażu na płytce drukowanej (CON7) [Altronics P2045A]
1 czujnik przepływu zasilany napięciem 5 V, TTL [Valves Direct siliconchip.au/link/abmg]

Dodatkowe elementy do czujnika deszczu
2 diody Schottky'ego 1N5819 40 V 1 A (D5, D6)
1 rezystor osiowy 10 kΩ 1/4 W 5%
1 rezystor osiowy 3,3 kΩ 1/4 W 5%
1 2-drożna listwa zaciskowa 5/5,08 mm 45° do montażu na płytce drukowanej (CON8) [Altronics P2044A]
1 czujnik deszczu ze stykami NC [Valves Direct siliconchip.au/link/abmh]

eprasa.pl d2e0862bc0

Modyfikowanie programu BASIC

Sterownik jest konfigurowany za pośrednictwem stron internetowych. Za ich pomocą można również zmienić niektóre drobne ustawienia, edytując program BASIC. Aby to zrobić, użyj Telnetu do połączenia się z konsolą WebMite (np. używając Tera Term), a następnie naciśnij CTRL-C, aby przerwać uruchomiony program.

W celu uruchomienia edytora wpisz EDIT w wierszu poleceń. Przewijając w dół, zobaczysz część programu oznaczoną jako User changeable constants (stałe zmieniane przez użytkownika), jak pokazano w poniższym kodzie. Są to parametry, które można łatwo zmienić.

Jeśli nie wprowadzono lokalizacji na stronie konfiguracji ogólnej, dioda LED stanu będzie migać w sposób ciągły. Aby tego uniknąć, można wyłączyć ostrzeżenie, ustawiając DisableLocationWarning na 1 zamiast 0.

Możesz zmienić domyślną strefę czasową z AEST (+10 godzin). Aby to zrobić, zmień linię CONST DefaultTimeZone = 10.0 na swoją strefę czasową. Na przykład Adelaide to 9.5. Należy pamiętać, że w tym przypadku program nie będzie w stanie ustawić czasu letniego.

Jeśli przepływ jest o 50% wyższy od średniej długoterminowej, program zasygnalizuje błąd czujnika przepływu. Można to zmienić, zmieniając wpis Const UpperFtolerance = 50 na inną wartość. Na przykład, jeśli chcesz, aby sterownik był znacznie bardziej wrażliwy na nadmierny przepływ, możesz zmienić wartość na 20 (20%).

Podobnie, dla niższej tolerancji (zmniejszenie przepływu), zmień wpis LowerFtolerance w wierszu poniżej.

Zarejestrowaliśmy konto w Open Weather Map i użyliśmy powiązanego klucza API w programie Watering System Controller. Ich darmowe konto zapewnia nam wszystko, czego potrzebujemy. Jedynym istotnym ograniczeniem jest to, że użytkownicy klucza są ograniczeni do 60 zapytań na minutę lub miliona w miesiącu.

Oznacza to, że wszyscy użytkownicy tego programu będą korzystać z tego samego klucza API, ale nie powinno to stanowić problemu, ponieważ jest mało prawdopodobne, aby 60 użytkowników wykonało połączenie w tej samej minucie. Jeśli chcesz być niezależny, możesz jednak uzyskać własny klucz dostępu.

Jeśli otworzysz konto w Open Weather Map, otrzymasz klucz API. Jest to 32-znakowy ciąg liter i cyfr, który działa jak hasło. Aby zastąpić klucz w kodzie, edytuj linię programu zaczynającą się od „Const OWMKey =”.

Gdy program pobiera prognozę pogody z Open Weather Map, prawdopodobieństwo wystąpienia deszczu jest zwracana jako wartość procentowa, gdzie 0 oznacza brak szansy na deszcz, a 100 oznacza pewność. Jeśli harmonogram jest skonfigurowany tak, aby pomijał nawadnianie w przypadku prognozy deszczu, program zrobi to, jeśli prawdopodobieństwo deszczu wynosi co najmniej 90%.

Możesz zmienić ten próg na dowolną wartość, zmieniając linię „Const RainThreshild = 90”. Na przykład, jeśli chcesz pominąć nawadnianie tylko wtedy, gdy jest pewne, że będzie padać, możesz ustawić wartość na 100 (tj. 100-procentowe prawdopodobieństwo).

```
'''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
' User changeable constants
'''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
' set this to 1 to disable the location warning
Const DisableLocationWarning = 0
' this is the default time zone if the location is not set
Const DefaultTimeZone = 10.0

' the% increase in flow rate to trigger a fault
Const UpperFtolerance = 50
' the% decrease in flow rate to trigger a fault
Const LowerFtolerance = 50

'% forecast% chance of rain required to skip a schedule
Const RainThreshild = 90

' API key for accessing Open Weather Map
' This key is shared between all users of this program and is
' limited to 60 queries/minute. This should not be a problem but
' you can easily get your own key and be inderpendent. To do this
' goto https://openweathermap.org/ and open a free account, then
' generate a key and replace the key below with your own key.
Const OWMKey = "73cd207244614965fc5ca3646bdd10ab"
```

w wierszu poleceń i każdy z nich spowoduje ponowne uruchomienie WebMite, więc po każdym z nich konieczne będzie ponowne połączenie sesji Tera Term (wartości SSID i hasła podajemy w cudzysłowach):

```
OPTION WIFI “SSID”, “password”
OPTION TCP SERVER PORT 80
OPTION TELNET CONSOLE ON
```

Poniższe polecenie wyświetli adres IP przydzielony WebMite przez router:

```
PRINT mm.INFO(IP ADDRESS)
```

Teraz należy skopiować niektóre pliki do wewnętrznego systemu plików WebMite. Najlepiej jest użyć TFTP na komputerze. Postępuj zgodnie z tymi instrukcjami dla systemu Windows: siliconchip.au/link/abmf

Pliki znajdują się w zasobach do pobrania dla sterownika systemu nawadniania i mają nazwy: retic.bas, config.html, index.html i setup.html. Aby przesłać pliki (ipaddr to adres IP urządzenia WebMite), użyj następujących poleceń TFTP,:

```
TFTP -i ipaddr PUT retic.bas
TFTP -i ipaddr PUT config.html
TFTP -i ipaddr PUT index.html
TFTP -i ipaddr PUT setup.html
```

Możesz sprawdzić, czy pliki zostały skopiowane poprawnie. Używaj do tego polecenia FILES w wierszu polecenia mmBasic. Spowoduje to wyświetlenie plików w wewnętrznym systemie plików.

Teraz można uruchomić program BASIC za pomocą następującego polecenia, co powoduje uruchomienie sterownika systemu nawadniania:

```
RUN „retic.bas”
```

Po uruchomieniu program wypisuje na konsoli serię komunikatów o swoim stanie. Pojawiają się one za każdym razem, gdy program wykonuje jakąś operację. Informacje te są przydatne podczas debugowania i pomagają zrozumieć działanie programu.

Możesz teraz uruchomić przeglądarkę internetową i wpisać w pasku adresu adres IP urządzenia WebMite, który ustaliłeś wcześniej. Po naciśnięciu klawisza Enter powinna zostać wyświetlona strona internetowa podobna do tej pokazanej na ekranie 1 (bez wprowadzonych jeszcze danych konfiguracyjnych).

Należy pamiętać, że możliwe jest pominięcie wszystkich powyższych

eprasa.pl d2e0862bc0



Fotografia 2. Sterownik zamontowany w wodoszczelnej obudowie. Pokazano go z wbudowanym transformatorem sieciowym 24 V, ale należy pamiętać, że musi on zostać podłączony przez wykwalifikowanego elektryka, który prawidłowo podłączy obwód pierwotny do odpowiedniego obwodu zasilania

kroków poza ustawieniem opcji Wi-Fi i uruchomieniem programu poprzez załadowanie pliku WaterCtrl.uf2, który znajduje się w pakiecie do pobrania.

Teraz można zamontować moduł WebMite na płytce drukowanej sterownika, umieścić sterownik w docelowym miejscu i zamocować pokrywę obudowy. Następnie skonfiguruj sterownik zgodnie z wcześniejszym opisem, uzyskując do niego dostęp przez Wi-Fi – ustaw harmonogramy nawadniania i w sekcji konfiguracji podstawowej wprowadź swoją lokalizację itp.

Wyszukiwanie błędów

Jeśli sterownik nie działa zgodnie z oczekiwaniami, należy najpierw sprawdzić diodę LED stanu. Jeśli jest wyłączona lub miga, oznacza to, że wykryto błąd, jeśli świeci światłem ciągłym, oznacza to, że wszystko działa poprawnie (z punktu widzenia programu). Podczas uruchamiania sterownika dioda LED na chwilę zgaśnie lub zacznie migać, ale jeśli po minucie lub dwóch nadal będzie migać, prawdopodobnie jest jakaś usterka.

Jeśli dioda LED sygnalizuje błąd, zaloguj się na stronie internetowej sterownika i sprawdź, czy na dole znajduje się komunikat w kolorze czerwonym. Może to być nieprawidłowa konfiguracja, brak dostępu do Internetu, nadmierny przepływ wody itp. Po usunięciu tego błędu komunikat powinien zniknąć, a dioda LED stanu przestanie migać.

Jeśli nie możesz zalogować się na stronę internetową lub sterownik wydaje się być martwy, odłącz WebMite i podłącz go bezpośrednio do portu USB w komputerze. Następnie użyj Tera Term w celu uzyskania dostępu do konsoli portu szeregowego przez USB w celu zdiagnozowania problemu. Może być konieczne naciśnięcie CTRL-C, aby zakończyć uruchomiony program i uzyskać dostęp do konsoli mmBasic.

Spróbuj ponownie uruchomić program BASIC poleceniem RUN „retic.bas”. Po uruchomieniu programu, w emulatorze terminala powinna pojawić się seria komunikatów opisujących postęp. Pierwszy z nich będzie dotyczył połączenia z siecią Wi-Fi, następnie połączenia z Internetem, po czym pojawi się więcej komunikatów opisujących postęp w pobieraniu lokalizacji i strefy czasowej z Open Weather Map.

Informacje o poprawnym lub błędnym wykonaniu tych operacji powinny dać Ci wskazówki, gdzie szukać błędów. Typowe problemy, które mogą się pojawić to:

- Nie zaprogramowano Pico W prawidłowym oprogramowaniem sprzętowym WebMite.
- Nieprawidłowy identyfikator SSID lub hasło w poleceniu OPTION WIFI.
- - Router nie jest skonfigurowany do obsługi zabezpieczeń WPA-PSK i DHCP.
- Twój router blokuje dostęp WebMite do Internetu.
- Opcje nie zostały ustawione prawidłowo. Użyj OPTION LIST, do sprawdzenia.
- Pliki programu nie zostały skopiowane do urządzenia WebMite. Użyj polecenia FILES do sprawdzenia czy wszystkie cztery pliki zostały poprawnie skopiowane i nie mają zerowych bajtów.

Jeśli WebMite wydaje się działać prawidłowo, gdy jest podłączony do komputera, ale nie w obudowie, przyczyna usterki może być bardzo prosta, np. przewód wewnątrz skrzynki sterownika przeciągnięty w pobliżu anteny Wi-Fi WebMite, może zmniejszać jej czułość.

Jeśli okaże się, że usterka dotyczy płytki sterownika, będziesz musiał powrócić do tradycyjnych procedur wyszukiwania usterek, takich jak sprawdzenie, czy zasilacz działa poprawnie i czy na pinie VSYS urządzenia WebMite występuje napięcie 5 V. Należy również sprawdzić wartości elementów i szczegółowo zbadać lutowanie.

Miejmy nadzieję, że sterownik systemu nawadniania zadziała za pierwszym razem i będziesz mógł się zrelaksować, wiedząc, że Twoje rośliny będą miały tyle wody, ile potrzebują.

Przyszłe aktualizacje oprogramowania można znaleźć na stronie Silicon Chip lub na stronie autora pod adresem http://geoffg.net/retic.html.

Rozważ dołączenie do Back Shed Forum (www.thebackshed.com/forum/Microcontrollers), gdzie wielu entuzjastów WebMite i mmBasic chętnie pomaga nowicjuszom, udzielając porad i wskazówek.

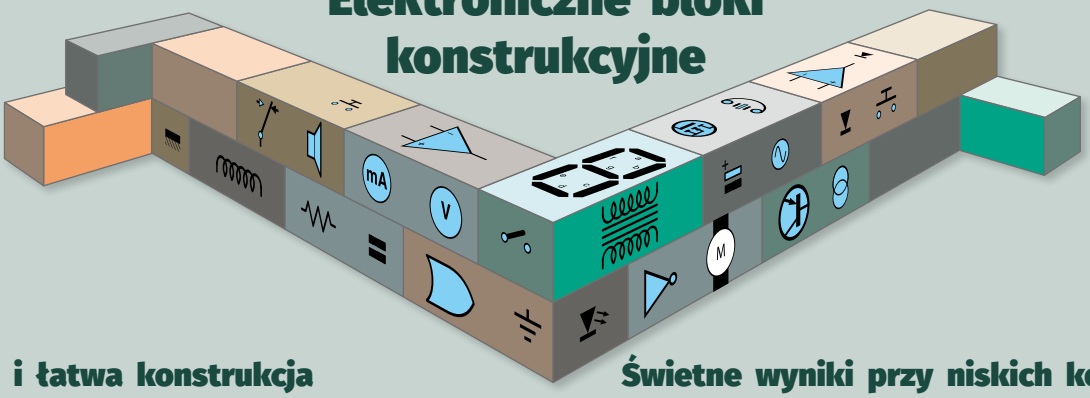
Geoff Graham

Materiały dodatkowe dostępne są na stronie: https://www.siliconchip.com.au/Shop/8/6800

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 d2e0862bc0



Szybka i łatwa konstrukcja

Świetne wyniki przy niskich kosztach

Wybór i stosowanie siłowników, część 1

Przekształcanie sygnałów elektrycznych w ruch fizyczny – liniowy i obrotowy

W praktyce konstruktorskiej stosuje się różne sposoby sterowania siłownikami liniowymi, silnikami krokowymi oraz – coraz częściej – serwomechanizmami. Wciąż jednak często brakuje jasnych wskazówek, jak właściwie dobierać te elementy do konkretnych zastosowań. Ponieważ jest to kluczowy aspekt każdego projektu wykorzystującego elementy wykonawcze, zajmiemy się tym w bieżącym artykule.

W naszym rozumieniu siłownikiem jest każde urządzenie, które może przekształcić prąd elektryczny w ruch fizyczny, o prędkości i sile wystarczającej do realizacji wymaganego zadania. Zadaniem tym może być otwarcie drzwi, udrożnienie otworu wentylacyjnego, poruszanie modelowym lub prawdziwym robotem, poruszanie jakimś elementem w modelu kolejki elektrycznej, sterowanie położeniem reflektora słonecznego lub panela fotowoltaicznego, a nawet podniesienie aerodynamicznego hamulca powietrznego w amatorskim samochodzie wyścigowym. Oprócz siłowników liniowych, silników krokowych i serwomechanizmów do zdalnego sterowania, do listy tej możemy dodać motoreduktory i elektromagnesy. Przyjrzyjmy się tym elementom – to fascynujący temat!

Silniki szczotkowe prądu stałego

Silniki szczotkowe prądu stałego z magnesami trwałymi są szeroko stosowane w siłownikach pracujących w układach automatyki. Silniki te są tanie i mają dużą moc w stosunku do swoich rozmiarów, wahających się w naszym przypadku od kilku do kilkunastu centymetrów (**rysunek 1**).

Silniki prądu stałego charakteryzują się stosunkowo niskim momentem i wysoką prędkością obrotową (więcej informacji na temat mocy i momentu obrotowego znajduje się w zestawieniu).

Dlatego też są często wykorzystywane w mechanizmach wymagających niskiego momentu obrotowego, takich jak wentylatory lub sygnalizatory wibracyjne. W innych przypadkach silniki tego typu są stosowane w połączeniu z przekładniami obniżającymi prędkość obrotową. Przykładowo, silniki prądu stałego z przekładnią redukcyjną są stosowane w serwomechanizmach do zdalnego sterowania, siłownikach liniowych i motoreduktorach (motoreduktor to silnik z przekładnią zamontowaną na stałe na jego osi).

Motoreduktory nie są powszechnie stosowane przez hobbystów, ale warto je rozważyć, jeśli poszukuje się napędu o wysokim momencie i niskiej prędkości obrotowej. Przykładem mogą być silniki od wycieraczek samochodowych (**rysunek 2**). Wykorzystują one przekładnię ślimakową, która zapewnia znaczną redukcję prędkości, a tym samym generuje duży moment obrotowy. A skoro już jesteśmy przy temacie pozyskiwania części z samochodów: jeśli zachodzi potrzeba kontrolowania przepływu gazu przez niewielki kanał,



Rysunek 1. Małe, szczotkowe silniki prądu stałego do zastosowań hobbystycznych są łatwo dostępne i niedrogie. Można je również pozyskać ze starych magnetofonów lub zabawek. Silniki te charakteryzują się niskim momentem i dużą prędkością obrotową, więc jeśli nie mają służyć do napędu wentylatora, zazwyczaj muszą współpracować z przekładnią redukcyjną, aby zapewnić użyteczną moc wyjściową

eprasa.pl d2e0862bc0



Rysunek 2. Mechanizmy do napędu wycieraczek samochodowych wykorzystują silnik prądu stałego i przekładnię ślimakową o wysokim stopniu redukcji. Zapewniają duży moment obrotowy na wale wyjściowym. Silniki te są dostępne w niskich cenach, zarówno nowe, jak i używane

dostępne są niedrogie, używane przepustnice sterowane elektronicznie. Urządzenia te wykorzystują silniki prądu stałego z przekładnią zębatą i zawierają potencjometry sprzężenia zwrotnego (więcej na temat sprzężenia zwrotnego za chwilę).

Sterowanie silnikami prądu stałego

Ogromną zaletą silników prądu stałego jest łatwa możliwość regulacji prędkości obrotowej przez zmianę napięcia zasilania. Przydatna jest technika modulacji szerokości impulsów (PWM), w której wykorzystuje się falę prostokątną o zmiennym współczynniku wypełnienia. Typowa częstotliwość powtarzania impulsów dla małych silników prądu stałego wynosi około 20 kHz. Oznacza to, że zasilanie jest włączane i wyłączane 20 000 razy na sekundę. Oczywiście silnik nie jest w stanie reagować na tak szybkie zmiany i zachowuje się tak, jakby otrzymywał napięcie stałe o mniejszej wartości. Takie regulatory prędkości obrotowej (**rysunek 3**) są tanie i łatwo dostępne w handlu. Regulacja odbywa się ręcznie, z użyciem potencjometru, lub automatycznie, z użyciem mikrokontrolera sterującego pracą mostka typu H, zbudowanego na tranzystorach MOSFET.

Po odwróceniu biegunowości napięcia zasilającego silniki szczotkowe prądu stałego zmieniają kierunek obrotów na przeciwny. Dlatego sterowanie kierunkiem obrotów można osiągnąć za pomocą prostego, dwubiegunowego przełącznika typu DPDT lub przekaźnika (**rysunek 4**), albo mostka typu H sterowanego mikrokontrolerem.



Rysunek 3. Przykładowy moduł do sterowania prędkością obrotową silnika prądu stałego. Działa na zasadzie regulacji współczynnika wypełnienia impulsów napięcia wyjściowego. Ma obciążalność 3 A, kosztuje poniżej 2 funtów. Działa przy napięciu wejściowym od 6 do 28 V, a prędkość obrotową można regulować za pomocą pokrętła. Te sterowniki są łatwo dostępne w handlu

Wady silników prądu stałego

Jakie są wady tych silników? Większość małych silników prądu stałego ma dość ograniczoną żywotność. Zazwyczaj wykorzystują one łożyska ślizgowe, które wymagają okresowego smarowania. Ponadto szczotki węglowe doprowadzające prąd do komutatora zużywają się z biegiem czasu. Sprężyste szczotki w postaci pasków metalu mają jeszcze mniejszą żywotność. Jeśli więc mechanizm ma pracować w trybie ciągłym należy unikać stosowania siłowników szczotkowych na prąd stały.

W przypadku dużego obciążenia lub zablokowania wału silnika pobór prądu szybko wzrasta. Może to spowodować przeciążenie obwodu

Moc i moment obrotowy

Wyobraźmy sobie, że chcemy otworzyć ciężką bramę garażową. Robiąc to ręcznie, podchodzimy do końca bramy, jak najdalej od zawiasów, i ciągniemy pod kątem prostym do powierzchni bramy. Następnie obracamy bramę o 90 stopni, aż zostanie całkowicie otwarta. Proste, prawda?

Zastąpmy teraz ręczne otwieranie bramy mechanizmem automatycznym, na przykład wciągarką z napędem silnikowym. Użyjemy jednej wciągarki do otwierania bramy, a drugiej do jej zamykania. Ponieważ nie chcemy blokować drogi, liny wciągarek będą podłączone blisko zawiasów bramy. Jeśli kiedykolwiek próbowałeś otworzyć bramę, ciągnąc lub pchając ją w pobliżu zawiasów, wiesz, że wymaga to dużej siły, zwłaszcza w początkowej fazie ruchu.

W tym przypadku wciągarka będzie musiała wygenerować dużą siłę skręcającą, zwaną momentem obrotowym. Ale czy brama musi się poruszać aż tak szybko? Niekoniecznie, nie ma problemu, jeśli otwarcie zajmie (powiedzmy) 30 sekund. To dobrze, ponieważ zmniejszy to zapotrzebowanie na moc.

Przyjrzyjmy się temu bliżej. Mówiąc najprościej, moc jest iloczynem momentu i prędkości obrotowej. Dlatego też, podobnie jak w przypadku bramy, jeśli potrzebujemy wysokiego momentu obrotowego i niskiej prędkości, zapotrzebowanie na moc nie będzie duże. W takiej sytuacji użylibyśmy silnika o stosunkowo niskiej mocy, połączonego z przekładnią zębatą, w celu spowolnienia ruchu, a tym samym zwielokrotnienia momentu obrotowego.

Innym przykładem niskiego zapotrzebowania na moc, jest sytuacja, w której potrzebujemy dużej prędkości i niskiego momentu obrotowego. Może to być szybko wirujący wentylator. Prędkość jest duża, ale moment obrotowy jest niski (wentylator łatwo się obraca), więc wprawienie go w ruch wymaga tylko niewielkiej mocy – być może, w przypadku małego wentylatora, zaledwie kilku watów.

W niektórych przypadkach występuje zapotrzebowanie zarówno na duży moment jak i na dużą prędkość obrotową. Jednym z przykładów może być rower elektryczny pokonujący wzniesienie. Prędkość musi być wystarczająco duża, aby rower się nie przewrócił, a moment obrotowy musi być wystarczająco duży, aby pojazd jechał pod górę. Wynikowa moc może wynosić 300 do 400 watów.

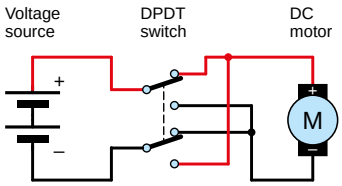
Zatem podstawową decyzją przy wyborze siłownika jest określenie wymaganej mocy i momentu obrotowego:

Wymagany moment obrotowy	Wymagana prędkość	Wymagana moc
Wysoki moment obrotowy	Niska prędkość	Niska moc
Niski moment obrotowy	Wysoka prędkość	Niska moc
Wysoki moment obrotowy	Wysoka prędkość	Wysoka moc

Należy pamiętać, że nie ma potrzeby ścisłego określania tych wartości, czyli dokładnego pomiaru momentu obrotowego i prędkości. Byłoby to konieczne w przypadku sporządzania profesjonalnego projektu systemu napędowego. W naszym przypadku wystarczy orientacyjne wyczucie wymaganej prędkości i momentu obrotowego, a tym samym mocy, aby uniknąć błędów przy wyborze siłowników.

eprasa.pl d2e0862bc0

zasilającego lub przegrzanie silnika, a nawet jego spalenie. Dlatego w sytuacjach, w których silnik może ulec przeciążeniu należy stosować odpowiednie zabezpieczenia, w postaci automatycznych odłączników, lub choćby zwykłych bezpieczników.



Rysunek 4. Kierunek obrotów silnika prądu stałego można zmienić za pomocą dwubiegunowego przełącznika DPDT lub przekaźnika

Przyjrzyjmy się teraz trzem najpopularniejszym zastosowaniom silników prądu stałego, w siłownikach liniowych, serwomechanizmach do zdalnego sterowania, a następnie (w przyszłym miesiącu) w motoreduktorach.

Siłowniki liniowe

W przypadku konieczności przesuwania jakiegoś elementu w linii prostej stosowane są siłowniki liniowe (**rysunek 5**). Łatwo jest kontrolować prędkość i kierunek ich ruchu, są one dostępne w wielu rozmiarach i przy niskiej prędkości generują dużą siłę pociągową. Taka kombinacja siły i prędkości oznacza, że są to urządzenia o stosunkowo niskiej mocy, to z kolei nie stwarza wysokich wymagań dla układów zasilających.

Wewnątrz siłownika liniowego znajduje się silnik prądu stałego, który napędza przekładnię redukcyjną, połączoną z gwintowanym



Rysunek 5. W siłowniku liniowym silnik prądu stałego obraca śrubę pociągową i wysuwa cięgło z korpusu. Ten siłownik liniowy jest wyposażony w potencjometr sprzężenia zwrotnego i kosztuje około 75 funtów



Rysunek 6. Zamocowania siłowników liniowych muszą uwzględniać pewien zakres ruchu obrotowego całego mechanizmu. Zamocowania o małej obciążalności (po lewej) są wykonane z blachy, natomiast zamocowania o dużej obciążalności (po prawej) są odlewane lub wykonane z litego materiału. Sworznie mocujące przechodzą przez otwory wykonane w korpusie siłownika i w wysuwanym cięgle

prętem, często nazywanym śrubą pociągową. Pręt ma zazwyczaj gwint kwadratowy (podobny do używanego w imadle stołowym) i jest wyposażony w nylonową wkładkę z gwintem wewnętrznym, zwaną siodełkiem. Wkładka nie może się obracać dzięki wypustce przesuwającej się wzdłuż prowadnicy i jest połączona z cięgłem wychodzącym na zewnątrz siłownika. Dlatego też, gdy silnik się obraca, siodełko przesuwa się wzdłuż gwintowanego pręta, powodując wysuwanie lub wsuwanie cięgła. Po wyłączeniu zasilania cięgło pozostaje mechanicznie zablokowane w swojej ostatniej pozycji.

Na każdym z końców śruby pociągowej zamontowane są wyłączniki krańcowe. Wyłączają one zasilanie silnika, gdy cięgło jest całkowicie wysunięte lub wsunięte. Odwrócenie polaryzacji zasilania powoduje ruch cięgła w przeciwnym kierunku. Do sterowania ruchem siłownika liniowego można użyć dwupozycyjnego przełącznika uchylnego typu DPDT, pozwalającego na zatrzymanie ruchu w dowolnym momencie. Z kolei przełącznik z dwoma ustawieniami stałymi może służyć do całkowitego wysuwania lub wsuwania cięgła. Schemat połączeń silnika jest pokazany na rysunku 4.

Niektóre siłowniki liniowe są wyposażone w potencjometr sprzężenia zwrotnego, pozwalający na współpracę z elektronicznym sterownikiem, zapewniającym dokładne pozycjonowanie cięgła przy różnych obciążeniach lub przy różnych napięciach zasilania silnika. Przykładowo, może to być sterownik Pololu Jrk 21v3 USB wykorzystujący sterowanie ze sprzężeniem zwrotnym. Jego szczytowa obciążalność wynosi 5 A (wyższe natężenia prądu są dostępne w innych sterownikach Pololu z tej samej serii).

Siłowniki liniowe przeznaczone do zastosowań hobbystycznych nie są przystosowane do pracy ciągłej. Dlatego lepiej jest stosować sterowanie cykliczne w wybranym przedziale czasowym, na przykład sterować mechanizmem reflektora słonecznego lub panelu

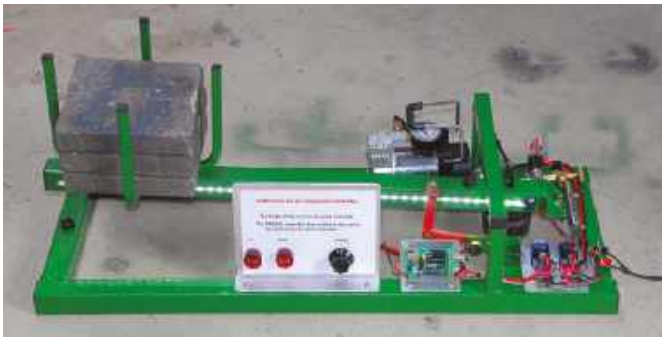
Informacja zwrotna o położeniu

W wielu przypadkach, podczas używania siłowników wymagana jest bieżąca informacja o położeniu elementu ruchomego. Weźmy na przykład siłownik liniowy, w którym prędkość wysuwania cięgła będzie zależała od napięcia zasilania i od obciążenia mechanicznego, któremu poddawany jest siłownik. Dlatego uruchomienie siłownika na określony czas nie gwarantuje uzyskania oczekiwanego przesunięcia. Nawet silnik krokowy, po wykonaniu określonej liczby skoków, może nie znaleźć się w wyznaczonej pozycji. Niezbędna jest informacja o faktycznym położeniu cięgła lub o różnicy położenia faktycznego w stosunku do położenia oczekiwanego..

Informacje mogą być przekazywane do sterownika na wiele sposobów, jednak najczęściej stosuje się analogowy sygnał napięciowy z potencjometru. Przykładowo, jeśli serwomechanizm ma wbudowany potencjometr pełniący rolę czujnika położenia a układ elektroniczny odczytuje jego rezystancję, przez zastosowanie sprzężenia zwrotnego można uzyskać właściwe ustawienie wału wyjściowego.

W systemach automatycznej regulacji położenia z wykorzystaniem sprzężenia zwrotnego, często wykorzystywana jest metoda PID, w której analizowana jest składowa proporcjonalna, całkowa i różniczkowa sygnału określającego prędkość ruchu. Pozwala to na uwzględnienie zarówno statycznej odchyłki w procesie regulacji, jak i tempa zmian parametrów ruchu. W praktyce dobrze skonfigurowany system PID reaguje szybko, bez przekroczenia zadanej wartości i bez oscylacji w procesie regulacji.

eprasa.pl d2e0862bc0



Rysunek 7. Model który sam skonstruowałem ma wyjaśniać działanie systemu sterującego wysokością zawieszenia pneumatycznego w samochodzie. Kompresor (widoczny z tyłu) dostarcza sprężone powietrze do siłownika pneumatycznego (czarny cylinder) przez zawór elektromagnetyczny. Siłownik porusza dźwignią obciążoną kostką brukową (widoczną po lewej stronie). Informacje dotyczące położenia dźwigni są wytwarzane przez potencjometr połączony mechanicznie za pomocą łączników (czerwone ramiona). Po usunięciu kostki obciążającej dźwignię jej ramię unosi się do góry a sterownik powoduje zmniejszenie ciśnienia w siłowniku pneumatycznym, tak by utrzymać to samo ustawienie. Pokrętło dostępne na płycie przedniej pozwala zmieniać ustawienie dźwigni poprzez zmianę ciśnienia powietrza w siłowniku. W takim systemie informacje zwrotne dotyczące położenia dźwigni mają kluczowe znaczenie

fotowoltaicznego tak, aby siłownik zmieniał jego ustawienie co godzinę, a nie co kilkanaście sekund.

Jeśli siłownik liniowy ma działać z dużą siłą, zewnętrzny system mechaniczny musi być przystosowany do takich obciążeń. Na przykład użycie siłownika liniowego do zmiany wysokości blatu biurka przy zmianie pozycji pracy jego użytkownika z siedzącej na stojącą może wiązać się z dość dużymi obciążeniami, zwłaszcza jeśli osoba ta zdecyduje się usiąść na biurku podczas zmiany wysokości! W takiej sytuacji potrzebna będzie solidna konstrukcja mechaniczna.

Popularne siłowniki liniowe mają następujące cechy użytkowe:

- Niskie napięcie robocze, zwykle równe 12 V lub 24 V prądu stałego.
- Pobór prądu mieszczący się w zakresie od 1 A do 7 A.
- Określone maksymalne obciążenie mechaniczne, zwykle wyrażane w niutonach (aby uzyskać wynik w kilogramach należy tą wartość podzielić przez 9,81).
- Określoną maksymalną prędkość ruchu, z obciążeniem i bez obciążenia.



Rysunek 8. Serwomechanizm w wersji mikro. Przez przezroczystą obudowę widać silnik prądu stałego, przekładnię redukcyjną, potencjometr sprzężenia zwrotnego i płytkę drukowaną z układem sterującym (źródło: Wikipedia)

- Określony cykl pracy wyrażony w%, rozumiany jako stosunek czasu trwania ruchu do czasu powtarzania tego ruchu.
- Określone maksymalne wysunięcie cięgła.
- Określone wymiary fizyczne.

Siłowniki liniowe zazwyczaj wymagają przegubowych mocowań na każdym z końców (**rysunek 6**). Wynika to z faktu, że w większości zastosowań jeden z końców siłownika pozostaje nieruchomy, a drugi porusza się po łuku. Przegubowe zamocowania są dostępne w różnych wersjach wytrzymałościowych, od lekkich, wykonanych z blachy, po ciężkie, odlewane lub wykonane z litego materiału.

Siłowniki liniowe są droższe od innych opisanych tutaj siłowników, ale jeśli chodzi o wytworzenie powolnego ruchu w linii prostej, z dużą siłą, stanowią najlepsze rozwiązanie.

Serwomechanizmy do zdalnego sterowania

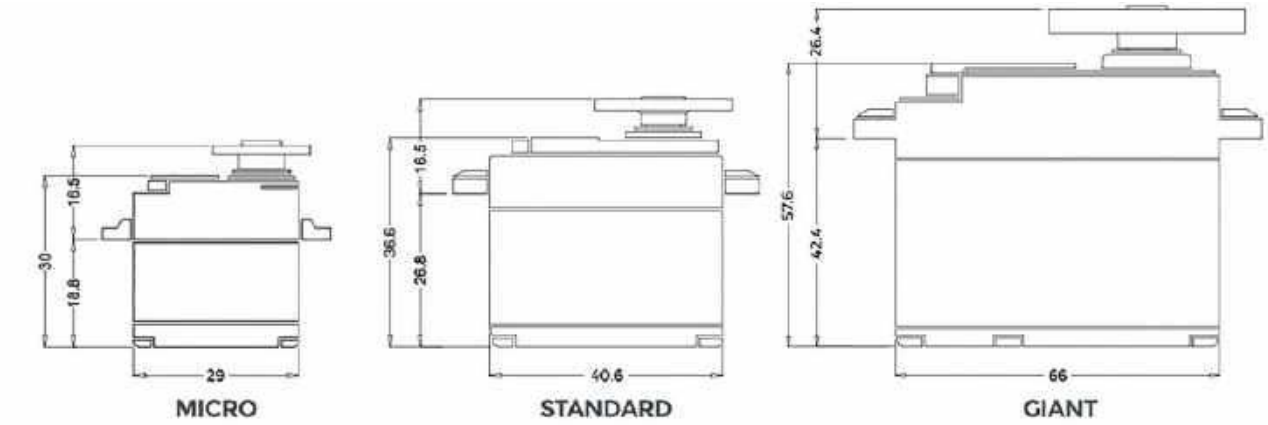
Serwomechanizmy służące do zdalnego sterowania są szczególnie przydatne do realizacji niewielkich przesunięć wymagających znacznej precyzji. Jest to całkowicie zrozumiałe, ponieważ z zasady są przeznaczone do poruszania elementami sterowymi w modelach łodzi i samolotów. W najprostszych serwomechanizmach stosowane są szczotkowe silniki prądu stałego z wbudowanymi przekładniami redukującymi prędkość obrotową w proporcji 100:1 (**rysunek 8**). W większości przypadków stosowane są plastikowe koła zębate, niezdolne do przenoszenia większych obciążeń. Wał wyjściowy jest wyposażony w wypusty, na których można montować ruchome elementy zewnętrzne. Jedynie w niektórych serwomechanizmach stosowane są łożyska kulkowe.

W lepszych, a tym samym droższych serwomechanizmach są stosowane czujniki położenia wału i elektroniczne układy sterujące, a ich obudowy są wykonane z metalu. W wyniku działania sprzężenia zwrotnego silnik obraca się do momentu, w którym wał osiągnie wymagane położenie kątowe. Położenie to jest następnie aktywnie utrzymywane. Jeśli na wał działają siły próbujące nim obrócić serwomechanizm temu przeciwdziała.

Typowe serwomechanizmy wymagają trójprzewodowego połączenia z kontrolerem. Dwa przewody służą do zasilania napięciem stałym o wartości od 4 V do 6 V, a trzeci służy do sterowania. Sygnał sterujący jest ciągiem impulsów o zmiennej szerokości, określającym położenie serwomechanizmu, przy czym 1,5 ms odpowiada punktowi neutralnemu. Oznacza to, że impulsy krótsze niż 1,5 ms powodują obrót serwomechanizmu w jedną stronę, a dłuższe niż 1,5 ms powodują obrót serwomechanizmu w drugą stronę. Nominalny zakres zmian szerokości impulsów wynosi od 1,0 ms do 2,0 ms. Zachowując wysoką dokładność w odmierzaniu czasu trwania impulsów sterujących można uzyskać bardzo precyzyjną regulację położenia elementu wyjściowego serwomechanizmu.

Typowych serwomechanizmów nie można uruchomić bez użycia specjalnego sterownika. W odróżnieniu od silników prądu stałego i siłowników liniowych, serwomechanizm nie obraca się sam z siebie po podłączeniu go do zasilania. W handlu dostępne są liczne sterowniki służące do obsługi serwomechanizmów, które mogą współpracować z ręcznymi elementami sterującymi, takimi jak potencjometry lub przełączniki, lub z mikrokontrolerami. Niektóre sterowniki mogą obsługiwać kilka serwomechanizmów jednocześnie. Dobrym przykładem jest model Pololu Micro Maestro, a także wiele innych urządzeń z serii Maestro. Możliwe jest również bezpośrednie sterowanie serwomechanizmem wprost z poziomu mikrokontrolera. Należy pamiętać, że sterowniki nie muszą zaspokajać zapotrzebowania energetycznego serwomechanizmów, gdyż każdy z nich może być zasilany bezpośrednio, z osobnego źródła prądu.

eprasa.pl d2e0862bc0



Rysunek 9. Serwomechanizmy są dostępne w trzech rozmiarach – mikro, standard i gigant. Wymiary podano w mm **(źródło: Sparkfun)**

Serwomechanizmy są dostępne w wersji standardowej lub w wersji z ciągłym obrotem. Standardowy serwomechanizm ma zakres ruchu równy 90° lub 180°, natomiast serwomechanizm z ciągłym obrotem, jak sama nazwa wskazuje, obraca się w sposób ciągły. W serwomechanizmach z ciągłym obrotem sterowanie dotyczy wyłącznie prędkości i kierunku ruchu. W specyfikacjach serwomechanizmów określane są:

- Moment obrotowy.
- Prędkość ruchu.
- Rozmiary i ciężar.
- Stopień odporności na czynniki środowiskowe.

Maksymalny moment obrotowy i prędkość ruchu zależą od napięcia, którym zasilany jest serwomechanizm. W związku z tym parametry mechaniczne są często podawane zarówno dla napięcia zasilania równego 4,8 V, jak i 6 V.

Moment obrotowy jest podawany w kg·cm. Aby lepiej zrozumieć informacje zawarte w specyfikacji, należy wyobrazić sobie serwomechanizm dysponujący momentem obrotowym równym 4 kg·cm, wyposażony w dźwignię o długości 1 cm. Jeśli wolny koniec tej dźwigni ustawimy poziomo i umieścimy na wadze sprężynowej, a następnie uruchomimy serwomechanizm, wartość siły wskazywanej przez wagę wyniesie 4 kg. Jeśli podwoimy długość dźwigni do 2 cm, wartość siły spadnie do 2 kg. Oznacza to, że długość dźwigni wyrażona w cm, pomnożona przez wartość siły wyrażonej w kg będzie dla tego serwomechanizmu stała i zawsze równa 4. Moment obrotowy uzyskiwany w dużych serwomechanizmach może przekraczać 35 kg·cm.



Rysunek 10. Serwomechanizm z typowymi akcesoriami. Na zdjęciu pokazano różne elementy, jakie można przymocować do wału wyjściowego serwomechanizmu, w tym przelotki i kołnierze oraz śruby montażowe. Aby zamontować serwomechanizm w modelu należy wyciąć prostokątny otwór i umieścić w nim cały zespół, a następnie przymocować go z użyciem zaczepów widocznych na zdjęciu

Prędkość obrotowa jest zazwyczaj określana jako czas potrzebny do obrotu wału serwomechanizmu o 60°. Typowa wartość wynosi około 0,15 sekundy, przy czym szybki serwomechanizm potrzebuje mniej niż 0,1 sekundy, a wolny co najmniej 0,25 sekundy.

Serwomechanizmy są dostępne w trzech rozmiarach – mikro, standard i gigant (**rysunek 9**). Urządzenia spełniające wymagania dla klasy IP67 są pyłoszczelne i odporne na zanurzenie w wodzie na głębokość jednego metra przez 30 minut. Jednak większość niedrogich serwomechanizmów nie jest odporna nawet na przeciętne warunki atmosferyczne.

Co ciekawe, natężenie prądu pobieranego przez serwomechanizmy w normalnych warunkach pracy nie jest w ogóle podawane, zaś typowe prądy przeciążeniowe (czyli maksymalne możliwe) wynoszą od kilkaset miliamperów dla serwomechanizmów mikro, do 10 A dla serwomechanizmów gigant.

Ceny serwomechanizmów służących do zdalnego sterowania są bardzo zróżnicowane. Za standardowy serwomechanizm można zapłacić zaledwie 8 funtów, a za wersję gigant nawet 120 funtów. Niezależnie od ich ceny, korzystając z serwomechanizmów należy pamiętać, że nawet w ulepszonej wersji są to urządzenia przeznaczone do pracy w zabawkach i modelach. Nawet jeśli parametry dotyczące momentu i prędkości obrotowej serwomechanizmu wskazują, że można go użyć do otwierania bramy lub unoszenia blatu na którym stoi telewizor, żywotność serwomechanizmu pracującego w takich warunkach będzie dość krótka. Z drugiej strony, poruszanie kończynami małego robota lub animowanie elementów ruchomych w modelu kolejki elektrycznej stanowi dobre zastosowania dla naszych serwomechanizmów.

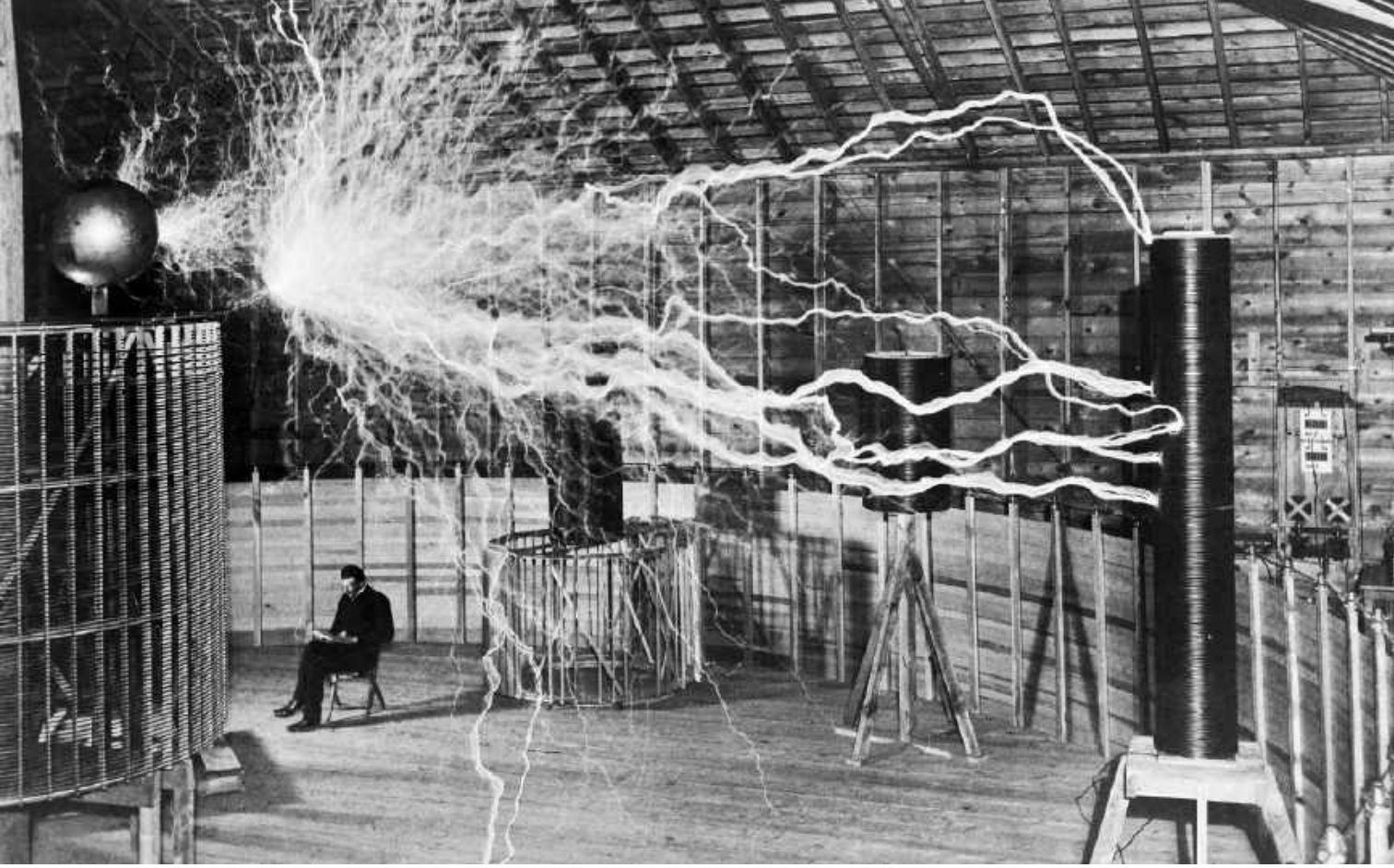
W przyszłym miesiącu

W części 2 przyjrzymy się przekładniom i silnikom krokowym, a także omówimy prosty sposób wyłączania siłowników w pozycjach całkowicie otwartej i zamkniętej. ■

Julian Edgar

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

eprasa.pl d2e0862bc0



Wynalazcy i ich wynalazki w elektronice, część 2

Fizyk Isaac Newton napisał: „Jeśli widziałem dalej, to tylko dlatego, że stałem na ramionach gigantów”. Nie inaczej jest w dziedzinie elektroniki. Nie moglibyśmy mieć tych wszystkich technologii, które mamy dzisiaj, bez wkładu tysięcy genialnych ludzi. To właśnie im poświęcamy prezentowaną serię artykułów.

W poprzednim numerze opublikowaliśmy pierwszy artykuł z trzyczęściowej serii, zawierający listę ważnych wynalazków związanych z elektroniką, dokonanych przez indywidualnych wynalazców urodzonych przed 1848 rokiem. W niniejszej części przedstawimy najważniejszych wynalazców urodzonych później. W trzeciej części omówimy znaczące wynalazki przypisywane firmom, uniwersytetom i innym organizacjom.

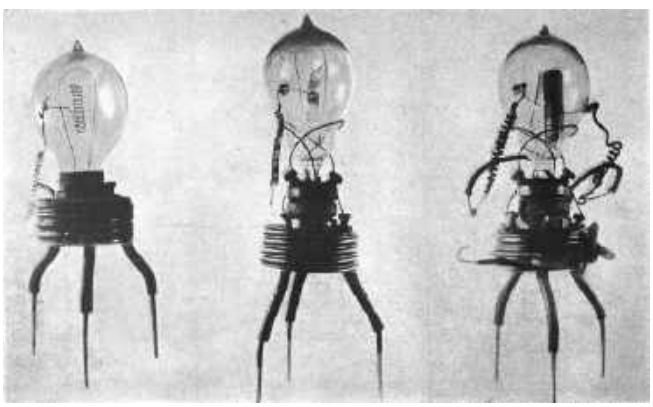
Oto nasza lista wynalazców, uszeregowana według dat urodzenia (po 1848 roku):

Shelford Bidwell, 1848–1909, fotokomórka

W latach siedemdziesiątych XIX wieku eksperymentował z fotokomórkami selenowymi, a w 1880 roku poinformował, że powtórzył doświadczenie z „fotofonem” Alexandra Grahama Bella (www.siliconchip.au/link/abnc). W innym eksperymencie użył selenowej fotokomórki do zeskanowania obrazu i przesłał go przewodowo do innego urządzenia, które odtworzyło odebrany obraz na papierze.

Wyniki swojej „tele-fotografii” przedstawił w 1881 roku (www.siliconchip.au/link/abnd). Jako pierwszy użył fotokomórki do skanowania obrazu (czego nie zrobili Bain i Bakewell; patrz poprzedni odcinek). Wynalazł również urządzenie, które mogło zeskanować oryginalny dokument bez przerysowywania go na specjalny nośnik, analogicznie jak we współczesnym faksie.

W 1908 roku opublikował książkę „Telegraphic Photography and Electric Vision”



Rysunek 1. Pierwsze diody próżniowe Fleminga z 1904 r. Źródło: https://w.wiki/7DAU

eprasa.pl d2e0862bc0

(„Fotografia telegraficzna i elektryczna wizja") (www.siliconchip.au/link/abne) na temat transmitowania obrazów ruchomych (a więc telewizji) i dużej ilości informacji z tym związanej.

Chichester A. Bell, 1848–1924, magnetofon

Razem z Sumnerem Tainterem (1854–1940) otrzymali w 1886 roku amerykański patent nr 341,214 na urządzenie do nagrywania i odtwarzania dźwięku, w którym dźwięk rejestrowano na pasku papieru pokrytym woskiem, przewijanym ze szpuli na szpulę.

Był to najwcześniejszy magnetofon taśmowy. Urządzenie zostało jednak uznane za gorsze od cylindra woskowego Edisona i nie weszło do szerszego użytku.

Sir John Ambrose Fleming, 1849–1945, lampa termoelektryczna, komunikacja transatlantycka

W 1904 roku wynalazł pierwszą lampę termoelektryczną, inaczej zwaną „próżniową" (**rysunek 1**). Fleming nazwał ją „zaworem oscylacyjnym do prostowania drgań elektrycznych o wysokiej częstotliwości, stosowanych w telegrafii bezprzewodowej". Był to najprostszy rodzaj lampy – dioda.

Powstanie lampy Fleminga jest uważane za początek elektroniki, ponieważ lampa była pierwszym aktywnym elementem elektronicznym. Lampy Fleminga w roli detektorów radiowych nie były czulsze niż detektory kryształkowe. Nie wymagały jednak ciągłego nastawiania, co predestynowało je do użytku w miejscach, gdzie występują wibracje, np. na statkach.

W 1899 r. na zlecenie Marconiego Fleming zaprojektował pierwszy nadajnik radiowy o dużej mocy, znacznie mocniejszy niż nadajniki o mocy 200–400 W dotychczas używane przez Marconiego. Był to nadajnik ze szczeliną iskrową, zasilany prądnicą o mocy 25 kW. W 1901 r. z nadajnikiem tym przeprowadzono pierwszą transatlantycką transmisję radiową na odległość 3500 km. Sukces ten został w całości przypisany Marconiemu pomimo zaangażowania Fleminga.

Charles Fritts, 1850–1903, półprzewodnikowe ogniwa słoneczne

W 1883 roku stworzył pierwsze na świecie półprzewodnikowe ogniwa słoneczne, wykonane z selenu i cienkiej warstewki złota. Miały one sprawność na poziomie 1%, co czyniło je zbyt drogimi i nieefektywnymi jako źródła energii, lecz były używane jako czujniki światła w aparatach fotograficznych i w innych zastosowaniach aż do lat 60. XX wieku.

Oliver Heaviside, 1850–1925, równania matematyczne, warstwa E jonosfery i inne

Przeformułował i uprościł równania Maxwella, nadając im nowoczesną formę i tworząc „równania Maxwella-Heaviside'a".

Wynalazł również „funkcję schodkową Heaviside'a", służącą do obliczania przebiegu prądu pobieranego po włączeniu obwodu elektrycznego. Sformułował teorię linii transmisyjnej i „równanie telegrafistów" (układ równań różniczkowych opisujących prąd i napięcie w tzw. linii długiej; przypis redaktora). Opracowanie teorii linii transmisyjnej umożliwiło zwiększenie szybkości przesyłania informacji w transatlantyckim kablu telegraficznym dziesięciokrotnie – do jednego znaku na minutę.

Heaviside odkrył też, że można poprawić parametry transmisji w linii telefonicznej dzięki włączeniu w kabel indukcyjności szeregowej. Heaviside oraz Arthur Edwin Kennelly (1861–1939) niezależnie od siebie przewidzieli obecność „warstwy Heaviside'a" (warstwy Kennelly'ego-Heaviside'a, warstwy E) w jonosferze, odbijającej radiowe fale średnie.

William Edward Sawyer, 1850–1883, dystrybucja energii elektrycznej

Sawyer pracował nad telegrafią i oświetleniem elektrycznym. Wraz z Albonem Manem założył firmę Electro-Dynamic Light Company (1878–1882), wykupioną później przez Westinghouse. Firma zajmowała się oświetleniem i dystrybucją energii elektrycznej w miastach. System oświetleniowy Sawyera zawierał wyłączniki bezpieczeństwa i regulatory prądu.

Jego firma posiadała patenty na żarówki z 1877 i 1878 roku, wyprzedzające patenty Edisona. Źródło światła Sawyera nie było jednak trwałe. Wynalazca nigdy nie rozwiązał tego problemu.

Karl Ferdinand Braun, 1850–1918, lampa kineskopowa, oscyloskop i inne

W 1874 r. odkrył właściwości prostownicze złącza metal-półprzewodnik (dioda Schottky'ego), wykorzystując jako metal rtęć, a jako półprzewodnik siarczek miedzi lub siarczek żelaza.

Wynalazł również w 1897 roku lampę elektronopromieniową (kineskopową) i oscyloskop. Pracował nad telegrafią bezprzewodową. W 1898 roku wynalazł detektor kryształkowy. W 1905 roku opracował antenę fazową.

Edward Weston, 1850–1936, ogniwo Westona, konstantan, manganin

W 1893 roku wynalazł ogniwo Westona – wysoce stabilne ogniwo elektrochemiczne używane jako napięcie odniesienia. W latach 1911-1990 ogniwo stanowiło międzynarodowy standard napięcia elektrycznego.

W 1887 r. Weston wynalazł stop konstantan, charakteryzujący się niską zależnością rezystancji właściwej od temperatury, wykorzystywany w termoparach. W 1892 r. wynalazł też stop manganin, który przy zmianach temperatury praktycznie nie zmienia rezystancji. Jest on wykorzystywany w rezystorach precyzyjnych.

W 1888 r. Weston założył firmę Weston Electrical Instrument Corporation, która zasłynęła z szerokiej gamy wysokiej jakości mierników elektrycznych.

Sir Oliver Joseph Lodge, 1851–1940, głośnik z ruchomą cewką i inne

Lodge odkrył promieniowanie elektromagnetyczne niezależnie od Hertza. Stworzył również ulepszony detektor fal Hertza w postaci rurki z metalowymi opiłkami. Nazwał go „kohererem", nawiązując do wcześniejszych prac Branly'ego (patrz poprzedni odcinek artykułu). Pod wpływem sygnału



Fotografia 1. Karl Ferdinand Braun, założyciel firmy Telefunken. Źródło: www.cathodique.net/FBraun.jpg



Fotografia 2. Odbiornik „Telekino" w Muzeum Torres Quevedo w Madrycie. Źródło: https://w.wiki/7DAV

eprasa.pl d2e0862bc0

radiowego przewodność między dwiema elektrodami zmieniała się. Aby przyrząd nie tracił czułości, musiał być regularnie ostukiwany. Koherery były używane do 1907 roku, kiedy to zastąpił je detektor kryształkowy Marconiego.

Lodge stworzył również w 1898 roku głośnik z ruchomą cewką.

W 1898 roku wynalazł i opatentował „strojenie syntoniczne" umożliwiające dostrajanie sprzętu radiowego do określonych częstotliwości. Wynalazek ten wywołał spór patentowy z Marconim.

Lodge opracował też formę elektrycznego zapłonu iskrowego dla silników spalinowych.

Emile Berliner, 1851–1929, mikrofon, płyta gramofonowa Berlinera

Opracował ulepszony typ „nadajnika telefonicznego" (mikrofonu). Jego patent został przejęty przez Bell Telephone Company, a później zakwestionowany przez Thomasa Edisona, który sprawę wygrał. W latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych XIX wieku w USA miało miejsce wiele skomplikowanych i kosztownych spraw sądowych dotyczących wynalazku telefonu. Patrz https://w.wiki/7DYJ.

W 1887 i 1888 roku Berliner otrzymał amerykańskie patenty nr 372,786 i 382,790 na „płytę gramofonową Berlinera". Był to płaski dysk, taki jak współczesna płyta winylowa, chociaż miał tylko 18 cm średnicy, odtwarzał dwie minuty nagrania z każdej strony i obracał się z prędkością 60 do 75 obrotów na minutę. Stanowił konkurencję dla nagrań na cylindrze woskowym. Istnieje projekt umieszczenia około 18 000 nagrań z płyt Berlinera na portalu Flickr: www.siliconchip.au/link/abpa.

Leonardo Torres y Quevedo, 1852–1936, pilot zdalnego sterowania „Telekino", gra „El Ajedrecista"

W 1903 roku wynalazł i zademonstrował system zdalnego sterowania zwany „Telekino" (**fotografia 2**). Niezwykle zaawansowany jak na tamte czasy, był drugim pilotem zdalnego sterowania po tym, jak podobny układ wynalazł Tesla w 1898 roku. Można było wysłać 19 różnych poleceń, a sekwencja poleceń była rejestrowana. W 1901 roku Quevedo przetestował system na sterowcach.

W 1905 roku zademonstrował zdalne sterowanie z pojazdem trójkołowym, a w 1906 roku z łodzią z pasażerami na pokładzie. Dalsze prace porzucił z powodu braku pieniędzy. Poza tym najprawdopodobniej wynalazł pierwszą grę komputerową. Nazywała się „El Ajedrecista" i mogła wykonywać określone ruchy szachowe (**rysunek 2**). Figurami poruszały mechaniczne ramiona, a czujniki wykrywały ruchy przeciwnika. System ten działa do dziś i można go zobaczyć w Muzeum Torres Quevedo w Madrycie.

Temistocle Calzecchi-Onesti, 1853–1922, eksperymenty prowadzące do powstania „koherera"

Od 1884 r. prowadził eksperymenty nad przewodnictwem elektrycznym rurek wypełnionych opiłkami metalu i ich zachowaniem w obecności różnych zjawisk elektrycznych. Doświadczenia te doprowadziły do wynalezienia „koherera" przez Branly'ego (patrz wpisy wcześniejsze).

Heike Kamerlingh Onnes, 1853–1926, nadprzewodnictwo

W 1911 roku odkrył nadprzewodnictwo – całkowity zanik oporu elektrycznego niektórych materiałów w określonej niskiej temperaturze. Jest ono wykorzystywane do generowania silnych pól magnetycznych np. w skanerach MRI. Obecnie opracowuje się nadprzewodniki wysokotemperaturowe o mniej rygorystycznych wymaganiach na chłodzenie.

Jonas Wenström, 1855–1893, trójfazowy układ elektryczny

W 1890 roku otrzymał szwedzki patent na trójfazowy układ elektryczny. Opracował go niezależnie od Michała Doliwo-Dobrowolskiego (patrz dalszy wpis).

Edwin Herbert Hall, 1855–1938, efekt Halla

W 1879 r. odkrył zjawisko znane obecnie jako efekt Halla, stanowiące podstawę działania nowoczesnych detektorów pola magnetycznego i silników Halla na statkach kosmicznych. Zjawisko Halla polega na tym, że w przewodniku, przez który płynie prąd, umieszczonym w polu magnetycznym prostopadłym do kierunku przepływu prądu, powstaje poprzeczna różnica potencjałów; patrz **rysunek 3**.

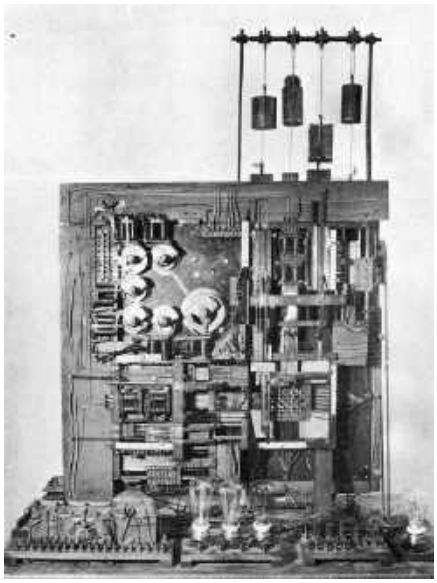
Paul-Jacques Curie, 1855–1941, piezoelektryczność

W 1880 roku wraz ze swoim bratem Pierrem Curie (1859–1906) – mężem Marii Skłodowskiej-Curie; przypis redaktora – odkrył piezoelektryczność, wykorzystywaną m.in. w przetwornikach drgań akustycznych, np. gitarowych. Obaj uczeni badali również piroelektryczność.

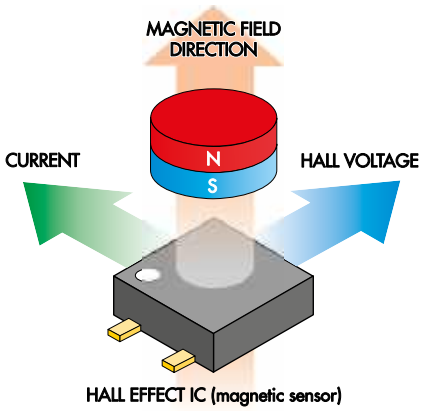
Nikola Tesla, 1856–1943, wielofazowy układ elektryczny, cewka Tesli i inne

Tesla był wynalazcą niezwykle płodnym i uznaje się go za geniusza. Opracował wielofazowy system elektryczny (prąd zmienny z więcej niż jedną fazą) i zasilane nim silniki indukcyjne, licencjonowane przez Westinghouse w 1888 roku.

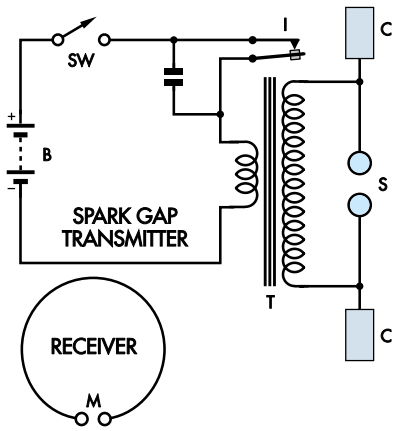
Od 1890 r. próbował opracować bezprzewodowy system oświetleniowy wykorzystujący



Rysunek 2. Niezwykła maszyna „El Ajedrecista" do gry w szachy. Źródło: www.torresquevedo.org/LTQ10/images/PrimerAjedrecista.jpg (CC BY-SA 3.0)



Rysunek 3. Zasada działania układu scalonego wykorzystującego efekt Halla. Oryginalne źródło: www.ablic.com/en/semicon/products/sensor/magnetism-sensor-ic/intro/



Rysunek 4. Nadajnik iskrowy Hertza z 1887 roku z cewką, anteną dipolową, kondensatorem na końcach anteny (C), iskrownikiem (S) i odbiornikiem z rezonansową anteną pętlową z mikrometrem iskrowym (M) mierzącym natężenie sygnału. System działał na częstotliwości około 50 MHz. Źródło: https://w.wiki/7DAW (CC-BY-SA-3.0)

eprasa.pl d2e0862bc0



Rysunek 5. Aparatura mikrofalowa 60 GHz autorstwa Jagadisha Bose. Galwanometr i baterię dodano współcześnie. Nadajnik po prawej stronie generuje mikrofale pochodzące z iskier przeskakujących między kuleczkami metalowymi. Nad galwanometrem, wewnątrz anteny tubowej, umieszczony jest galenowy detektor ostrzowy. Źródło: https://w.wiki/7DAY (CC-SA-3.0)

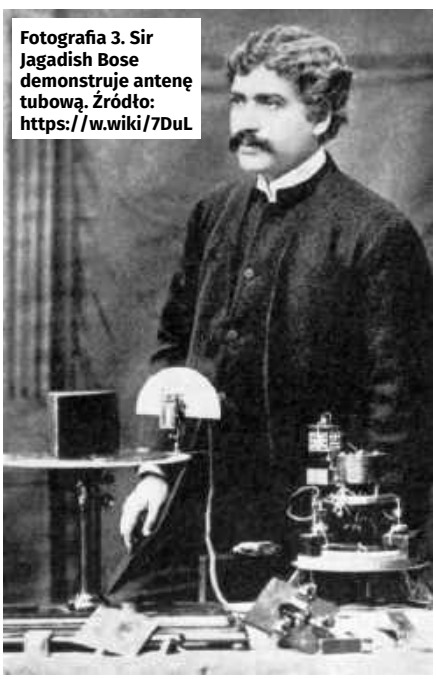


Rysunek 6. Trójfazowy generator Haselwandera z nieruchomą armaturą pierścieniową i czterobiegunowym wirnikiem, zaprezentowany w 1891 roku na Międzynarodowej Wystawie Elektrotechnicznej we Frankfurcie. Źródło: https://w.wiki/7DAZ

lampy Geisslera zasilane przez cewkę Tesli, którą wynalazł w 1891 roku.

Zdjęcie główne tego odcinka artykułu przedstawia Teslę w 1899 roku w swoim zakładzie w Colorado Springs z „nadajnikiem powiększającym" – cewką Tesli. Zdjęcie wykonano przy użyciu podwójnej ekspozycji. Cewka wytwarzała wyładowania łukowe o napięciu 12 MV (megawoltów) i częstotliwości 150 kHz, osiągające długość do 41 m przy mocy dostarczanej 300 kW.

W 1893 roku Tesla był doradcą w projekcie elektrowni wodnej przy wodospadzie Niagara. W 1898 r. opracował pierwsze bezprzewodowe zdalne sterowanie radiowe dla łodzi. Nazwał je „teleautomatyką". W 1906 r. zademonstrował bezłopatową turbinę dla elektrowni. Turbina obracała się z prędkością 16 000 obr/min i wytwarzała moc 150 kW.



Fotografia 3. Sir Jagadish Bose demonstruje antenę tubową. Źródło: https://w.wiki/7DuL

Od jego nazwiska pochodzi nazwa jednostki natężenia strumienia magnetycznego – tesla (T).

Sir Joseph John Thomson, 1856–1940, falowód akustyczny

Przyczynił się do rozwoju fizyki atomowej. W 1893 r. opracował koncepcję falowodu akustycznego. W 1894 r. konstrukcję falowodu zweryfikował doświadczalnie Oliver Lodge. W 1897 roku Thomson zasugerował istnienie elektronu. Przeprowadzał również eksperymenty z „promieniami katodowymi".

Heinrich Rudolph Hertz, 1857–1894, nadajnik iskrowy, fale radiowe

Hertz udowodnił istnienie fal radiowych, przewidywanych od roku 1887 przez równania Maxwella. Zademonstrował takie właściwości fal radiowych jak polaryzacja, odbicie i zjawisko fali stojącej. W 1887 roku Hertz zbudował pierwszy nadajnik z iskrownikiem (**rysunek 4**). Jego nazwiskiem nazwano jednostkę częstotliwości – herc (Hz).

William Stanley Jr, 1858–1916, transformator, system energetyczny prądu zmiennego

W 1885 roku zbudował pierwszy transformator prądu przemiennego o znaczeniu praktycznym, w oparciu o prototyp Gibbsa i Gaularda; patrz patent USA nr 349,611. W 1886 roku w Great Barrington w stanie Massachusetts zademonstrował kompletny system energetyczny prądu zmiennego z generatorami, transformatorami i liniami przesyłowymi wysokiego napięcia, który posłużył do oświetlenia biur i sklepów.

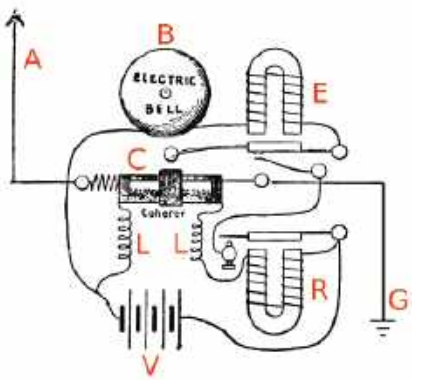
Sir Jagadish Chandra Bose, 1858–1937, fale milimetrowe, elementy mikrofalowe i inne

W 1894 roku wytworzył milimetrowe fale elektromagnetyczne (o długości 5 mm czyli częstotliwości 60 GHz), ponieważ wygodniej mu się z nimi pracowało w laboratorium (**rysunek 5**).

W 1895 roku zademonstrował, że fale milimetrowe mogą przenikać przez ludzkie ciało i ściany. W trakcie tych eksperymentów osiągnął zasięg 23 metrów. Bose nie był zainteresowany opatentowaniem owoców ani czerpaniem zysków ze swoich niesamowitych prac. W 1901 roku przekonano go jednak do zgłoszenia wniosku o patent na diodę metalowo-półprzewodnikową. Przyznano mu go w 1904 roku (patent USA nr 755,840).

Opracował półprzewodnikowy detektor mikrofalowy z kryształu galeny, a także wiele innych znanych obecnie elementów mikrofalowych, jak falowody, anteny tubowe, soczewki dielektryczne i polaryzatory. Wiele z tych przyrządów można zobaczyć w Muzeum Instytutu Bose w Kalkucie w Indiach (www.jcbose.ac.in/museum).

Laureat Nagrody Nobla Sir Neville Mott powiedział, że Bose wyprzedzał swoje czasy o 60 lat i że przewidział typy półprzewodników p i n. Jedna z jego koncepcji



Rysunek 7. „Odbiornik koherentny" Aleksandra Stiepanowicza Popowa z 1895 r. – jeden z pierwszych odbiorników radiowych, zaprojektowany do wykrywania uderzeń piorunów. Objaśnienia: A) antena, B) dzwonek, C) koherer (detektor), E) elektromagnes, G) uziemienie, L) dławiki zapewniające odporność na zakłócenia, R) przekaźnik, V) bateria. Źródło: https://w.wiki/7DAa

eprasa.pl d2e0862bc0

zawarta w artykule, który napisał w 1897 roku, została wykorzystana w wielowiązkowym odbiorniku pasma 1,3 mm w 12-metrowym teleskopie National Radio Astronomy Observatory (NRAO) w Tucson w Arizonie.

Friedrich August Haselwander, 1859–1932, elektryczna lampa łukowa

W 1880 roku skonstruował elektryczną lampę łukową. W 1887 roku wynalazł i uruchomił w praktyce synchroniczny generator trójfazowy (**rysunek 6**). Generator wytwarzał moc około 2,8 kW. Pracował z prędkością 960 obr/min i wytwarzał napięcie o częstotliwości 32 Hz.

Aleksander Popow, 1859–1906, detektor wyładowań atmosferycznych (odbiornik radiowy)

W 1895 roku zbudował bezprzewodowy detektor piorunów (**rysunek 7**) – jeden z pierwszych odbiorników radiowych. W 1896 roku przetransmitował sygnały radiowe na odległość 250 metrów. Niektóre z jego prac opierały się na odkryciach Sir Olivera Josepha Lodge'a.

W 1898 r. przy użyciu telegrafii bezprzewodowej przeprowadził komunikację między statkiem a lądem na odległość 10 km, a w 1899 r. powtórzył ten wyczyn na odległość 48 km. W krajach byłego ZSRR siódmy maja jest obchodzony jako Dzień Radia – na pamiątkę dnia, w którym Popow po raz pierwszy zademonstrował swój wykrywacz piorunów.

Herman Hollerith, 1860–1929, maszyny tabulacyjne wykorzystujące karty perforowane

Opracował system zapisu i przetwarzania danych z wykorzystaniem kart perforowanych. Został on po raz pierwszy zastosowany podczas spisu ludności w USA w 1890 roku. Technika ta rozwinęła się później w postaci komputerowych kart perforowanych firmy IBM i była stosowana jeszcze na początku lat 80. XX wieku. Więcej informacji na temat kart perforowanych można znaleźć w artykule w Silicon Chip ze stycznia 2023 roku, poświęconym pamięciom komputerowym (www.siliconchip.au/Series/393).

Ottó Titusz Bláthy, 1860–1939, nowoczesny transformator, regulator napięcia i inne

W 1885 roku Bláthy oraz Károly Zipernowsky (1853–1942) i Miksa Déri (1854–1938) złożyli wniosek patentowy na pierwsze nowoczesne transformatory, znacznie sprawniejsze niż konstrukcje Gaularda czy Gibbsa. Wymienieni panowie zaprojektowali również pierwszą elektrownię z generatorami prądu przemiennego „do zasilania połączonej równolegle wspólnej sieci elektrycznej".

Bláthy wynalazł również regulator napięcia, licznik watogodzin prądu przemiennego (1889), kondensator silnikowy



Fotografia 4. Paul Gottlieb Nipkow, uważany za jednego z „ojców" telewizji. Źródło: https://w.wiki/7DuZ

do jednofazowych silników prądu przemiennego i turbogenerator do elektrowni parowych.

Paul Julius Gottlieb Nipkow, 1860–1940, tarcza Nipkowa

W 1883 roku wynalazł „tarczę Nipkowa". Był to dysk ze spiralnym układem otworów, który analizował obraz, dzieląc go na serię punktów. Umożliwiało to optoelektroniczne skanowanie, przesyłanie i odtworzenie obrazu. W tamtych czasach zainteresowanie wynalazkiem było jednak niewielkie.

System Nipkowa stał się w latach 20. i 30. ubiegłego wieku podstawą pierwszych elektrooptycznych systemów telewizyjnych. Zobacz artykuły na temat technik wyświetlania w Silicon Chip z września i października 2022 r. (www.siliconchip.au/Series/387) oraz w EdW 9/2024.

Peter Cooper Hewitt, 1861–1921, lampa rtęciowa, prostownik rtęciowy

W 1901 r. wynalazł lampę rtęciową – poprzedniczkę lampy fluorescencyjnej. W 1902 r. skonstruował prostownik rtęciowy – pierwszy dostępny handlowo prostownik niemechaniczny. W 1916 r. był zaangażowany w rozwój automatycznego samolotu Hewitt-Sperry – pierwowzoru pocisku manewrującego.

Michał Doliwo-Dobrowolski, 1862–1919, asynchroniczny silnik trójfazowy

W 1888 roku wynalazł asynchroniczny silnik trójfazowy. Silnik miał jednak przy niskich prędkościach mały moment obrotowy. Problem ten został rozwiązany w 1891 roku w wariancie tego silnika z pierścieniem ślizgowym. W modelu tym udało się osiągnąć duży moment obrotowy również przy niskich prędkościach. W tym samym roku Dobrowolski opracował także transformator o uzwojeniach łączonych w trójkąt/przeciwsobnie, przeznaczony do trójfazowych systemów dystrybucji energii.

Przypis redaktora: Doliwo-Dobrowolski był synem Polaka i Rosjanki, miał zatem silne polskie korzenie.

Philipp Lenard, 1862–1947, aluminiowe okno Lenarda w rurce Crookesa

Lenard rozpoczął w 1888 roku badania nad promieniami katodowymi i opracował zmodyfikowaną lampę Crookesa, zawierającą szczegół obecnie znany jako „okno Lenarda" – cienkie aluminiowe okno, które umożliwiało badanie promieniowania z zewnątrz lampy.

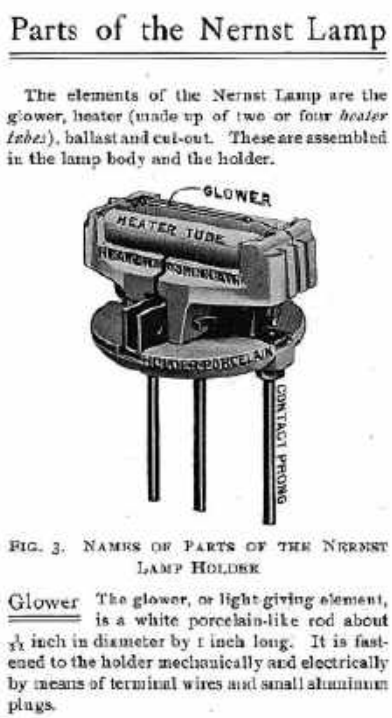
Alan Campbell-Swinton, 1863–1930, przesyłanie obrazów telewizyjnych

W 1903 roku Alan Archibald Campbell-Swinton eksperymentował z lampami kineskopowymi w ramach prac nad przesyłaniem obrazów telewizyjnych.

Zainspirowany przez Shelforda Bidwella, 18 czerwca 1908 roku w swoim liście zatytułowanym „Distant Electric Vision" („Odległa wizja elektryczna") opublikowanym w tygodniku Nature (www.siliconchip.au/link/abpb), stwierdził, że występujące w mechanicznej telewizji problemy zostaną rozwiązane dzięki systemom elektronicznym opartym na kineskopach.

Walther Hermann Nernst, 1864–1941, żarowa lampa Nernsta

W 1897 roku wynalazł „lampę Nernsta" (**rysunek 8**), stanowiącą ulepszony wariant lampy żarowej. Sposób jej działania jest bardzo interesujący. Element grzejny rozgrzewa ceramiczny pręt wykonany z tlenku cyrkonu i tlenku itru. Rezystancja pręta zmniejsza się w miarę jego nagrzewania, a element grzejny jest wyłączany. Płynący prąd podtrzymuje świecenie pręta ceramicznego za sprawą nagrzewania rezystancyjnego.


Parts of the Nernst Lamp

The elements of the Nernst Lamp are the glower, heater (made up of two or four *heater tubes*), ballast and cut-out. These are assembled in the lamp body and the holder.

FIG. 3. NAMES OF PARTS OF THE NERNST LAMP HOLDER

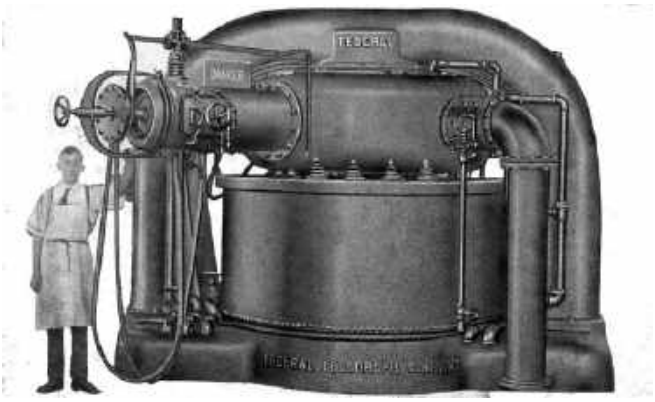
Glower — The glower, or light-giving element, is a white porcelain-like rod about 1/4 inch in diameter by 1 inch long. It is fastened to the holder mechanically and electrically by means of terminal wires and small aluminum plugs.

Rysunek 8. „Lampa Nernsta" – wczesna forma źródła światła żarowego. Źródło: https://w.wiki/7DAb

eprasa.pl d2e0862bc0



Rysunek 9. Magnetofon drutowy Valdemara Poulsena, wynaleziony w 1898 roku. Źródło: https://w.wiki/7DAd (CC-BY-SA-2.5)



Rysunek 10. Nadajnik łukowy Poulsena z 1919 r. o mocy ciągłej 500 kW i chwilowej 1 MW, przeznaczony dla Marynarki USA. Źródło: https://w.wiki/7DAe

Lampa może działać w środowisku powietrznym, ponieważ ceramiczny pręt nie ulega degradacji typowej dla żarnika metalowego. Lampa Nernsta nie jest już używana jako źródło światła widzialnego, ale nadal wykorzystuje się ją w spektroskopii do wytwarzania światła podczerwonego, ponieważ emituje podczerwień w szerokim zakresie. Patrz film „Lampa Nernsta" na stronie https://youtu.be/1vCQySb6ulA.

Charles Proteus Steinmetz, 1865–1923, równanie Steinmetza

W 1890 roku przyczynił się do powstania teorii histerezy w obwodach prądu przemiennego i rozwiązał problemy praktyczne związane z wydzielaniem się ciepła w silnikach prądu zmiennego. Prace te zaowocowały skonstruowaniem przez niego potężnego silnika do wind dla firmy Otis Elevators, umożliwiającego dotarcie windy na najwyższe piętra wieżowca.

Jego prace doprowadziły też do powstania „równania Steinmetza" do obliczania strat w materiałach magnetycznych używanych do rdzeni, opublikowanego w 1892 roku (patrz plik PDF na www.siliconchip.au/link/abnf). Pracował nad teorią i analizą obwodów prądu przemiennego, znacznie upraszczając metody stosowane dotychczas. Swoje odkrycia ogłosił w 1893 roku. Badał również teorię stanów nieustalonych prądu przemiennego i inne zjawiska przejściowe, m.in. pioruny.

Reginald Aubrey Fessenden, 1866–1932, radio, sonar i inne

W 1900 r. po raz pierwszy przetransmitował mowę drogą radiową, a w 1906 r. przeprowadził pierwszą dwukierunkową komunikację radiotelegraficzną przez Atlantyk. W 1912 r. wynalazł przetwornik elektroakustyczny zwany „oscylatorem Fessendena", który w 1914 r. wykrył góry lodowe z odległości 3 km. Przetwornik ten był również wykorzystywany do telefonii podwodnej i sondowania głębokości.

Więcej informacji na ten temat można znaleźć w artykule na temat batymetrii w Silicon Chip z czerwca 2019 r. (www.siliconchip.au/Article/11664).

Maria Skłodowska-Curie, 1867–1934, przenośny aparat rentgenowski

Około 1915 roku wynalazła przenośny aparat rentgenowski zasilany dynamem.

Henri Abraham, 1868–1943, przerzutnik astabilny

Razem z Eugenem Blochem (1878–1944) wynalazł przerzutnik astabilny. Ich prace były przeprowadzane podczas I wojny światowej, ale zostały opublikowane dopiero w 1919 roku. W latach 1911–1914 Abraham dokonał pierwszych pomiarów prędkości rozchodzenia się fali elektromagnetycznej i opracował pierwszą francuską triodę lampową.

John Stone, 1869–1943, łącze telefoniczne, selektywne strojenie czteroobwodowe

Zajmował się techniką telefoniczną i radiową. W 1890 roku rozpoczął prace dla American Bell Telephone Co. nad matematyczną analizą połączeń telefonicznych. W 1900 roku opracował „selektywne strojenie czteroobwodowe" do odbiorników radiowych w celu poprawy ich selektywności i zmniejszenia szumów.

Borys Lwowicz Rosing, 1869–1933, zalążki telewizji

Od 1897 roku rozważał koncepcję systemu znanego dziś jako telewizja. Określał go jako „elektryczny teleskop". Jego podejście do konstrukcji odbiornika było czysto elektroniczne. Koncepcja Rosinga przewidywała użycie kineskopu, w przeciwieństwie do innych pomysłów na telewizję w tamtym czasie, opartych głównie na układach mechanicznych.

Do 1902 roku stworzył urządzenie, które rysowało na kineskopie elementarne kształty. Jako elementu światłoczułego w kamerze użył nie komórki selenowej, lecz fotokomórki o krótkim czasie reakcji. Obraz był na nią rzutowany przez system obracających się luster. W 1907 i 1911 roku uzyskał patenty na swój wynalazek. Został on 1. kwietnia 1911 roku zaprezentowany w czasopiśmie Scientific American (www.siliconchip.au/link/abng).

Valdemar Poulsen, 1869–1942, magnetyczne nagrywanie dźwięku

W 1898 roku pomyślnie wdrożył pierwszy sposób magnetycznego nagrywania dźwięku, polegający na namagnesowywaniu drutu wzdłuż jego długości (**rysunek 9**). Nie było żadnego wzmocnienia, więc nagranie było słabe, ale dawało się słuchać przez słuchawki. Urządzenie nosiło nazwę Telegraphone. Odniosło ograniczony sukces komercyjny ze względu na niską głośność oraz złożoność.

Poulsen wraz ze swoim asystentem Pederem Olufem Pedersenem opracował też inne urządzenia nagrywające, wykorzystujące taśmy i płyty. W 1903 roku wynalazł również „nadajnik łukowy Poulsena" (**rysunek 10**). Był szeroko stosowany jako nadajnik radiowy we wczesnych latach dwudziestych XX wieku, zanim opracowano lampy elektronowe.

Arthur Korn, 1870–1945, faks

Korn był pionierem współczesnego faksu. Używał go do przesyłania zdjęć. W swoich



Rysunek 11. Wczesny „Audion" z siatką, wynaleziony w 1906 roku. Wielu uważa tę datę za początek ery elektroniki. Źródło: https://w.wiki/7DAf (rysunek 11)

eprasa.pl d2e0862bc0

urządzeniach „Phototeleautograph” oraz „Bildetelegraph” wykorzystywał światłoczułe ogniwa selenowe. W 1906 roku za pośrednictwem sieci telegraficznej wysłał zdjęcie księcia Wilhelma na odległość ponad 1800 km.

W 1913 roku przesłał też przez telegraf nagranie filmowe. Szczegóły tego eksperymentu są jednak nieznane. Zakłada się, że była to transmisja klatka po klatce. W 1923 roku niemiecka policja wykorzystała system Korna do przesyłania zdjęć i odcisków palców.

Paul Langevin, 1872–1946, przetwornik ultradźwiękowy

W 1917 r. wynalazł pierwszy przyrząd ultradźwiękowy – kwarcowy przetwornik warstwowy, używany do wykrywania łodzi podwodnych.

William David Coolidge, 1873–1975, technologia plastycznego wolframu

Coolidge opracował metodę wytwarzania plastycznego wolframu, co umożliwiało wyciąganie z niego żarników do żarówek. Żarówki wolframowe były sprzedawane przez General Electric począwszy od 1911 roku.

Lee De Forest, 1873–1961, trioda trzyelementowa, nagrywanie dźwięku

W 1906 roku wynalazł trzyelementową termojonową triodę lampową – „audion siatkowy” (**rysunek 11**). Trioda mogła zostać użyta jako wzmacniacz lub generator. Wynalazek ten uważany jest za początek ery elektroniki.

W 1919 r. opatentował system DeForest Phonofilm do nagrywania dźwięku w postaci optycznej na taśmie filmowej.

Guglielmo Marconi, 1874–1937, transmisja bezprzewodowa, nadajnik iskrowy i inne

W 1894 roku Guglielmo Giovanni Maria Marconi zbudował urządzenie do odbioru fal radiowych wytwarzanych przez pioruny. W tym samym roku zademonstrował również transmisję bezprzewodową, uruchamiając zdalnie dzwonek w pomieszczeniu.

Opracował radiowy nadajnik z iskrownikiem i odbiornik z koherem. Koherer był szklaną rurką z metalowymi opiłkami. Fale radiowe powodowały zbliżanie się opiłków do siebie, a wtedy koherer lepiej przewodził prąd.

W 1895 roku Marconi zaprojektował system łączności na odległość 3 km. Do 1896 r. transmitował już na odległość 6 km, a następnie 16 km. W 1899 roku przeprowadził transmisję radiową przez kanał La Manche.

W 1907 roku stworzył komercyjną transatlantycką firmę telegraficzną. Radia Marconiego odegrały ważną rolę w ratowaniu rozbitków ocalałych z katastrof statków Titanic (1912) i Lusitania (1915).

Just Sándor Frigyes, 1874–1937, żarówka z żarnikiem wolframowym

Był znany również jako Alexander Friedrich Just. W 1904 roku wspólnie z Franjo Hanamanem (1878–1941) jako pierwszy wynalazł żarówkę z żarnikiem wolframowym. Żarówka ta była krucha przez sposób, w jaki została wykonana, choć działała dłużej i była bardzo wydajna w porównaniu do żarówek z żarnikami węglowymi.

Just i Hanaman udzielili licencji na swój patent węgierskiej firmie Tungsram (która w 1934 r. miała również licencję na patent Bródy'ego dotyczący użycia w żarówkach kryptonu). W 1904 r. obaj badacze złożyli wniosek o patent węgierski, a w 1905 r. o patent amerykański nr 1,018,502. Żarówka z żarnikiem wolframowym zyskała praktyczne znaczenie wraz z wynalezieniem przez Coolidge'a technologii produkcji żarników wolframowych.

Przypis redaktora: firma Tungsram była przez długie lata węgierskim potentatem technologicznym. W 1989 roku została przejęta przez General Electric.

Alexander M. Nicholson, lata nieznane, rezonator kwarcowy

W 1917 roku wynalazł pierwszy rezonator kwarcowy, oparty na soli Rochelle – materiale piezoelektrycznym. W 1918 roku złożył wniosek o patent USA nr 2,212,845.

Walter Guyton Cady, 1874–1974, generator kwarcowy

W 1921 roku wynalazł generator kwarcowy. Szybko zdał sobie sprawę, że tego typu układy mogą być używane jako wzorce częstotliwości. Złożył amerykańskie patenty: nr 1,472,583 w 1921 r. oraz nr 2,170,318 w 1937 r.

Édouard Belin, 1876–1963, „bélinographe”, transmisja obrazu

Wynalazł urządzenie o nazwie „bélinographe”, które wykorzystywało fotokomórkę do skanowania i przesyłania zdjęć prasowych (**rysunek 12**). Urządzenie, opracowane w 1907 roku, zostało po raz pierwszy użyte komercyjnie w latach 1913–1914 do przesyłania zdjęć przez dedykowane, dzierżawione linie telefoniczne. Modele późniejsze mogły już używać zwykłych linii telefonicznych.

W 1921 roku wersja urządzenia została wykorzystana do przesyłania zdjęć drogą radiową przez Atlantyk. RCA używała go do przesyłania zdjęć przez radio aż do 1926 roku.

Miller Reese Hutchison, 1876–1944, elektroniczny aparat słuchowy, tachometr, klakson

W 1898 r. opracował pierwszy komercyjny elektroniczny aparat słuchowy z mikrofonem węglowym. Hutchison nazwał aparat „Akoulallion”. Został on wprowadzony na rynek w 1899 r. W 1900 roku opracował urządzenie przenośne, zasilane bateriami, które nazwał „Akouphone”, a w 1902 roku skonstruował „Acousticon 1”. Więcej szczegółów: www.siliconchip.au/link/abnl.

W 1908 roku Hutchison wynalazł tachometr elektryczny dla statków, a w 1910 roku – „klaxon” czyli sygnał dźwiękowy dla pojazdów.

Robert Von Lieben, 1878–1913, trioda z siatką sterującą

Lieben, wraz z inżynierami Eugenem Reiszem i Siegmundem Straussem, wynalazł w 1910 roku triodę o niskiej próżni (wypełnioną gazem) z siatką sterującą. Była to pierwsza lampa termojonowa zaprojektowana do wzmacniania, a nie do demodulacji, i była stosowana we wzmacniaczach używanych w telefonii.

Ernst Alexanderson, 1878–1975, alternator Alexandersona

W 1904 roku Ernst Frederick Werner Alexanderson wynalazł „alternator Alexandersona”. Wytwarzał on fale radiowe wydajniej i w węższym pasmie niż stosowane w tym czasie nadajniki iskrowe, i mógł dostarczać je w sposób ciągły z dużą mocą.

Alternatory Alexandersona były używane od roku 1906 do lat 90. XX wieku do morskiej łączności radiowej na falach długich, prowadzonej ze stacji brzegowych. Dla większości statków były jednak za duże i za ciężkie.

Pierwszy komercyjny model alternatora wytwarzał częstotliwość 100 kHz i miał moc znamionową 50 kW. Ostatnim nadajnikiem w regularnym użytku była stacja radiowa Grimeton w Szwecji, używana do 1996 r. Jest ona sporadycznie używana do dziś (patrz strona 17. wydania Silicon Chip z marca 2023 r.).

Albert Einstein, 1879–1955, teoria względności, efekt fotoelektryczny



Rysunek 12. „Bélinographe” z 1907 roku, wykorzystujący fotokomórkę do skanowania i przesyłania zdjęć. Źródło: https://w.wiki/7DAk

eprasa.pl d2e0862bc0



Rysunek 13. Magnetofon Marconiego-Stille'a Źródło: Birmingham Museums Trust – https://w.wiki/7Dup (CC-BY-SA-4.0)

W 1905 roku opublikował swoją teorię względności. Wnioski z tej teorii muszą być brane pod uwagę w systemach nawigacji satelitarnej (np. GPS) i w wielu innych zastosowaniach. Przypis redaktora: bez uwzględnienia teorii względności, zarówno szczególnej jak i ogólnej, system GPS nie miałby racji bytu.

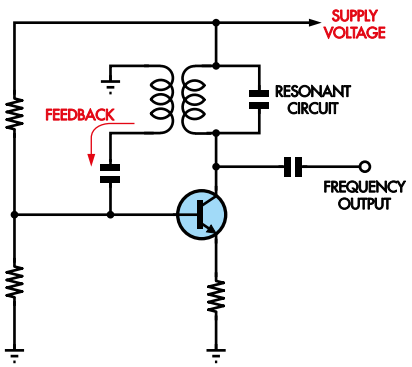
Einstein objaśnił również w 1905 r. efekt fotoelektryczny, rozwijając prace Plancka. Efekt fotoelektryczny został wykorzystany m.in. w noktowizorach. Przypis redaktora: Einstein otrzymał w 1922 r. nagrodę Nobla nie tyle za opracowanie teorii względności, ile właśnie za wyjaśnienie efektu fotoelektrycznego.

Alexander Behm, 1880–1952, echolokacja, „echolot"

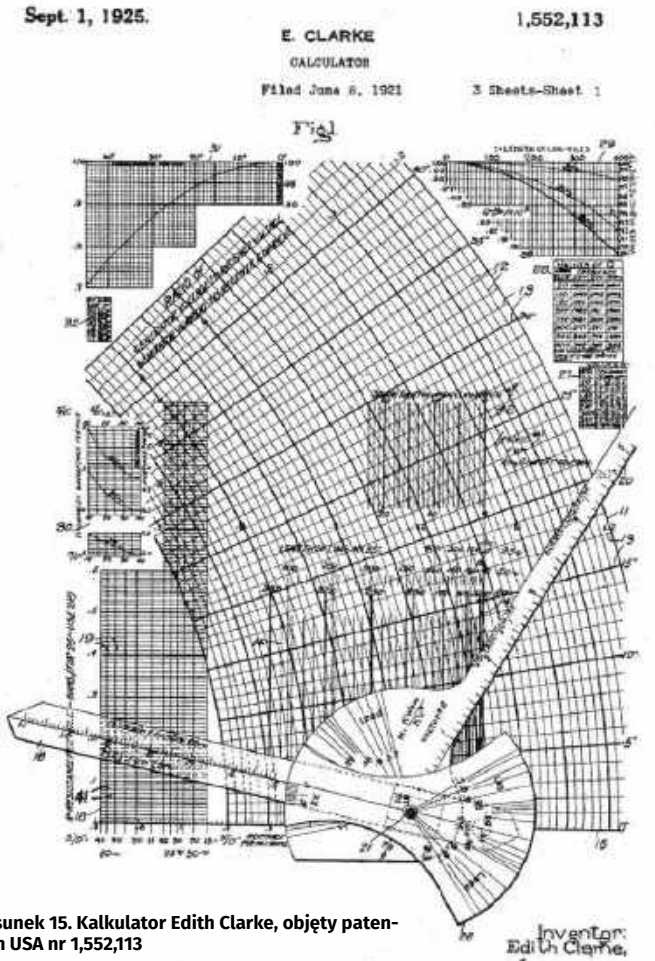
W 1912 roku wynalazł echosondę do pomiaru głębokości i wykrywania przeszkód w wodzie, uzyskując w 1913 roku patent. W 1922 r. wyprodukował „echolot" do pomiaru głębokości wody pod statkiem.

Albert W. Hull, 1880–1966, dynatronowa lampa próżniowa, magnetron

W 1918 r. wynalazł lampę próżniową – dynatron – oraz w 1920 r. magnetron, który był używany jako wzmacniacz i generator niskiej częstotliwości. Magnetron jest nadal używany w kuchenkach mikrofalowych, choć w zmodyfikowanej formie (patrz dalszy wpis dotyczący Russella Harrisona Variana).



Rysunek 14. Generator Armstronga-Meissnera. Oryginalne źródło: www.itwissen.info/en/Meissner-oscillator-127183.html#gsc.tab=0



Rysunek 15. Kalkulator Edith Clarke, objęty patentem USA nr 1,552,113



Rysunek 16. Zwinięty w spiralę żarnik lampy wolframowej Burnie'ego Lee Benbowa, opatentowany przez niego w 1917 roku

Louis Blattner, 1881–1935, „blattnerphone"

Na licencji Kurta Stille'a (1873–1957) wyprodukował w 1925 roku nowatorski rejestrator dźwięku, wykorzystujący stalową taśmę zamiast drutu, nazwany „blattnerphone". Urządzenie było oparte również na magnetycznym rejestratorze Valdemara Poulsena (patrz wcześniejszy wpis).

W 1933 r. firma Marconi Company nabyła prawa do „blattnerphone'a" i stworzyła ulepszoną wersję o nazwie „magnetofon Marconiego-Stille'a", z której BBC korzystało od 1935 r. do lat 40. ubiegłego wieku (**rysunek 13**).

Irving Langmuir, 1881–1957, ulepszenia pomp próżniowych

Udoskonalił pompę próżniową, co doprowadziło do powstania wysokopróżniowych prostowników i lamp wzmacniających. Wraz z Lewim Tonksem odkrył, że wypełnienie żarówki gazem obojętnym poprawia jej żywotność. Odkrył również, że żarnik wolframowy ma większą wydajność, gdy jest skręcony.

Fritz Pfleumer, 1881–1945, taśma magnetyczna do nagrywania dźwięku

W 1927 roku wynalazł taśmę magnetyczną do nagrywania dźwięku i otrzymał na nią patent w 1928 roku. Zastosował papier i tlenek żelaza, wiążąc je ze sobą lakierem. W 1932 roku odstąpił prawa do tego wynalazku firmie AEG. Wykorzystano go w pierwszym praktycznym modelu magnetofonu „Magnetophon K1", zaprezentowanym w 1935 roku.

Kpt. Henry Joseph Round, 1881–1966, diody LED, lampy próżniowe

Przyczynił się do rozwoju elektronowych lamp próżniowych. Opracował triodę mniej więcej w tym samym czasie co Lee de Forest. Niezależnie od Alexandra Meissnera i Edwina Armstronga odkrył w lampach elektronowych sprzężenie zwrotne.

Jako pierwszy skonstruował przyrząd obecnie znany jako dioda elektroluminescencyjna (LED), wykorzystując detektor kryształkowy – pierwszy rodzaj prostownika półprzewodnikowego – wykonany z węglika krzemu. Detektor wytwarzał słabe żółte światło.

eprasa.pl d2e0862bc0

Julius Edgar Lilienfeld, 1882–1963, tranzystor polowy (FET)

W 1926 r. złożył wniosek o amerykański patent nr 1,745,175 na tranzystor polowy (FET). Patent przyznano mu w 1930 r. Nigdy nie dał jednak rady zbudować działającego modelu swojego wynalazku z powodu niedostępności w tamtym czasie materiałów półprzewodnikowych o wysokiej czystości. Przypis redaktora: patrz również „Edukacja w EdW dla szkół i uczelni – wykład 3: Tranzystory", EdW 2/2023.

Max Dieckmann, 1882–1960, lampa obrazowa do kamery – „dyssektor obrazu"

Dieckmann i jego uczeń Rudolf Hell (1901–2002) uzyskali w 1927 r. patent (zgłoszony w 1925 r.) na lampę do kamery telewizyjnej zwaną „dyssektorem obrazu". Jednak to Philo T. Farnsworth jako pierwszy sprawił, że powstała prawdziwa kamera telewizyjna (patrz dalszy wpis).

Alexander Meissner, 1883–1958, systemy radionawigacyjne, generator Meissnera

W 1911 r. wynalazł „Telefunken Kompass Sender" – jeden z najwcześniejszych systemów nawigacji radiowej, obejmujący kierunkowy sygnał nawigacyjny używany przez sterowce Zeppelin (patrz www.siliconchip.au/link/abnm). W 1913 roku odkrył dodatnie sprzężenie zwrotne i zastosował je we wzmacniaczach lampowych.

W 1913 roku stał się wynalazcą generatora elektronicznego (niezależnie od Edwina Armstronga w 1912 r.) i otrzymał patent w 1920 roku. **Rysunek 14** wykorzystuje do wytwarzania drgań cewkę i kondensator oraz, jako wzmacniacz, lampę elektronową (we współczesnych implementacjach – tranzystor). Częstotliwość drgań jest wyznaczona przez obwód rezonansowy, a oscylacje są podtrzymywane dzięki sprzężeniu zwrotnemu.

Saul Dushman, 1883–1954, diody lampowe

W 1915 roku, będąc zatrudniony w General Electric, wyprodukował pierwsze diody próżniowe, które można było wykorzystywać jako prostowniki w zasilaczach.

Edith Clarke, 1883–1959, graficzny kalkulator Clarke'a

W 1921 roku złożyła amerykański patent nr 1,552,113 na „kalkulator Clarke'a" (**rysunek 15**). Patent przyznano jej w 1925 roku. Kalkulator znacznie uprościł obliczenia przesyłowych linii długich. Był to kalkulator graficzny wykonany prawdopodobnie z kartonu lub podobnego materiału, na pozór prosty, ale kryła się za nim złożona matematyka. W przeciwieństwie do założeń przyjmowanych w tamtym czasie reprezentował prawidłową ocenę sposobu, w jaki indukcyjność i pojemność są równomiernie rozłożone w liniach długich.

Burnie Lee Benbow, 1885–1976, żarniki wolframowe zwinięte w spiralę

W 1917 roku Benbow wynalazł żarniki wolframowe do lamp żarowych zwinięte w formę spirali (**rysunek 16**), co wydłużyło ich żywotność dzięki mniejszemu parowaniu wolframu. Rozwiązanie to było zasadniczo proste, ale jego realizacja w produkcji wiązała się z ogromnymi trudnościami praktycznymi.

Georges Rignoux, ~1885-nieznany, przesyłanie nieruchomych obrazów

Razem z A. Fournierem z miejscowości La Rochelle zademonstrował w Paryżu w 1909 roku transmisję obrazów nieruchomych. Były one zdejmowane czujnikiem z matrycą 8×8 światłoczułych komórek selenowych i odświeżane co kilka sekund. Rozdzielczość była wystarczająca do odtworzenia alfabetu angielskiego czy francuskiego.

Walter Han Schottky, 1886-1976, lampa termoelektryczna, dioda Schottky'ego i inne

W 1915 roku wynalazł lampę termoelektryczną z siatką ekranującą. W 1924 roku razem z Erwinem Gerlachem stał się współtwórcą mikrofonu wstęgowego i głośnika wstęgowego. Wniósł wielki wkład w fizykę półprzewodników. Jego nazwiskiem nazwano „diodę Schottky'ego" ze złączem metal-półprzewodnik.

Hidetsugu Yagi, 1886–1976, antena Yagi-Uda

Publikował na Zachodzie artykuły na temat anteny Yagi-Uda (**rysunek 17**), wynalezionej przez jego asystenta, Shintaro Uda (1896–1976) w 1926 roku. Jest to antena kierunkowa o prostej konstrukcji, powszechnie stosowana jako antena telewizyjna, używana także szeroko przez radioamatorów krótkofalowców.

John Logie Baird, 1888–1946, telewizja

W 1925 roku stworzył pierwszy obraz telewizyjny – obracającą się głowę (**rysunek 18**). Obraz został wykonany przy użyciu tarczy Nipkowa o rozdzielczości 30 linii w pionie. W 1926 roku Baird wyprodukował pierwszy użyteczny system telewizji. W 1927 roku przesłał obraz telewizyjny za pośrednictwem linii telefonicznej na odległość 705 km. W 1928 r. dokonał transmisji telewizyjnej przez Atlantyk.

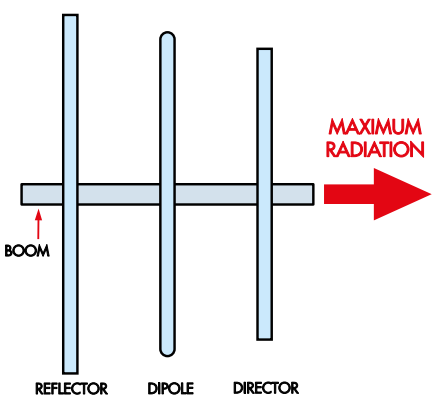
W 1929 r. BBC nadała pierwszy program telewizyjny. W 1940 roku Baird rozpoczął prace nad pierwszym elektronicznym systemem telewizji kolorowej z pojedynczą lampą obrazową. System taki, o nazwie „Telechrome", został zademonstrowany w 1944 roku. W latach 1926–1928 Baird pracował nad systemem rejestracji obrazu na płytach – „Phonovision" (więcej na ten temat w przyszłym odcinku).

Sir C. V. Raman, 1888–1970, efekt Ramana

Sir Chandrasekhara Venkata Raman i Sir Kariamanikkam Srinivasa Krishnan (1898–1961) odkryli w 1928 roku „efekt Ramana". Jest to efekt rozpraszania światła wykorzystywany do analizy substancji. Spektrometr Ramana wykorzystano w lądowniku „Perseverance" wysłanym na Marsa.

Władimir Kosma Zworykin, ~1888–1982, ikonoskop (kamera telewizyjna)

W 1923 r. zgłosił patent nr 2,141,059 (przyznany w 1938 r.) na „ikonoskop". Była to pierwsza kamera telewizyjna o znaczeniu

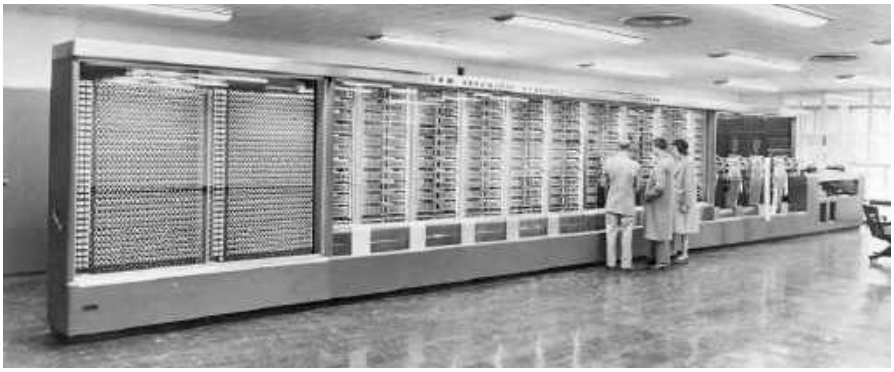


Rysunek 17. Podstawowa konfiguracja trzyelementowej anteny Yagi-Uda



Rysunek 18. Po lewej: John Logie Baird ze swoim „Televisorem" – pierwszym dostępnym handlowo telewizorem z 1926 roku. Po prawej: wyświetlana w „Televisorze" twarz partnera biznesowego Bairda. Źródło: https://rts.org.uk/article/remembering-logie-baird-ninety-years

eprasa.pl d2e0862bc0



Rysunek 19. Harvard Mark 1 – elektromechaniczny komputer o długości ponad 15 m, zaprojektowany przez Howarda Aikena. Źródło: Encyclopædia Britannica – www.britannica.com/technology/minicomputer#/media/1/44895

praktycznym. Użyto jej podczas Igrzysk Olimpijskich w 1936 roku. W Europie w tym samym roku została ona zastąpiona przez „super-emitron" i „superikonoskop". W Stanach Zjednoczonych ikonoskop był jednak w użyciu do 1946 roku, kiedy to zastąpiono go lampą ortikonową.

Edwin Howard Armstrong, 1890–1954, dodatnie sprzężenie zwrotne, superheterodyna

Interesował się jak działają lampy próżniowe. Gdy w 1906 roku Lee de Forest wynalazł triodę („Audion"), sposób jej działania był rozumiany tylko przez wąski krąg naukowców. Armstrong eksperymentował z tą lampą jako student pod okiem profesora Johna Harolda Morecrofta.

W 1912 roku Armstrong dokonał przełomowego odkrycia – dodatnie sprzężenie zwrotne („regeneracja") w obwodzie z triodą może znacznie zwiększyć jego wzmocnienie, umożliwiając użycie głośnika zamiast słuchawek. Odkrył również, że „Audion" z wystarczającym sprzężeniem zwrotnym może wytwarzać drgania wysokiej częstotliwości dla nadajnika radiowego.

Między nim a de Forestem doszło do skomplikowanej 25-letniej batalii o prawa patentowe do tych odkryć. Armstrong nie dał sobie jednak odebrać swych zasług. W 1918 roku wynalazł układ superheterodyny, który umożliwił odbiornikom radiowym większą selektywność i czułość. Ten wynalazek był również przedmiotem sporu prawnego, tym razem z Lucienem Lévy z Francji. Większość roszczeń przyznano Lévy'emu.

Armstrong opracował szerokopasmowe radio FM i w 1935 roku sporządził na ten temat pierwszy artykuł, opublikowany w 1936 roku.

Imre Bródy, 1891–1944, żarówki wypełnione kryptonem

W 1930 r. napełnił żarówki kryptonem a nie argonem, co zaowocowało znacznie dłuższą żywotnością żarówek. Stały się one jednym z największych węgierskich towarów eksportowych. Krypton był wówczas drogi, więc w 1937 roku Bródy opracował tańszy sposób pozyskiwania go z powietrza. Przypis redaktora: żarówki kryptonowe produkowała wspominana już firma Tungsram.

Lucien Lévy, 1892–1965, superheterodyna i inne

Podczas I wojny światowej (1914–1918) opracował wzmacniacz niskiej częstotliwości do nasłuchiwania komunikacji telefonicznej wroga oraz do innych zastosowań. Wynalazł układ superheterodynowy i w 1917 r. zgłosił na niego patent, co doprowadziło do sporu patentowego z Armstrongiem, rozstrzygniętego głównie na korzyść Lévy'ego.

Robert Watson-Watt, 1892–1973, radar

Od 1916 r. pracował nad wykrywaniem kierunku, z którego uderzają pioruny, co miało na celu ostrzeganie pilotów samolotów przed burzami. Od 1935 roku zaczął opracowywać i rozwijać koncepcję wykrywania samolotów na podstawie odbić sygnału radiowego (radar).

Na początku II wojny światowej utworzono 19 stacji radarowych, które wykorzystano w Bitwie o Anglię, a do końca wojny działało ich już 50.

Sir Edward Victor Appleton, 1892–1965, dowód na istnienie jonosfery

W 1924 r. udowodnił, że istnieje jonosfera – warstwa atmosfery odbijająca fale radiowe. W 1947 r. otrzymał za to odkrycie Nagrodę Nobla.

Homer W. Dudley, 1896–1980, wokoder (koder głosowy) do analizy mowy

W 1936 roku w Bell Labs wynalazł wokoder („Voice Coder"). Jest to system przetwarzania mowy, służący jej do kodowania poprzez analizę i zredukowanie do serii sygnałów sterujących. Sygnały te mogą być przesyłane łączem o ograniczonej przepustowości (np. kablem podmorskim lub przez radio), a następnie rekonstruowane do postaci zbliżonej do mowy oryginalnej.

W oparciu o ten wynalazek w 1937 roku Dudley wraz z Robertem Rieszem skonstruował pierwszy na świecie elektroniczny syntezator mowy – „Voder" („Voice Operation Demonstrator"), otrzymując amerykański patent nr 2,121,142. „Voder" był obsługiwany przez operatora, który wytwarzał dźwięki naciskając klawisze. Urządzenie było niełatwe w obsłudze. W 1939 roku zostało zademonstrowane na Wystawie Światowej w Nowym Jorku. Patrz film zatytułowany „The Voder – Homer Dudley (Bell Labs) 1939" na stronie https://youtu.be/5hyI_dM5cGo oraz darmowy eBook PDF na stronie www.siliconchip.au/link/abnn.

Podczas II wojny światowej Dudley współpracował z Alanem Turingiem (patrz dalszy wpis) przy pracach nad „SIGSALY" – zaawansowaną maszyną kryptograficzną do transmisji głosowych, wykorzystującą techniki użyte w wokoderze i „Voderze" (**rysunek 20**).

Przypis redaktora: seria artykułów o wokoderze była zamieszczona w EdW począwszy od numeru 10/2024.

Harold Stephen Black, 1898–1983, wzmacniacz z ujemnym sprzężeniem zwrotnym, wzmacniacz operacyjny

W 1927 roku wynalazł wzmacniacz z ujemnym sprzężeniem zwrotnym. Sprzężenie to zwiększało stabilność układu, poprawiało liniowość zmniejszając zniekształcenia, zwiększało impedancję wejściową i zmniejszało wyjściową, redukowało szumy oraz poszerzało pasmo przenoszenia.

Pierwsze zastosowania praktyczne wzmacniaczy ze sprzężeniem ujemnym obejmowały zmniejszanie przeciążenia na dalekosiężnych liniach telefonicznych oraz ulepszone systemy kontroli ognia używane w II wojny światowej. Sprzężenie zwrotne stanowi podstawę idei użycia wzmacniacza operacyjnego, umożliwia także budowę precyzyjnych generatorów elektroakustycznych. Patrz artykuł w Silicon Chip na temat historii wzmacniaczy operacyjnych, sierpień 2021: www.siliconchip.au/Article/14987.

Russell Shoemaker Ohl, 1898–1987, ogniwo słoneczne

W 1941 roku Ohl złożył wniosek patentowy nr 2,402,662 na pierwsze na świecie ogniwo słoneczne, wykonane z krzemowego złącza p-n. Konstrukcja ta była wciąż rozwijana, a w latach 50. i 60. ubiegłego wieku ogniwo Ohla osiągnęło sprawność około 5%.

Russell Harrison Varian, 1898–1959, klistron (lampa próżniowa z liniową wiązką)

W 1937 roku wraz z bratem (Sigurd Fergus Varian; 1901–1961) wynalazł klistron. Wyniki swych prac bracia opublikowali w 1939 roku. Klistron to lampa próżniowa wytwarzająca drgania o częstotliwościach

eprasa.pl d2e0862bc0

mikrofalowych. Był to pierwszy przyrząd pracujący na takich częstotliwościach przy zadowalającym poziomie mocy.

Zasada działania klistronu została w dużej części opublikowana jeszcze przed II wojną światową. Podczas wojny państwa Osi używały klistronu do zagłuszania radaru H2S. Alianci stosowali potężne magnetrony wnękowe (patrz późniejszy wpis dotyczący Randalla i Boota) w przeciwieństwie do Niemców, których radary wykorzystywały technikę bardziej konwencjonalną, osiągając niższe częstotliwości.

Kenjiro Takayanagi, 1899–1990, w pełni elektroniczny odbiornik telewizyjny

W 1926 roku opracował pierwszy na świecie całkowicie elektroniczny odbiornik telewizyjny, pracujący z rozdzielczością 40 linii. Do skanowania obrazu po stronie nadawczej służyła tarcza Nipkowa, ale odbiornik, w przeciwieństwie do innych istniejących wówczas systemów, wykorzystywał do wyświetlania obrazu lampę katodową. Było to kilka miesięcy przed tym, jak Philo Farnsworth zademonstrował pierwszy w pełni elektroniczny system telewizyjny, nie wykorzystujący tarczy Nipkowa.

W 1927 roku Takayanagi zwiększył rozdzielczość do 100 linii.

Howard Aiken, 1900–1973, komputer Harvard Mark 1

Stworzył koncepcję „Harvard Mark 1" – jednego z pierwszych komputerów (**rysunek 19**). Aiken zwrócił się do IBM o sfinansowanie realizacji tego projektu. Projekt został zatwierdzony w 1939 roku i sfinalizowany w 1944 roku.

Dennis Gabor, 1900–1979, holografia

W 1948 roku wynalazł holografię – technikę najbardziej znaną z możliwości wytwarzania trójwymiarowych obrazów, ale mającą również wiele innych zastosowań. Za swoje prace Gabor otrzymał w 1971 roku Nagrodę Nobla.

Enrico Fermi i **Paul Dirac**, statystyka Fermiego-Diraca

Enrico Fermi (1901–1954) i Paul Adrien Maurice Dirac (1902–1984) w 1926 roku stworzyli niezależnie od siebie „statystykę Fermiego-Diraca", która opisuje zachowanie materiałów półprzewodnikowych.

Stuart William Seeley, 1901–1978, dyskryminator FM Fostera-Seeleya

Seeley i Dudley E. Foster wynaleźli w 1936 roku „dyskryminator FM Fostera-Seeleya" i w 1937 roku opublikowali swój wynalazek. Układ zostałby dziś nazwany „demodulatorem". Obniżył on cenę radioodbiornika FM do poziomu zbliżonego do ceny aparatu AM. „Dyskryminator" był szeroko stosowany aż do lat 70., kiedy to rozwój układów scalonych pozwolił na zastosowanie innych typów demodulatorów.

Alfred Kastler, 1902–1984, „pompowanie optyczne"

We wczesnych latach 50. wynalazł „pompowanie optyczne" – technikę, która doprowadziła do rozwoju masera i lasera. Spójne światło lasera ma kluczowe znaczenie w produkcji półprzewodników.

Walter Houser Brattain, 1902–1987, magnetometr

Podczas II wojny światowej współpracował z grupą opracowującą magnetometry do wykrywania łodzi podwodnych. W 1944 roku wraz z innymi, w tym Normanem E. Kleinem, złożył wniosek o patent USA nr 2,605,072. W 1947 roku wraz z Johnem Bardeenem i Williamem Bradfordem Shockleyem Jr zademonstrował pierwszy działający tranzystor ostrzowy (**rysunek 21**). Bardeen i Brattain otrzymali za niego Nagrodę Nobla, natomiast Shockley otrzymał Nobla za tranzystor złączowy. Udział w wynalezieniu tranzystora Bell Labs przypisuje łącznie 12 osobom. Przypis redaktora: patrz również „Edukacja w EdW dla szkół i uczelni – wykład 3: Tranzystory", EdW 2/2023.

Alan Dower Blumlein, 1903–1942, sieci wagowe, stereofonia i inne

W 1924 roku zmierzył odpowiedź częstotliwościową ludzkiego ucha. Miało to na celu zaprojektowanie „sieci wagowej", aby zminimalizować szumy i lepiej wykorzystać pasmo telekomunikacyjne. W 1924 r. opublikował również pracę na temat pomiaru rezystancji przy wielkich częstotliwościach. W 1938 r. złożył wniosek patentowy nr 2,218,902 na „ultraliniowy akustyczny wzmacniacz mocy".

W 1931 roku Blumlein złożył brytyjski patent nr 394,325 na system obecnie znany jako stereofonia. System stereofoniczny został szeroko wykorzystany dopiero w latach 50., już po wygaśnięciu patentu. Do kodowania dźwięku zastosowano „przetwarzanie matrycowe", w którym sygnał stereofoniczny (stronę lewą i prawą) kodowano jako część wspólną oraz część różnicową określającą rozkład przestrzenny dźwięku.

Po 1933 roku pracował nad rozwojem telewizji i opatentował kilka technologii. Przede wszystkim jednak opracował 405-liniowy system telewizyjny „Marconi-EMI". Podczas II wojny światowej był zaangażowany w rozwój brytyjskiego systemu radarowego H2S, mającego identyfikować cele naziemne podczas bombardowań nocnych i przy złej pogodzie. Zginął podczas lotu testowego. Jego prace nad systemem radarowym zostały jednak uwieńczone sukcesem.

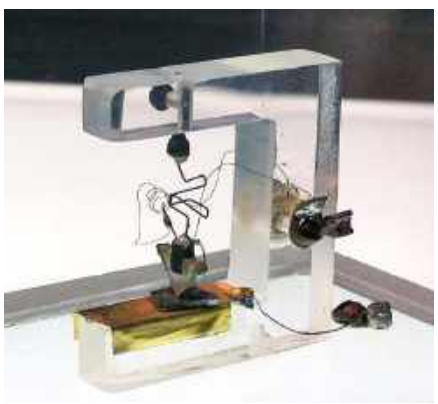
Oleg Władimirowicz Łosiew, 1903–1942, dioda elektroluminescencyjna (LED)

Intensywnie badał odkryte przez H. J. Rounda złącze punktowe z węglika krzemu, które emitowało zielone światło. Wyniki swych prac publikował w latach 1924–1941. Wyprodukował funkcjonujący przyrząd, ale nikt nie widział dla niego zastosowania. Powodem była mała moc wytwarzanego światła. Łosiew uważał, że element ten będzie przydatny w telekomunikacji. Wynalazek znamy dziś jako diodę elektroluminescencyjną (LED).

Przypis redaktora: Łosiew zbudował również w 1922 r. „krystadynę" – półprzewodnikowy element wzmacniający, uważany za prototyp tranzystora. Patrz również



Rysunek 20. Zaawansowany aparat SIGSALY do szyfrowania głosu, używany podczas II wojny światowej. Źródło: https://w.wiki/7DAh



Rysunek 21. Pierwszy tranzystor ostrzowy z 1947 r. Źródło: https://w.wiki/7DAi (CC-BY-SA-3.0)

eprasa.pl d2e0862bc0

„Edukacja w EdW dla szkół i uczelni – wykład 3: Tranzystory”, EdW 2/2023.

John Vincent Atanasoff, 1903–1995, komputer Atanasoffa-Berry’ego (ABC)

W 1942 roku sfinalizował „komputer Atanasoffa-Berry’ego”, nad którym prace trwały od 1938 roku. Był to najprawdopodobniej pierwszy komputer cyfrowy, choć nie był programowalny, nie miał procesora i nie stanowił „maszyny Turinga” (patrz dalszy wpis).

Sir John Turton Randall, 1905–1984, mangetron wnękowy

W 1940 roku wraz z Henrym Albertem Howardem Boot’em (1917–1983) wynalazł magnetron wnękowy. Był to przyrząd lampowy o wielkim znaczeniu, wykorzystywany do wytwarzania mikrofal o dużej mocy na potrzeby radaru i do innych zastosowań. Klistron, używany podczas wojny przez Niemców, nie był w stanie wytwarzać mikrofal o dużej mocy. Współcześnie magnetron wnękowy znajduje zastosowanie w kuchenkach mikrofalowych.

Philo Taylor Farnsworth, 1906–1971, w pełni elektroniczny system telewizyjny

W 1927 r. zademonstrował w pełni elektroniczny system telewizyjny, składający się z kamery i odbiornika. Do przechwytywania obrazu Farnsworth użył opracowanej przez siebie lampy obrazowej, którą nazwał „dyssektorem obrazu”. System został zademonstrowany prasie w 1928 roku.

Paul Eisler, 1907–1992, płytka drukowana (PCB)

W 1936 roku Eisler, w czasie gdy pracował w Wielkiej Brytanii, wynalazł współczesną płytkę drukowaną. W realizacji projektu pomogło mu doświadczenie w branży drukarskiej. „Własność intelektualna” wynalazku nie została prawidłowo zabezpieczona, ponieważ Eisler nie zadał sobie trudu przeczytania umowy, którą podpisał.

Wcześniej istniały pewne pomysły i technologie zmierzające do tego wynalazku. Thomas Edison w 1904 r. wykonywał na izolacyjnym podłożu ścieżki elektryczne z kleju i węgla drzewnego. Arthur Berry w 1913 r. wytrawiał metale w celu wykonania elementów elektrycznych, np. grzejnych. Charles Ducas w 1925 r. opisał nakładanie miedzianych wzorów na podłoże izolacyjne.

Wiktor Iwanowicz Szestakow, 1907–1987, teoria układów przełączających

W 1935 r. opracował sposób implementacji algebry logicznej Boole’a w elektromechanicznych obwodach przekaźnikowych (teoria układów przełączających). Była to wiedza niezbędna do projektowania komputerów i innych urządzeń cyfrowych. Tę samą teorię niezależnie wynalazł Claude Shannon (zobacz dalszy wpis), a także Akira Nakashima (1908–1970).

Manfred Von Ardenne, 1907–1997, lampa elektronowa 3NF

W 1923 roku, w wieku 15 lat, uzyskał patent na lampę elektronową 3NF. Zawierała ona trzy zintegrowane triody, była więc rodzajem układu scalonego. Używano jej w tanim radioodbiorniku Loewe-Ortsempfänger OE333 AM (**rysunek 23**).

W 1930 r. von Ardenne użył lampy skanującej z wędrującym promieniem jako kamery telewizyjnej (sama lampa nie była jego wynalazkiem) i zademonstrował ją na berlińskiej wystawie radiowej w 1931 roku.



Rysunki 22 i 23. Po lewej: pierwszy woltomierz cyfrowy z 1952 roku. Po prawej: radioodbiornik Loewe-Ortsempfänger OE333 AM, wykorzystujący „scaloną” lampę elektronową 3NF wyprodukowaną przez Manfreda von Ardenne. Patrz cykl artykułów „Vintage Radio” w Silicon Chip, wydanie z lipca 2020 r. (rysunek 5)

John Bardeen, 1908–1991, tranzystor ostrzowy

W 1947 roku wraz z Walterem Houserem Brattainem zademonstrował pierwszy działający tranzystor ostrzowy.

Oskar Heil, 1908–1994, mikrofalowa lampa próżniowa

W 1935 r. opublikował wraz z żoną Agnessą Arsenievą artykuł na temat mikrofalowej lampy próżniowej. Wynalazek ten następnie sfinalizował, tworząc funkcjonujący egzemplarz. Wyprzedził w ten sposób wynalezienie klistronu – innego typu mikrofalowej lampy próżniowej.

Wynalazł również „transformator ruchu powietrza”, stosowany w niektórych konstrukcjach głośników high-end. Film na ten temat można znaleźć na stronie https://youtu.be/-wYxHYVO6sU).

Konrad Zuse, 1910–1995, pierwszy komputer – maszyna Turinga

W 1941 roku w Niemczech wynalazł pierwszy programowalny komputer realizujący ideę „maszyny Turinga”.

William Shockley, 1910–1989, tranzystor

Kierował grupą badawczą w Bell Laboratories, w której skład wchodzili współwynalazcy tranzystora – John Bardeen i Walter Houser Brattain, twórcy pierwszego tranzystora w 1947 roku.

W 1956 roku założył Shockley Semiconductor Laboratory w Mountain View w Kalifornii. Był niestety uważany za bardzo kiepskiego menedżera, co w 1957 roku doprowadziło do odejścia „zdradzieckiej ósemki” i założenia firmy Fairchild Semiconductor. Więcej informacji na ten temat można znaleźć w Silicon Chip w artykule na temat produkcji układów scalonych w wydaniu z czerwca 2022 r. (część 1: www.siliconchip.au/Series/382). Przypis redaktora: na temat Shockleya i wynalazku tranzystora patrz również „Edukacja w EdW dla szkół i uczelni – wykład 3: Tranzystory”, EdW 2/2023.

John Robinson Pierce, 1910–2002, satelita telekomunikacyjny

W kwietniu 1955 roku opublikował w czasopiśmie Jet Propulsion artykuł zatytułowany „Orbital Radio Relays” („Orbitalne przekaźniki radiowe”). Był prekursorem konstruowania satelitów komunikacyjnych i uczestniczył w powstaniu satelity „Telstar 1”. Futurolog i Autor science-fiction Arthur C. Clarke uznał Pierce’a obok Harolda Allena Rosena za jednego z pionierów techniki satelitarnej.

Hedy Lamarr, 1914–2000, system naprowadzania radiowego

eprasa.pl d2e0862bc0

Na początku lat czterdziestych wraz z George'em Antheilem opracowała technikę rozpraszania widma i przeskakiwania częstotliwości, co pozwoliło stworzyć system naprowadzania torped, odporny (w tamtym czasie) na zakłócanie. Technikę tę wykorzystano w późniejszych systemach telekomunikacyjnych.

Alan Turing, 1912–1954, kryptografia, maszyna Turinga i inne

Turing jest jednym z twórców informatyki i ważną postacią w rozwoju kryptografii. Stworzył koncepcję „maszyny Turinga", używaną do porównywania możliwości różnych rodzajów komputerów, a także „test Turinga": czy człowiek komunikujący się z maszyną może na podstawie jej odpowiedzi nabrać przekonania, że komunikuje się z innym człowiekiem.

Claude Shannon, 1916–2001, grafy przepływowe sygnału, komputer Minivac 601

W 1936 r. zademonstrował uproszczony układ połączeń przekaźników w szafach przełącznikowych sieci telefonicznej. W 1942 roku wynalazł również grafy przepływowe sygnałów. W 1961 roku zaprojektował elektromechaniczny komputer Minivac 601, przeznaczony do celów edukacyjnych. Istnieją plany zbudowania jego repliki; patrz strona www.siliconchip.au/link/abno.

Sir Arthur Charles Clarke, 1917–2008, wizja satelitów telekomunikacyjnych

W 1945 roku opublikował w Wireless World artykuł, w którym przewidywał dzisiejsze satelity telekomunikacyjne (w szczególności geostacjonarne).

Harry Wesley Coover Jr, 1917–2011, kleje cyjanoakrylowe

W 1942 roku wynalazł klej cyjanoakrylowy („super glue"). Produkt został wprowadzony na rynek dopiero w 1958 roku przez firmę Kodak pod nazwą „Eastman 910". Kleje te wiążą niemal natychmiast i mają szerokie zastosowanie w przemyśle elektronicznym.

Andrew F. Kay, 1919–2014, woltomierz cyfrowy

W 1952 roku wynalazł woltomierz cyfrowy (**rysunek 22**).

Otis Frank Boykin, 1920–1982, precyzyjny rezystor drutowy, rozrusznik serca

Stworzył wiele wynalazków, w tym ulepszoną formę dokładnego rezystora drutowego o małej indukcyjności. W 1964 r. wynalazł również precyzyjny układ sterujący do rozruszników serca.

Norman Joseph Woodland, 1921–2012, kod kreskowy

W 1949 r. złożył wniosek o patent na kod kreskowy, zawierający cenę i opis towaru oraz inne informacje (patent USA nr 2,612,994). Pomysł był znakomity, ale do jego realizacji brakowało jeszcze odpowiednich komputerów.

Rubin Braunstein, 1922–2018, półprzewodniki na bazie galu i indu

W 1955 roku zmierzył emisję podczerwieni w przyrządach wykonanych z materiałów półprzewodnikowych: arsenku galu (GaAs), antymonku galu (GaSb) i fosforku indu (InP). Stworzył tym podstawy dla skonstruowania diod LED i laserów półprzewodnikowych.



Fotografia 5. Niemiecka maszyna szyfrująca Enigma z czasów II wojny światowej. Jej kod został złamany przez Alana Turinga i innych kryptologów. Źródło: https://w.wiki/7Dwg (CC-BY-SA-4.0). Przypis redaktora: szyfr Enigmy pierwsi złamali trzej polscy kryptolodzy (https://pl.wikipedia.org/wiki/Enigma). Natomiast Turing, opierając się w dużym stopniu na wynikach ich pracy, zbudował bardzo zaawansowaną aparaturę („bombę Turinga") do sprawnego łamania kodu tej niemieckiej maszyny

David Paul Gregg, 1923–2001, dysk optyczny

W 1962 roku wynalazł dysk optyczny (choć produkt taki rozważano już w 1958 roku). W tym samym 1962 roku złożył wniosek o patent USA nr 3,381,086. Przyznano mu go w 1968 roku.

Jack St. Clair Kilby, 1923–2005, pierwszy układ scalony i inne

Jest uznawany obok Roberta N. Noyce'a za twórcę pierwszego układu

REKLAMA



eprasa.pl d2e0862bc0

scalonego w 1958 roku. Wynalazł również podręczny kalkulator i drukarkę termiczną.

Seymour Cray, 1925–1996, superkomputer CDC660

W 1964 roku zaprojektował pierwszy superkomputer z tranzystorami krzemowymi – CDC660. Jest on uważany za pierwszy udany model superkomputera. Tranzystory germanowe, używane w tym okresie, nie były wystarczająco szybkie. CDC660 był wówczas najszybszym komputerem na świecie – około dziesięć razy szybszym od innych konstrukcji.

W 1972 roku Cray założył własną firmę Cray Research i zaprojektował słynny Cray 1 **rysunek 24**. Został on wyprodukowany w 1976 roku i stał się jednym z najbardziej udanych superkomputerów.

Narinder Singh Kapany, 1926–2020, światłowody

Kapany wynalazł światłowody (to on ukuł termin „fibre optics" – „optyka włókien"). W 1953 roku, wraz z Haroldem Horacem Hopkinsem (1918–1994), przez wiązkę 10 000 włókien optycznych przesłał obraz z lepszą jakością niż ta, jaką udawało się osiągnąć do tej pory. Doprowadziło to do powstania pierwszego praktycznego gastroskopu do badań medycznych, opracowanego przez innych badaczy w 1956 roku.

Junichi Nishizawa, 1926–2018, fotodioda lawinowa, maser półprzewodnikowy i inne

W 1952 r. wynalazł fotodiodę lawinową, w 1955 r. maser półprzewodnikowy, a w 1963 r. zaproponował ideę komunikacji światłowodowej. Opatentował również w 1964 roku światłowód gradientowy (o współczynniku załamania stopniowo zmieniającym się od środka do brzegu).



Rysunek 24 Superkomputer Cray-1 na wystawie w Muzeum Nauki w Londynie
Źródło: https://w.wiki/7DBY (CC-BY-SA-2.0)

Wśród jego innych wynalazków był tyrystor elektrostatyczny („static induction thyristor") z 1971 roku.

Robert Norton Noyce, 1927–1990, monolityczny krzemowy układ scalony

W 1959 roku Noyce wynalazł monolityczny krzemowy układ scalony. Był współzałożycielem firmy Fairchild Semiconductor w 1957 roku oraz Intel Corporation w 1968 roku. Wynalezienie układu scalonego jest również zasługą Jacka Kilby'ego (patrz wcześniejszy wpis).

Theodore Harold Maiman, 1927–2007, laser

W 1960 roku wynalazł pierwszy laser – przyrząd wytwarzający strumień światła o tej samej długości fali i w zgodnej fazie.

Nick Holonyak Jr, 1928–2022, dioda laserowa w zakresie widzialnym

W 1962 roku wynalazł diodę laserową działającą w widzialnym zakresie światła. Działała jako laser w niskich temperaturach, natomiast w temperaturze pokojowej funkcjonowała jak zwykła dioda LED.

Manfred Börner, 1929–1996, światłowodowy system komunikacyjny

W 1965 roku w Telefunken Research Labs zademonstrował pierwszy działający system komunikacji światłowodowej.

James Robert Biard, 1931–2022, podczerwona dioda LED

Biard posiadał liczne patenty. M.in. w 1961 roku wraz z Garym Pittmanem wynalazł diodę LED na podczerwień, otrzymując patent USA nr 3,293,513. W 1962 roku firma Texas Instruments wypuściła na rynek pierwszą dostępną handlowo diodę LED, SNX-100, w cenie 130 dolarów za sztukę – co dzisiaj odpowiada sumie prawie 2000 dolarów!

Chris Wallace, 1933–2004, sprzętowy multiplikator dwójkowy

W 1964 roku Wallace wynalazł sprzętowy układ arytmetycznego mnożenia liczb dwójkowych, przeznaczony do jednostek arytmetycznych w komputerach.

Sir Charles Kuen Kao, 1933–2018, zmniejszenie tłumienia sygnału w światłowodach

W 1965 roku wraz z George'em Alfredem Hockhamem (1938–2013) z brytyjskiego laboratorium STC zasugerował, że tłumienie sygnału w światłowodzie można radykalnie zmniejszyć poprzez zwiększenie czystości materiału, z którego jest wykonany. Dziś straty w światłowodach są tak niskie, że repeatery są potrzebne tylko co 70…150 km.

George Harry Heilmeier, 1936–2014, wyświetlacze ciekłokrystaliczne (LCD)

W 1964 roku odkrył szereg zjawisk w ciekłych kryształach, co doprowadziło do powstania pierwszych wyświetlaczy ciekłokrystalicznych (LCD). Wykorzystano w nich efekt nazwany przez Heilmeiera „dynamicznym trybem rozpraszania" (DSM).

Gary Keith Starkweather, 1938–2019, drukarka laserowa

W 1969 roku wynalazł drukarkę laserową. Pierwszą na rynku drukarką laserową do użytku dostępnego w sprzedaży był IBM 3800, wyprodukowany w 1976 roku w celu zastąpienia drukarek wierszowych. Następnym modelem był w 1977 roku Xerox 9700 do sporządzania wydruków wysokiej jakości.

Model 9700 upamiętnił się z jeszcze innego powodu. Kiedy w 1980 roku firma Xerox odmówiła ujawnienia programu sterującego (podobnie jak dla poprzedniego modelu), Richard Stallman (patrz dalszy wpis) i inni pracownicy laboratorium MIT AI Lab zapoczątkowali ruch „darmowego oprogramowania".

Richard Stanley Williams, 1951~, memrystor

W 2008 roku w firmie Hewlett Packard opracował działający egzemplarz memrystora (rezystora pamiętającego). Memrystor może stanowić komórkę pamięci cyfrowej. Został po raz pierwszy zaproponowany w 1971 roku przez Leona Ong Chua (1936~).

Richard Matthew Stallman, 1953~, projekty GNU, GCC, Emacs

W 1980 r. zapoczątkował ruch „darmowego oprogramowania". W 1983 r. utworzył Projekt GNU. W 1985 roku założył również Fundację Wolnego Oprogramowania (FSF). Narzędzia opracowane w ramach Projektu GNU odegrały kluczową rolę w uczynieniu z Linuksa praktycznego systemu operacyjnego przez Linusa Torvaldsa i innych twórców.

Linus Torvalds, 1969~, system operacyjny Linux

„Motor napędowy" systemu operacyjnego Linux o otwartym kodzie źródłowym. Do rozwoju systemu znacząco przyczyniły się również tysiące innych osób, w tym Andrew Morton, Alan Cox, Greg Koah-Hartman i Ingo Molnar. Linux jest dostępny na licencji GNU GPL.

System Linux pracuje obecnie na większości czołowych serwerów internetowych na świecie. ■

dr David Maddison

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

eprasa.pl d2e0862bc0

TAWOIA Glass (szkło kwarcowe)

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



BESTSELLERY sklepu AVT – sklep.avt.pl

3 unikalne serie gniazdek i włączników

Rabat dla Czytelników EdW
przy zakupie podaj kod EdW2505GW

Kod ważny do 30.09.2025

-5%

Rabat dla Prenumeratorów EdW
przy zakupie podaj numer prenumeraty

-10%

Ceramic Loft (ceramika)

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

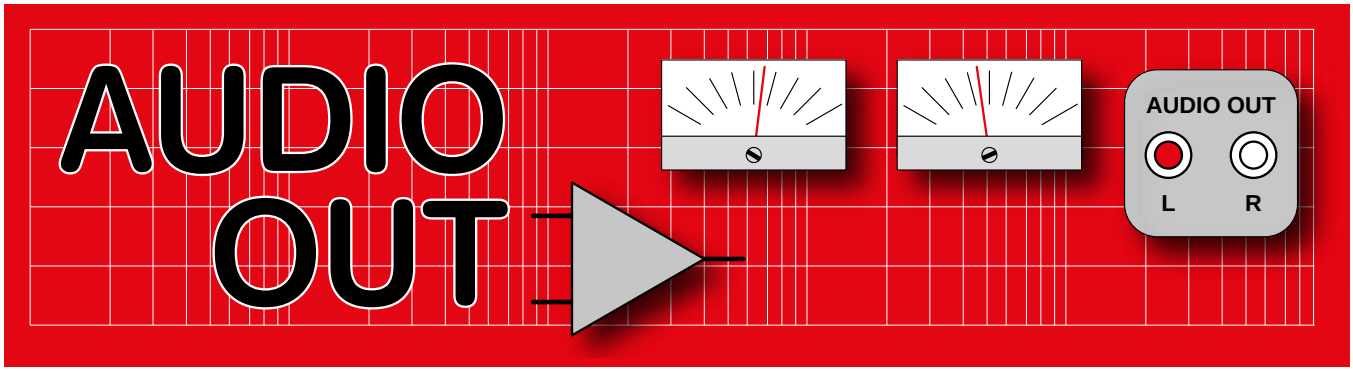


Retro PRL (bakelit)

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



eprasa.pl d2e0862bc0



Uniwersalna płytka z podwójnym wzmacniaczem operacyjnym, zoptymalizowana do zastosowań w układach akustycznych, część 3

W tym odcinku przedstawimy płytkę dla podwójnych wzmacniaczy operacyjnych, które są bardziej popularne niż pojedyncze i oferują lepszy stosunek jakości do ceny. Na przykład podwójny wzmacniacz operacyjny NE5532 jest o połowę tańszy od swojego pojedynczego odpowiednika, NE5534, więc za tę samą cenę otrzymujemy cztery razy więcej wzmacniaczy operacyjnych. Ponadto jeden z niewielu wzmacniaczy operacyjnych, który jest zauważalnie lepszy niż NE5532/4, czyli LM4562, jest dostępny tylko w wersji podwójnej.

Jednocześnie projektant płytek drukowanych Mike Grindle i ja postanowiliśmy stworzyć całą gamę płytek dla wzmacniaczy operacyjnych w różnych obudowach.

Niepokojąca symetria

Zasadnicza część schematu płytki podwójnej jest taka sama jak w przypadku płytki pojedynczej (rysunek 4 w części 1), tyle, że schemat jest powielony dwa razy, jak pokazano na **rysunku 29**. Podwójny układ scalony (IC1a i IC1b) jest wspólny dla lewego i prawego kanału. Dało to Mike'owi pretekst do stworzenia symetrycznej płytki w układzie lustrzanym. Rozkład elementów jest pokazany na **rysunku 30**. Numeracja większości elementów jest taka sama jak poprzednio, z wyjątkiem rezystorów R4 i R5, które zostały zmienione. Numery komponentów pełniących te same funkcje w każdym z kanałów mają sufiksy L i R. Komponenty służące do wytwarzania napięcia polaryzacyjnego w układzie z zasilaniem jednoprzewodowym zostały ponownie oznaczone jako R8, R9 i C13, ponieważ potrzebny jest tylko jeden taki układ, wspólny dla obu kanałów. Na koniec dodano układ symetrycznego stabilizatora napięcia zbudowanego na dwóch diodach Zenera, aby umożliwić zasilanie płytki napięciami wyższymi niż maksymalne napięcie dla wzmacniaczy operacyjnych. Jest to przydatne, jeśli płytka ma być zasilana wprost ze wzmacniacza mocy, gdzie szyny zasilające mają zazwyczaj napięcie od ±22 V do ±60 V. Taka sytuacja często ma miejsce, gdy wzmacniacz wymaga dodania symetrycznych wejść, np. podczas przystosowywania domowego wzmacniacza Hi-Fi do zastosowań profesjonalnych.

Stosuj układy różnicowe

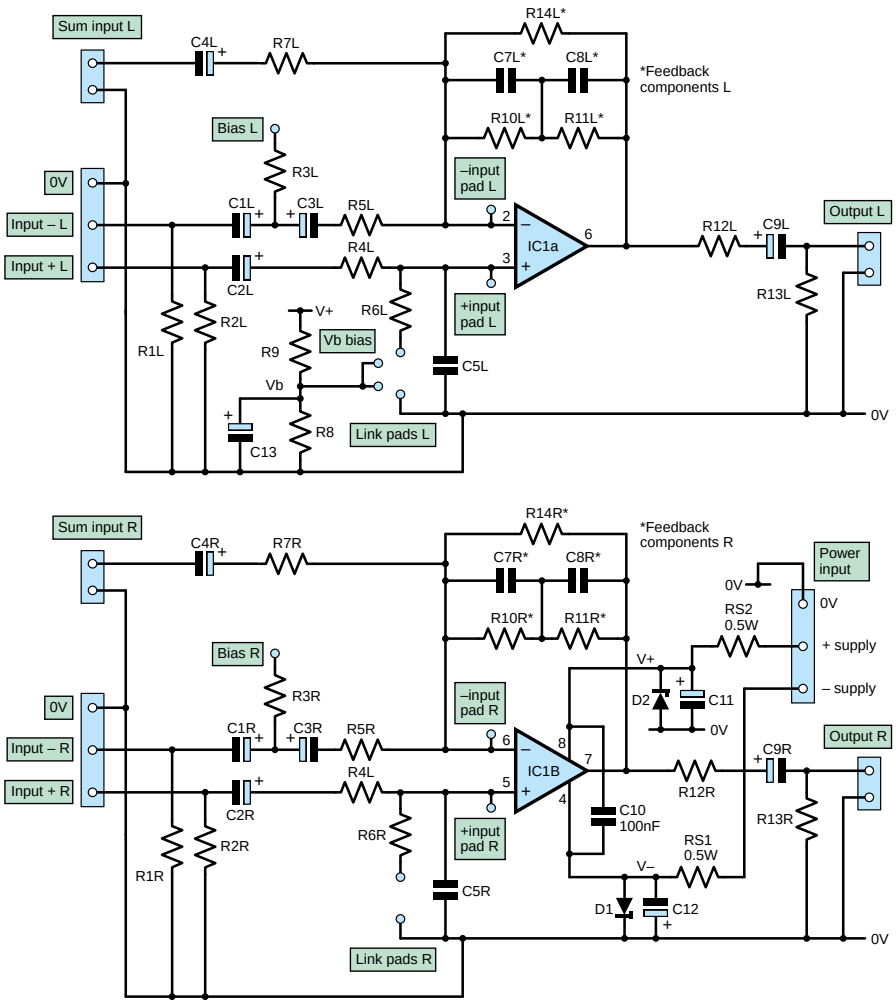
Dwukanałowy wzmacniacz różnicowy, który może posłużyć do tworzenia wejść symetrycznych pokazano na rysunku 31. Najważniejsze rezystory pracujące w układzie wzmacniacza różnicowego R4, R5, R6 i R14 mają wartość 3,3 kΩ. Daje to wynikową impedancję w układzie mostkowym, na stykach wejściowych złącza XLR, równą 9,9 kΩ. Standardowa minimalna wartość wynosi 10 kΩ, więc jesteśmy wystarczająco blisko. Jeśli sprzęt sterujący wzmacniaczem może akceptować niższą impedancję obciążenia, np. 600 Ω, zmniejszenie rezystancji spowoduje zmniejszenie poziomu szumów. Rozkład elementów jest pokazany na **rysunku 32**, a zmontowana płytka na **rysunku 33**. Zdjęcie widoczne na **rysunku 34** przedstawia płytkę zainstalowaną w starym wzmacniaczu mocy Citronic SA 200, eliminującą niesymetryczne wejścia typu Jack i zapewniającą pracę z niskim poziomem szumów. Napięcia zasilające wzmacniacz mają wartości ±43 V, a rezystory włączone szeregowo do diod Zenera (RS1 i RS2) mają wartość 2 kΩ i obciążalność 0,5 W. Spadek napięcia na tych rezystorach wynosi 27 V. Część prądu przepływającego przez każdy z tych rezystorów przepływa przez diody Zenera o napięciu 16 V (D1 i D2), pobierające 5 mA, oraz wzmacniacz operacyjny, który pobiera 8 mA. Należy pamiętać, że w innych układach, w których występują standardowe napięcia zasilające (±15 V), rezystory R1 i R2 powinny mieć wartość 22 Ω, a diody Zenera można pominąć.

Należy także pamiętać, że otwory montażowe płytki są połączone z masą sygnałową, i dlatego w przypadku stosowania metalowych wkrętów mogą powstać pętle w obwodzie masy. W takiej sytuacji najlepiej jest użyć plastikowych tulejek dystansowych.

Nieprzyjemnym akcentem było to, że dodanie płytki z wejściem symetrycznym spowodowało, że wzmacniacz wydawał nieprzyjemne odgłosy podczas włączania i wyłączania, co w pewnym sensie niweczyło jego zalety. Problem ten ujawnił się dopiero w praktyce, a nie na stanowisku testowym. Stwierdziłem, że wzmacniacze operacyjne z serii 5534 są szczególnie kłopotliwe pod tym względem. Zastąpienie ich modelem LM4562 wyeliminowało trzaski przy wyłączaniu i spowodowało nieznaczne zmniejszenie poziomu szumów. Dodatkowo, trzaski przy włączaniu zostały znacznie zredukowane poprzez umieszczenie kondensatora elektrolitycznego o pojemności 470 µF (C10) między dodatnim i ujemnym pinem zasilającym wzmacniacza operacyjnego.

Dla tych z nas, którzy odwiedzają antykwariaty w poszukiwaniu starych, porysowanych płyt, rozsądnym rozwiązaniem wydawało się stworzenie niedrogiego, dwukanałowego przedwzmacniacza z korekcją RIAA zmontowanego na jednej płytce, przydatnego do instalacji w tanich gramofonach z odzysku. Zasilanie przedwzmac-

eprasa.pl d2e0862bc0



Rysunek 29. Schemat uniwersalnej płytki PCB z podwójnym akustycznym wzmacniaczem operacyjnym. Układ jest taki sam jak we wzmacniaczu pojedynczym, z wyjątkiem elementów polaryzujących i dodatkowych regulatorów zasilania z diodami Zenera

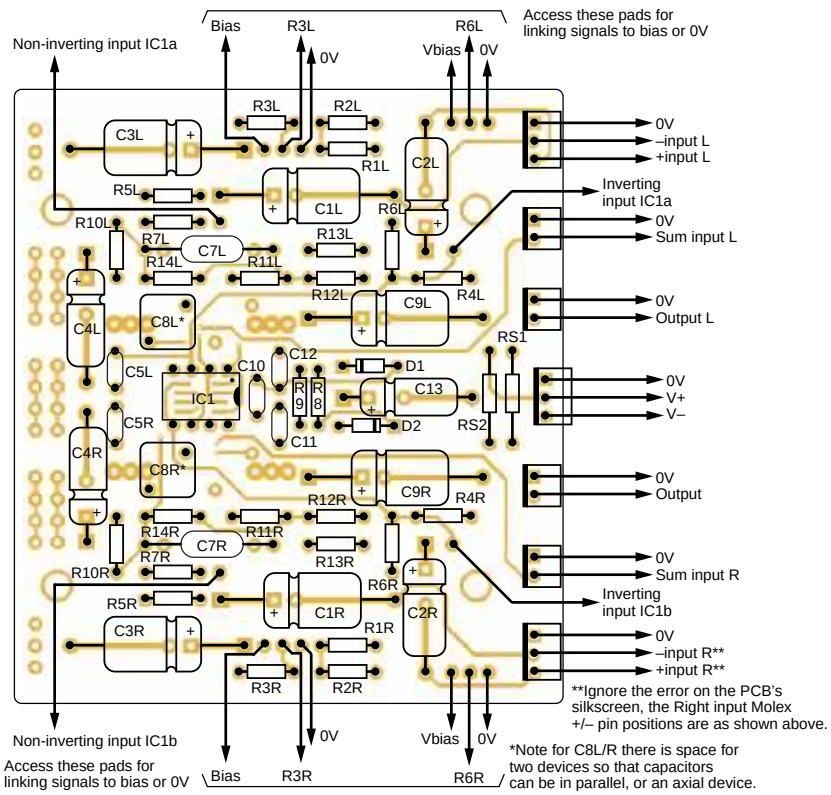
niacza można uzyskać z uzwojenia silnika za pomocą podwajacza napięcia. W dawnych czasach, kiedy stosowano silniki synchroniczne zasilane z sieci, czasami na cewce umieszczano dodatkowe uzwojenie, tworząc w ten sposób transformator.

Przejście z dwóch pojedynczych układów NE5534 na podwójny układ NE5532 powoduje pogorszenie stosunku sygnału do szumu o 1 dB (z –77 dB do –76 dB, w odniesieniu do wejścia o czułości 5 mV). Impedancja w układzie sprzężenia zwrotnego również uległa podwojeniu, jak pokazano na rysunku 24 w części 2 (dolny fragment). Powoduje to niewielki wzrost poziomu szumów, ale w przypadku odtwarzania starych, zakurzonych płyt jest to praktycznie nieistotne. Niższe obciążenie (442 Ω przy 20 kHz) układu sprzężenia zwrotnego poprawia odporność na przesterowania. Schemat układu pokazano na **rysunku 35**, rozkład elementów na **rysunku 36**, a zmontowaną płytkę na **rysunku 37**.

Jeśli do tego projektu chcesz użyć zasilacza jednoprzewodowego, należy zastosować układ do polaryzacji połową napięcia zasilającego i zastosować dodatkowe elementy. Są to R9, R8 (oba po 22 kΩ) i C13 o pojemności 22 µF na napięcie 25 V. Rezystory R6L i R6R muszą być podłączone do padów polaryzacji za pomocą przewodów.

Kondensatory niespolaryzowane

Należy pamiętać, że w przypadku wzmacniaczy operacyjnych zasilanych napięciem symetrycznym polaryzacja kondensatorów sprzęgających nie ma większego znaczenia. Aluminiowe kondensatory elektrolityczne i kondensatory tantalowe tolerują ciągłą, odwrotną polaryzację niewielkim napięciem stałym, dochodzącym do kilkuset mV. W przypadku wzmacniaczy operacyjnych z serii 5534, mających na wejściu tranzystory NPN, w sytuacji gdy rezystancje zastosowane w układzie mają wysokie wartości (jak we wzmacniaczu z korekcją RIAA), prądy polaryzacji wejść generują niewielkie ujemne przesunięcie napięcia wejściowego.



Rysunek 30. Rozkład ścieżek na płytce z podwójnym wzmacniaczem operacyjnym. Szkoda ukrywać tak piękną konstrukcję w metalowej obudowie, ale przydźwięki są koszmarem w przedwzmacniaczach z korekcją RIAA z powodu dużego podbicia basów

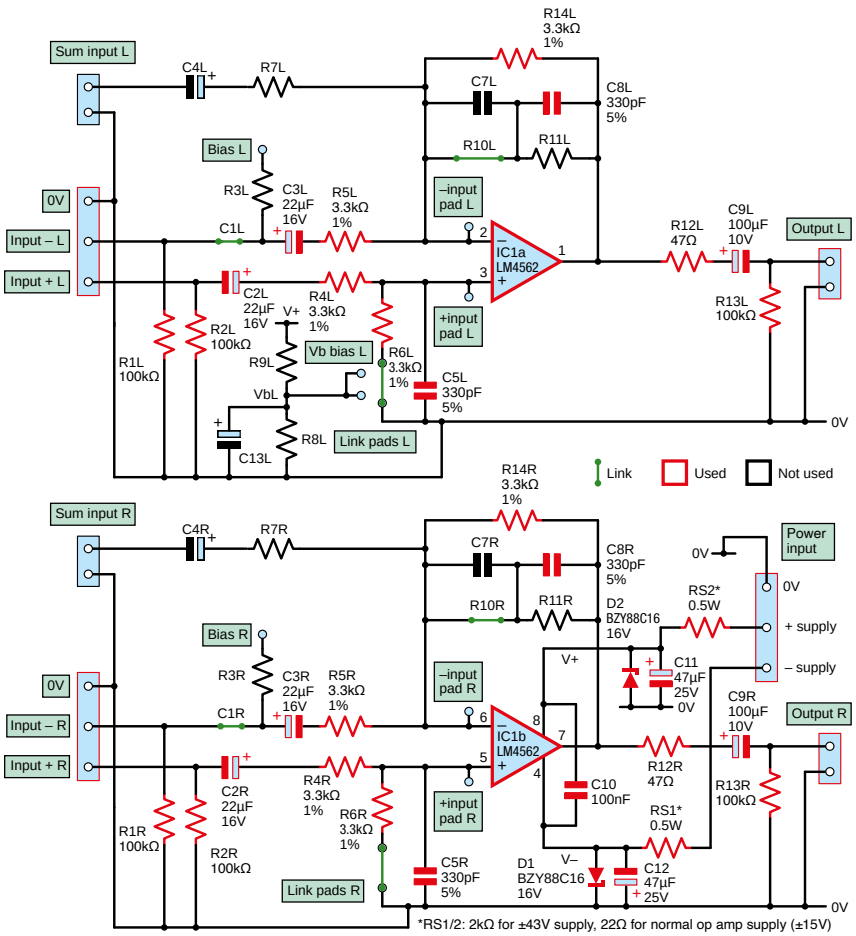
eprasa.pl d2e0862bc0

Komponenty

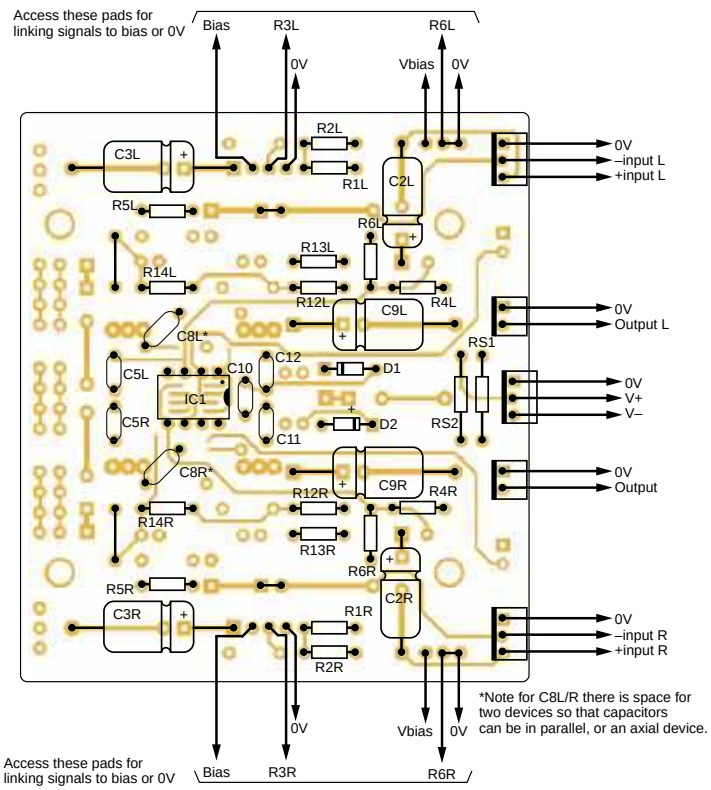
Komponenty stosowane w przedwzmacniaczu z korekcją RIAA o tolerancji 1% C7 (24,76 nF), C8 (7,15 nF), R5 (442 Ω), R10 (127 kΩ) i R11 (10,5 kΩ) są dostępne w pakiecie, dostępnym w PE PCB Service lub u autora tego tekstu. Po zbudowaniu kilku płytek i zbadaniu ich charakterystyk częstotliwościowych na analizatorze Audio Precision, z zadowoleniem stwierdziłem, że uzyskane wykresy prawie się od siebie nie różniły. Potwierdza to zalety elementów o tolerancji 1% i kondensatorów polistyrenowych o niewielkim, ujemnym współczynniku dryftu temperaturowego, wynoszącym −200 ppm/°C, kompensowanym przez dodatni współczynnik rezystorów metalizowanych wynoszącym +100 ppm/°C.

Poziom zniekształceń nieliniowych

Pomyślałem, że interesujący byłby pomiar poziomu zniekształceń nieliniowych wzmacniacza z korekcją RIAA, mającego wysokie wzmocnienie i skomplikowany układ korekcyjny. Co ciekawe, jedynym sposobem uzyskania miarodajnych wyników było poprzedzenie wzmacniacza z korektą RIAA pasywnym filtrem o odwrotnej charakterystyce, pokazanym na **rysunku 38**, w celu uzyskania możliwie płaskiej, wynikowej charakterystyki częstotliwościowej. Tłumienie sygnału wprowadzane przez dodatkowy filtr, po którym następuje silne wzmocnienie, skutkuje dość wysokim poziomem szumów i przydźwięku na wyjściu wzmacniacza. To z kolei powoduje błędy przy pomiarze zniekształceń nieliniowych. Tak więc pomiarowi podlega stosunek sygnału do zniekształceń i szumu (THD+N). Wyniki uzyskane w takich warunkach utrzymywały się na poziomie 0,02%, jak pokazano na **rysunku 39**. Jest to dziesięciokrotnie więcej niż w przypadku zwykłego wzmacniacza nieodwracającego o umiarkowanym wzmocnieniu, zbudowanego na układzie 5532. Uznałem to za zły wynik, ale inne wzmacniacze, które zmierzyłem, były znacznie gorsze. Biorąc pod uwagę poziom zniekształceń podczas odtwarzania płyt winylowych, które zazwyczaj przekraczają kilka procent, nie ma się czym martwić. Jednak wykresy zniekształceń wiele mówią o zachowaniu wzmacniacza, już na etapie projektowania, nawet jeśli jego wpływ na odtwarzane dźwięki może nigdy nie być słyszalny. Dziwnym zaskoczeniem było to, że poziom zniekształceń i szumów (THD+N) był niższy w wersji układu z pojedynczym zasilaniem. Podejrzewam, że winę ponosi dodatkowy szum pochodzący z zasilacza.

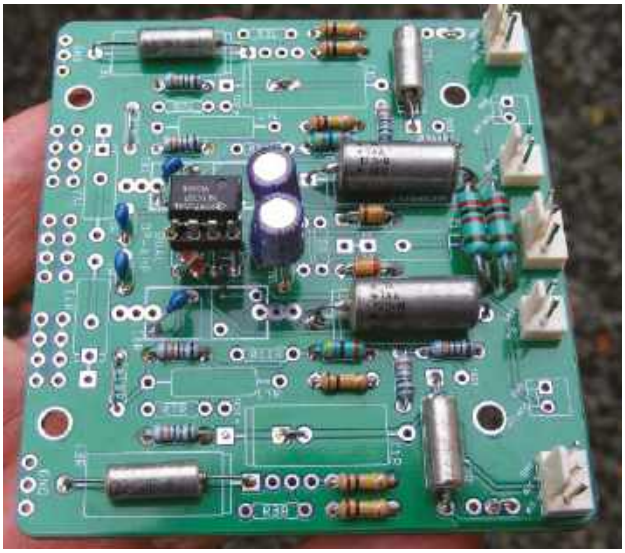


Rysunek 31. Dwukanałowy wzmacniacz z symetrycznym wejściem różnicowym.



Rysunek 32. Rozkład ścieżek na płytce z podwójnym wejściem symetrycznym

eprasa.pl d2e0862bc0



Rysunek 33. Widok zmontowanej podwójnej płytki wejściowej. Osoby o sokolim wzroku zauważą niewielki błąd w prototypowym egzemplarzu – połączenia pinów 5/6 wzmacniacza operacyjnego zostały odwrócone. Błąd ten został poprawiony w egzemplarzach produkcyjnych

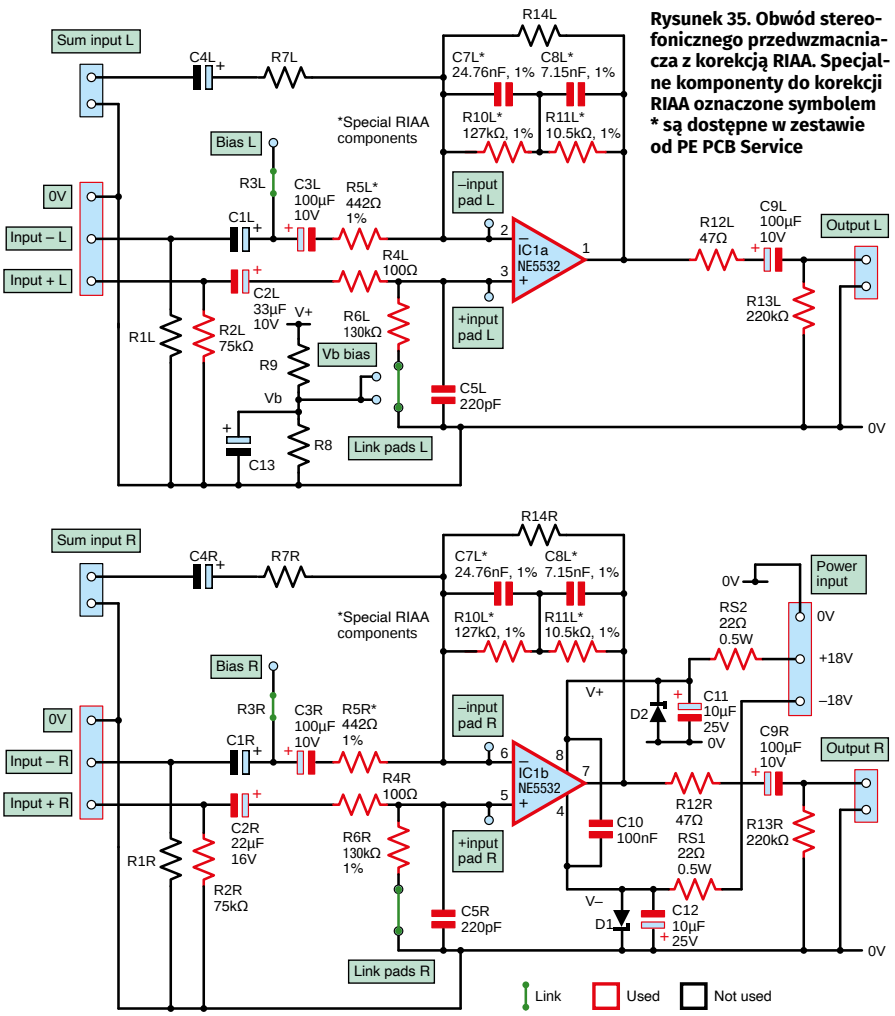


Rysunek 34. Widok zmontowanej płytki zainstalowanej we wzmacniaczu mocy

Przydatne urządzenie

Te uniwersalne płytki ze wzmacniaczami operacyjnymi zostały zaprojektowane z myślą o eksperymentach i oczywiście tak właśnie się stało podczas zabawy z płytką przedwzmacniacza z korekcją RIAA. Zastanawiałem się nad sposobem zasilania tego układu i przyszło mi do głowy by wykorzystać do tego napięcie fantomowe. Byłoby to bardzo użyteczne, ponieważ większość konsol mikserskich i interfejsów akustycznych USB posiada wejścia mikrofonowe z zasilaniem fantomowym, a nie zawiera wejść gramofonowych z korekcją RIAA. Krótka rozmowa z Mike'iem Grindle'em ujawniła, że także zastanawiał się, jak podłączyć gramofon do swojego miksera, a mój syn miał podobny problem z interfejsem komputerowym Focusrite. Klasycznym, lecz kosztownym sposobem na wykorzystanie napięcia fantomowego jest użycie transformatorów wyjściowych z odczepem na środku uzwojenia wtórnego, jak pokazano na **rysunku 40**. Fizyczna konstrukcja tego układu jest pokazana na **rysunku 41**.

Pomiary wydajności prądowej kilku typowych wejść XLR z zasilaniem fantomowym wykazały, że maksymalny prąd wyjściowy wynosi 6,6 mA. Wynika to z użycia dwóch standardowych rezystorów zasilających o wartości 6,8 kΩ. Większość testowanych urządzeń komercyjnych dawała napięcie fantomowe mniejsze od standardowego, wynoszącego 48 V. Mikser Behringer za 29 funtów dostarczał napięcie o wartości 44 V, a Focusrite o wartości 46,5 V. Jednak było jasne, że można w ten sposób zasilać wzmacniacz operacyjny typu 5532, który może pracować przy napięciu pojedynczym do około 30 V i pobiera prąd o natężeniu 8 mA. Układ został przetestowany i działał bezbłędnie. Jednak użyte w nim transformatory były drogie (co najmniej 20 funtów za parę) i martwiłem się, że po podłączeniu do wzmacniacza operacyjnego, który osiągał wzmocnienie 50 dB przy częstotliwości 20 Hz, w obecności przydźwięku pochodzącego z gramofonu mogłoby następować nasycenie rdzeni



Rysunek 35. Obwód stereofonicznego przedwzmacniacza z korekcją RIAA. Specjalne komponenty do korekcji RIAA oznaczone symbolem * są dostępne w zestawie od PE PCB Service

eprasa.pl d2e0862bc0

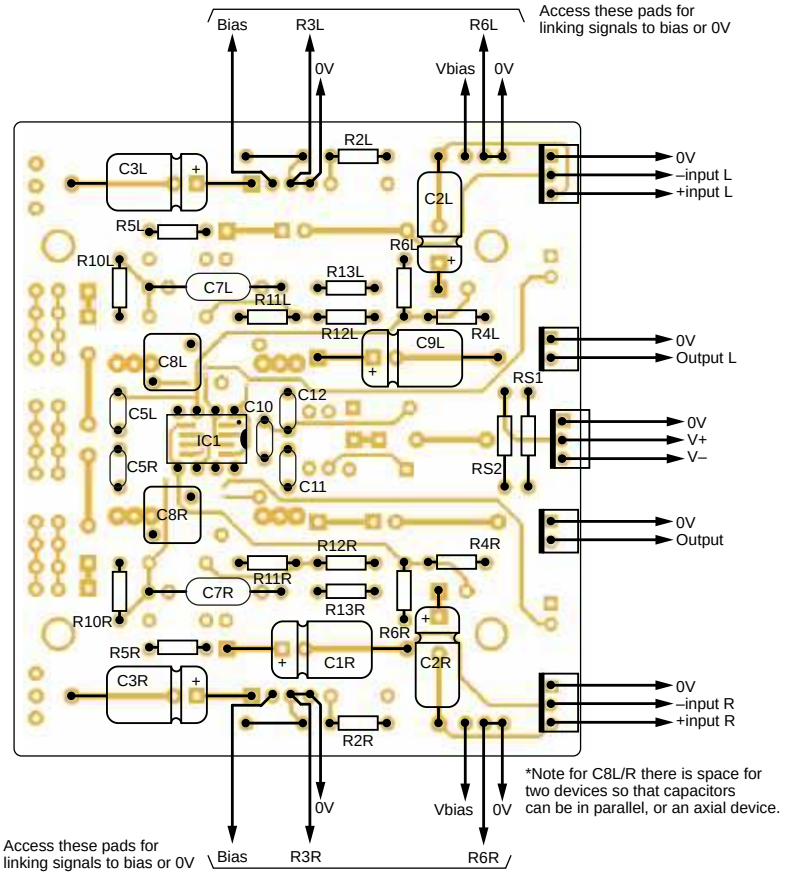
transformatorów. Chciałem sprawdzić, czy układ zbudowany w oparciu o drogie, profesjonalne transformatory może być zrealizowany tańszym kosztem. Nie mogąc liczyć na zasilanie wzmacniacza z odczepu na uzwojeniu wtórnym transformatora trudno było stworzyć układ zapewniający prawidłowy przepływ prądu w obwodzie fantomowym.

Wyjście quasi-symetryczne

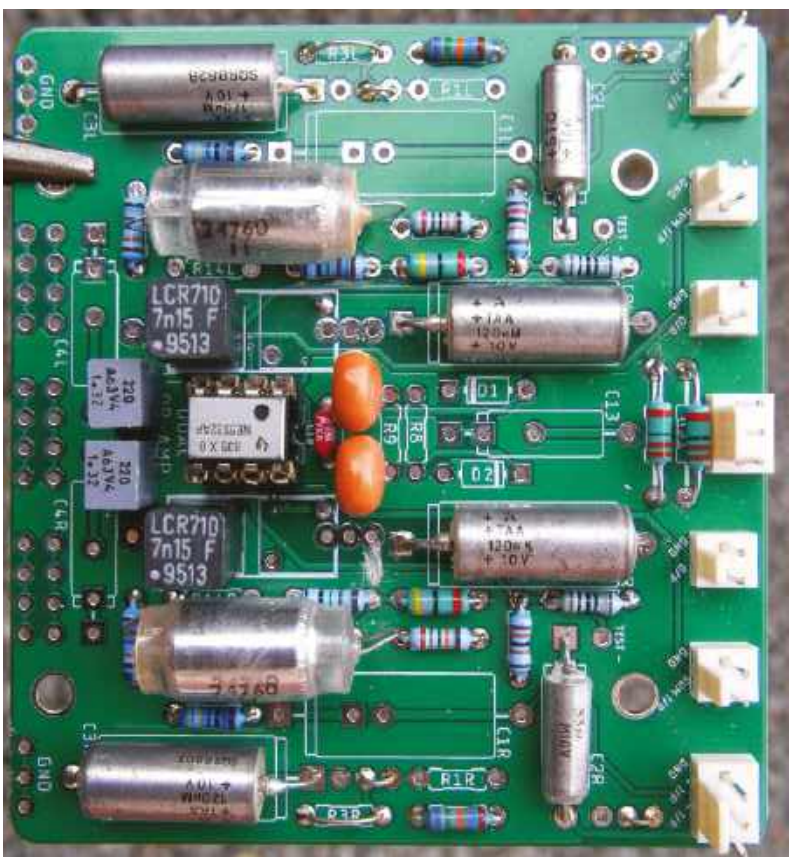
W przypadku typowej wkładki gramofonowej z ruchomym magnesem poziom sygnału na wyjściu wzmacniacza z korekcją RIAA wynosi około 150 do 600 mV_{pp}. Dlatego nie jest konieczne stosowanie w pełni symetrycznego wyjścia, aby uzyskać niski poziom szumów. Wystarczy wykorzystać tylko jeden przewód symetrycznej linii wyjściowej. Drugi przewód jest utrzymywany na tym samym poziomie impedancji względem masy, aby uzyskać tłumienie zakłóceń wspólnych dla wejścia symetrycznego. Oczywiście oba przewody mogą być wykorzystane do zasilania fantomowego, które jest odseparowane przez kondensatory i kierowane do obwodu zasilającego wzmacniaczy operacyjnych za pośrednictwem rezystorów. W przeciwieństwie do zasilania transformatorowego z odczepem na środku uzwojenia wtórnego, gdzie sygnał akustyczny nie występuje, w zmodyfikowanym układzie na napięcie fantomowe o wartości +48 V DC nakładany jest wyjściowy sygnał akustyczny, więc konieczne jest użycie dużego kondensatora odsprzęgającego zasilanie (C11). Stosowny układ pokazano na **rysunku 42**. Podłączenie rezystorów zasilania fantomowego o wartości 820 Ω musi być wykonane poza płytką, jak pokazano na **rysunku 43a**.

Sygnalizacja z użyciem diody LED

Dobrym pomysłem jest zastosowanie diody LED o niskim poborze prądu, aby sygnalizować, że zasilanie fantomowe jest dostępne. Można zastosować po jednej diodzie dla każdego złącza XLR. Ja używam pomarańczowych diod LED Kingbright L-7104SEC, ponieważ świecą wystarczająco jasno przy prądzie nie przekraczającym 1 mA. Są nieco droższe od zwykłych diod LED, ale są tego warte. W tym zastosowaniu liczy się każdy miliamper. Do zasilania każdej z diod LED użyłem czterech rezystorów o wartości 150 kΩ podłączonych do każdej z aktywnych końcówek złącza XLR, jak pokazano na **rysunku 43b**. Maksymalne napięcie dostępne na wzmacniaczu operacyjnym typu 5532 z takim obwodem zasilania fantomowego wynosi 27 V. Przy zastosowaniu układu LM833 wzrasta ono do 32 V.

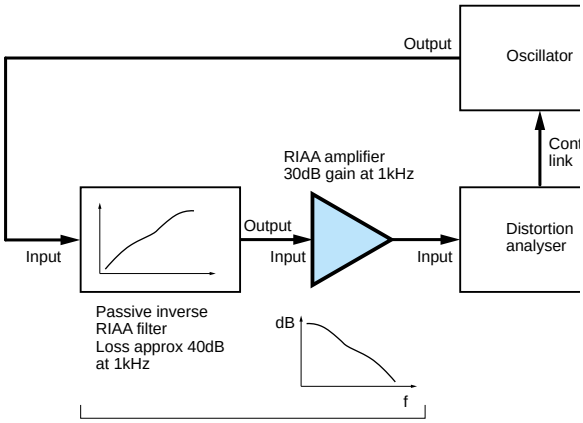


Rysunek 36. Rozkład ścieżek na płytce stereofonicznego przedwzmacniacza z korekcją RIAA

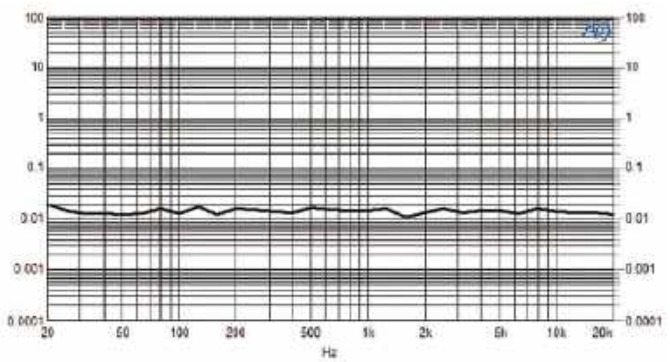


Rysunek 37. Zmontowana płytka przedwzmacniacza z korekcją RIAA

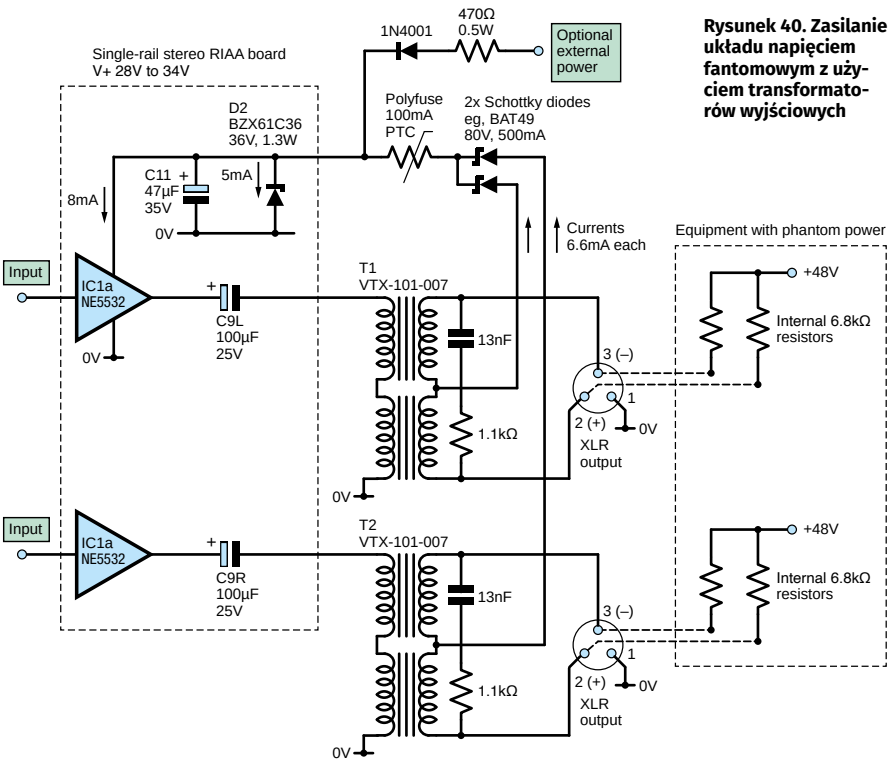
eprasa.pl d2e0862bc0



Rysunek 38. Pomiar zniekształceń we wzmacniaczach z korekcją RIAA jest trudne. W tej konfiguracji ogólna charakterystyka częstotliwościowa jest płaska dzięki wstawieniu odwrotnego filtra RIAA na wejściu



Rysunek 39. Wykres poziomu zniekształceń przedwzmacniacza z korekcją RIAA, wykorzystującego układ NE5532. Większość zniekształceń stanowił szum spowodowany znacznym tłumieniem (–40 dB) przez odwrotny filtr wejściowy



Rysunek 40. Zasilanie układu napięciem fantomowym z użyciem transformatorów wyjściowych



Rysunek 41. Płytka z podwójnym wzmacniaczem operacyjnym może być zasilana fantomowo za pomocą pary transformatorów Vigotronix. Na środkowym odczepie uzwojenia wtórnego dostępne jest napięcie stałe o wartości 48 V

Dostosowanie płytki

Płytki uniwersalne mogą wyglądać dość niechlujnie, jak pokazano na **rysunku 44**, ilustrującym sposób adaptacji płytki stereofonicznego przedwzmacniacza z korekcją RIAA do niesymetrycznego zasilania napięciem fantomowym. Należy zwrócić uwagę, że niewykorzystywana końcówka złącza symetrycznego jest sprzęgnięta przez kondensator (C1) i również służy do zasilania przedwzmacniacza.

Wszystko w jednej obudowie

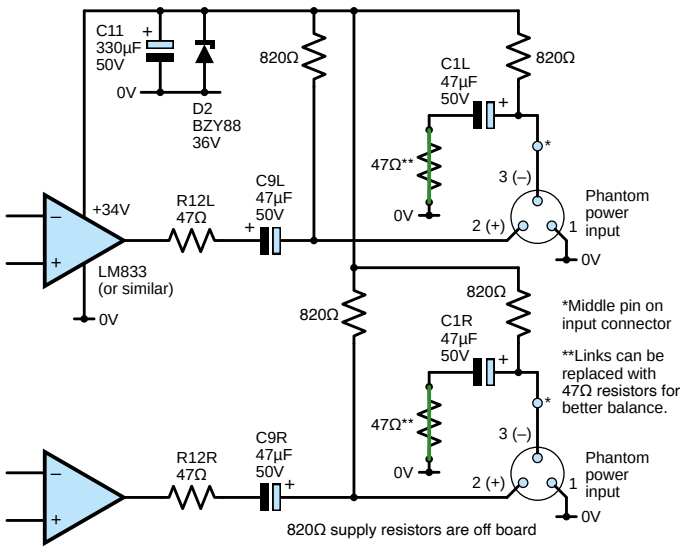
Ponieważ nie musimy się już zastanawiać nad rozmieszczeniem dużych transformatorów, płytkę drukowaną, dwa złącza wejściowe i dwa złącza męskie XLR można zmieścić w zgrabnej obudowie Hammond, jak pokazano na **rysunku 45**. Przedwzmacniacz w ostatecznej wersji pokazanej na **rysunku 46**, może być umieszczony blisko gramofonu. Wyjście o niskiej impedancji może pracować z bardzo długimi przewodami. Tak więc przedwzmacniacz jest zasilany poprzez kabel wyjściowy i nie wymaga osobnych urządzeń zasilających.

Nieprawidłowe połączenia

Wnikliwy Czytelnik zauważy, że połączenia w pobliżu rezystora R6 umieszczonego na płytce z przedwzmacniaczem RIAA, pokazanym na rysunku 23 część 2, muszą być przesunięte o jedno oczko w dół. Prawidłowe połączenia są pokazane na rysunku 24 (górna część) część 2.

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

eprasa.pl d2e0862bc0



Rysunek 42. Układ quasi-symetrycznych wyjść zasilanych fantomowo. Ta sztuczka jest często stosowana w mikrofonach beztransformatorowych, takich jak Neumann TLM170

Dostępność elementów do budowy przedwzmacniacza z korekcją RIAA

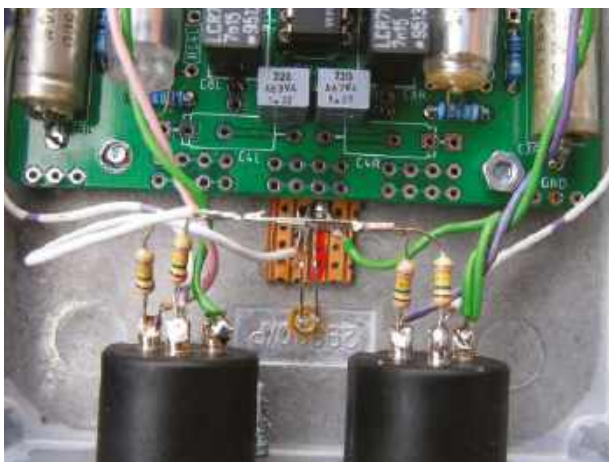
Płytka drukowana z podwójnym wzmacniaczem operacyjnym (AO1-APR23) oraz zestaw precyzyjnych kondensatorów i rezystorów do korektora RIAA są dostępne w firmie PE PCB SERVICE. ■

Jake Rothman

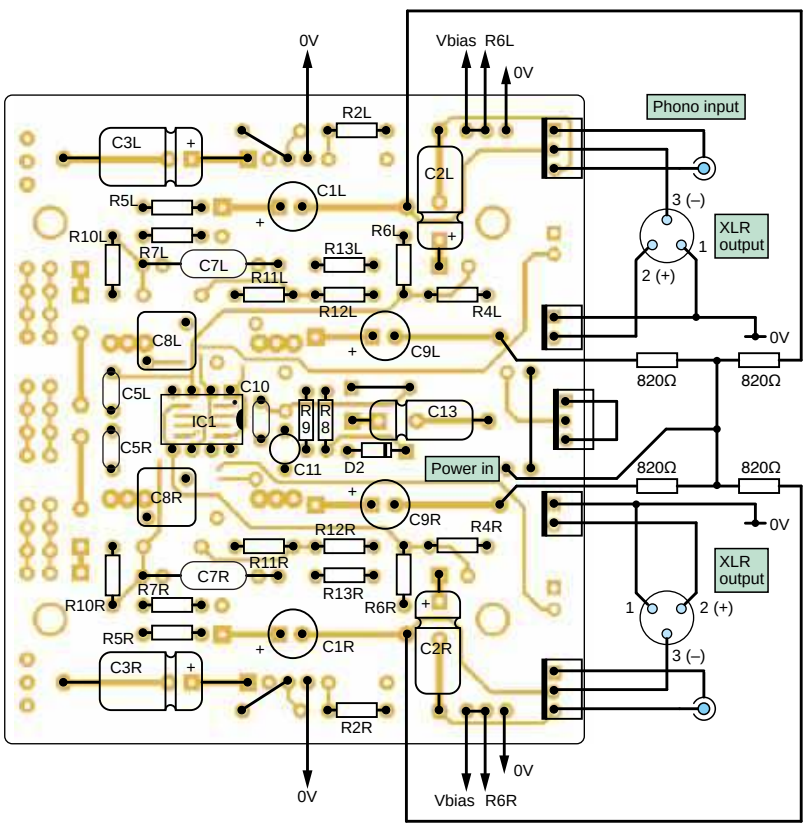
a)



b)



Rysunek 43. a) zasilanie fantomowe jest doprowadzane przez cztery rezystory o wartości 820 Ω umieszczone poza płytką; b) zasilanie diody LED sygnalizacyjnej przez cztery rezystory o wartości 150 kΩ



Rysunek 44. Rozmieszczenie ścieżek i elementów do zasilania fantomowego na płytce drukowanej



Rysunek 45. Wnętrze zmontowanego przedwzmacniacza z korekcją RIAA zasilanego fantomowo



Rysunek 46. Gotowy przedwzmacniacz z korekcją RIAA zasilany fantomowo

eprasa.pl d2e0862bc0

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.



Algorytm MP3, opracowany przez Fraunhofer Institut, pozwala przekształcić utwór zajmujący na płycie audio CD około 27,5 MB w plik o wielkości zaledwie 2,5 MB – przy zachowaniu niemal tej samej jakości dźwięku. Osiągnięcie takiego efektu wymaga jednak zastosowania zaawansowanych metod przetwarzania sygnału.

Od redakcji: Powyższy opis stanowi uproszczony model działania kompresji MP3. W rzeczywistości algorytm MPEG-1/2 Audio Layer III opiera się na hybrydowym banku filtrów (polyphase + MDCT), zaawansowanym modelu psychoakustycznym oraz kwantyzacji współczynników widmowych połączonej z kodowaniem Huffmana. Przedstawione w artykule mechanizmy, takie jak DCT, „odczyt zygzakowy" czy klasyczne RLE, mają charakter poglądowy i służą zilustrowaniu ogólnych idei cyfrowego przetwarzania sygnałów.

Próbkowanie liniowe 2×16 bitów

Na początku prac nad płytą audio CD pojawiło się pytanie, z jaką rozdzielczością bitową należy próbkować dźwięk, aby uzyskać jakość porównywalną z analogową. Po przeprowadzeniu szeroko zakrojonych eksperymentów – z udziałem orkiestr, nagrań z płyt winylowych oraz materiałów cyfrowych – między innymi przez Philips w sali Concertgebouw w Amsterdam, stwierdzono, że stereofoniczny sygnał analogowy próbkowany z rozdzielczością 2×16 bitów zapewnia po odtworzeniu jakość akceptowalną dla większości słuchaczy.

Parametr 2×16 bitów stał się standardem digitalizacji dźwięku w zastosowaniach nieprofesjonalnych. Wykorzystano go nie tylko w formacie audio CD, lecz również w popularnym formacie plików WAV, obsługiwanym standardowo przez system Microsoft Windows.

44 100 próbek na sekundę

Drugim istotnym zagadnieniem było określenie, ile próbek o rozdzielczości 2×16 bitów należy rejestrować w ciągu sekundy, aby zachować wysoką jakość dźwięku. Również w tym zakresie przeprowadzono liczne eksperymenty, w wyniku których – jako rozsądny kompromis – przyjęto standardową częstotliwość próbkowania wynoszącą 44 100 próbek na sekundę.

Próbkowanie liniowe

Trzecim elementem przyjętego standardu było założenie, że w strumieniu danych nie stosuje się żadnej formy redukcji informacji. Oznacza to, że chwilowe wartości analogowych sygnałów audio lewego i prawego kanału są zawsze przetwarzane 44 100 razy na sekundę na kody cyfrowe o rozdzielczości 2×16 bitów.

Nawet jeśli w nagraniu występuje bardzo cichy fragment, który teoretycznie można by zapisać przy użyciu mniejszej liczby bitów, i tak rejestrowane są pełne próbki 2×16 bitów z niezmienną częstotliwością próbkowania.

Takie podejście nazywa się próbkowaniem liniowym. Jego zaletą jest prostota realizacji technicznej. Wadą – bardzo duża ilość danych: jedna sekunda dźwięku generuje strumień o przepływności aż 1 411 200 bitów, czyli około 1,4 Mb.

Dla wielu zastosowań to zdecydowanie za dużo

Strumień danych o przepływności 1,4 Mb/s można było jeszcze – z pewnym zapasem – zapisywać i odczytywać z płyty audio CD. Jednak wraz ze wzrostem zapotrzebowania na przesyłanie dźwięku za pośrednictwem sieci teleinformatycznych tak duża ilość danych stała się istotnym ograniczeniem.

eprasa.pl d2e0862bc0

Pojawiła się potrzeba opracowania systemu, który umożliwi digitalizację dźwięku przy znacznie mniejszej przepływności, bez wyraźnego pogorszenia jego jakości.

MP3 opracowane przez Fraunhofer Institut

Rozwiązanie tego problemu – format MP3 – zostało opracowane w 1991 roku przez Fraunhofer Institut we współpracy z University of Erlangen–Nuremberg. MP3 pozwala zmniejszyć rozmiar plików WAV nawet 10…12-krotnie, bez zauważalnej utraty jakości dźwięku. Po konwersji do MP3 przepływność danych spada typowo do około 117,7 kb/s.

W przypadku niższych wymagań jakościowych – na przykład przy transmisji mowy o jakości zbliżonej do telefonicznej – MP3 może zmniejszyć strumień danych nawet 96-krotnie w stosunku do formatu WAV.

Utwór Tom's Diner autorstwa Suzanne Vega był pierwszym nagraniem wykorzystanym do testowania jakości formatu MP3 i udoskonalania algorytmu kompresji. Po każdej modyfikacji algorytmu odsłuchiwano ten utwór, zwracając szczególną uwagę na to, aby subtelne cechy głosu wokalistki nie ulegały pogorszeniu.

Wybrano go ze względu na niemal monofoniczny charakter oraz szerokie widmo częstotliwości, co ułatwiało wychwycenie niedoskonałości algorytmu kompresji podczas odsłuchu.

Moving Picture Experts Group

Moving Picture Experts Group (MPEG) – międzynarodowa organizacja opracowująca standardy cyfrowego wideo – włączyła format MP3 do swoich standardów MPEG-1, a później także MPEG-2.

W tych standardach dane dźwiękowe MP3 są określane odpowiednio jako MPEG-1 Audio oraz MPEG-2 Audio.

MP3 staje się standardem międzynarodowym

7 lipca 1994 roku Fraunhofer Institut udostępnił pierwszy programowy koder MP3 o nazwie l3enc. Dzięki temu praktycznie każdy mógł rozpocząć konwersję plików WAV oraz nagrań z płyt audio CD do formatu MP3.

Rozszerzenie plików .mp3 zostało wprowadzone 14 lipca 1995 roku przez zespół Fraunhofera – wcześniej stosowano rozszerzenie .bit. Już 9 września 1995 roku pojawił się pierwszy programowy dekoder MP3 działający w czasie rzeczywistym – WinPlay3 – który umożliwił odtwarzanie plików MP3 na zwykłym komputerze PC.

Format MP3 stał się powszechnym standardem przesyłania i odtwarzania dźwięku cyfrowego wraz z pojawieniem się popularnego odtwarzacza Winamp firmy Nullsoft, wydanego w 1997 roku. Program ten przez wiele lat był jednym z najczęściej używanych odtwarzaczy na komputerach z systemem Windows.

W listopadzie tego samego roku uruchomiono serwis MP3.com, z którego można było bezpłatnie pobierać tysiące utworów w formacie MP3. Sukces tej oraz wielu podobnych stron wynikał z niewielkich rozmiarów plików MP3, które można było szybko pobierać, zachowując przy tym dobrą jakość dźwięku.

W tym okresie pojawiło się również pojęcie „piractwa muzycznego", wprowadzone przez wydawców fonograficznych w odpowiedzi na spadek przychodów oraz rosnącą skalę nielegalnego udostępniania plików MP3, co doprowadziło do licznych sporów prawnych.

W 1998 roku firma SaeHan Information Systems wprowadziła na rynek pierwszy przenośny cyfrowy odtwarzacz audio typu solid-state – MPMan.

Kompresja stratna (lossy)

Algorytm MP3 z definicji tworzy pliki, które nie są identyczne z oryginalnym zapisem cyfrowym. Tego typu przetwarzanie określa się jako kompresję stratną (lossy). Oznacza to, że część informacji zawartej w sygnale audio jest celowo usuwana, aby zmniejszyć objętość danych.

To właśnie stanowi główny zarzut wobec formatu MP3 ze strony audiofilów. Twierdzą oni, że nawet przy najwyższych przepływnościach pliki MP3 są słyszalnie gorsze od nagrań z płyt CD czy płyt winylowych. Z kolei inni, dysponujący dobrze wykształconym słuchem muzycznym, uważają, że przy przepływności rzędu 320 kb/s różnica między nieskompresowanym sygnałem z płyty CD a plikiem MP3 jest dla ludzkiego ucha praktycznie nie do wykrycia.

Jest to w istocie podobnie jałowa i niekończąca się dyskusja jak spór o to, czy człowiek jest w stanie usłyszeć zniekształcenia harmoniczne na poziomie 0,1%.

Podczas tworzenia pliku MP3 można ponadto decydować o stopniu kompresji, a więc o ilości traconych informacji. Z tego samego źródła – na przykład z pliku WAV – można wygenerować pliki MP3 o bardzo różnej jakości dźwięku i wielkości.

Połączenie znanych technik

Techniki kompresji stosowane w formacie MP3 nie są całkowicie nowe. W praktyce wykorzystują one między innymi opracowaną przez Philips metodę PASC (stosowaną wcześniej w systemie DCC), a także zaawansowane metody matematyczne używane w kodowaniu obrazu standardu MPEG. To właśnie unikalne połączenie tych rozwiązań daje bardzo dobre efekty kompresji.

Redukcja danych w MP3 opiera się na następujących zasadach:

- próg słyszenia ludzkiego ucha,
- podział sygnału na podpasma,
- zjawisko maskowania słuchowego,
- adaptacyjny przydział bitów,
- uśrednianie poziomu sygnału,
- dyskretna transformata kosinusowa (DCT),

eprasa.pl d2e0862bc0

- kodowanie długości serii (RLE),
- kodowanie entropijne,
- ograniczenie pasma przenoszenia.

MP3 krok po kroku
Próg słyszenia ludzkiego ucha

Ludzki słuch charakteryzuje się selektywną czułością w funkcji częstotliwości. Oznacza to, że można wyznaczyć krzywą słyszenia, podobną do przedstawionej na rysunku. Da się też określić próg słyszenia, czyli linię pokazującą, przy jakim poziomie dla danej częstotliwości dźwięk staje się jeszcze słyszalny.

Dźwięki o poziomie niższym od tego progu nie są odbierane przez człowieka. Nie ma więc potrzeby ich kodowania. W pokazanym przykładzie algorytm MP3 pominie dźwięk o częstotliwości 60 Hz i nie będzie go digitalizował, ponieważ i tak nie zostałby usłyszany.



Krzywa słyszenia ludzkiego ucha (© 2023 Jos Verstraten)

Podział na podpasma

W praktyce przeprowadzenie analizy progu słyszenia dla każdej pojedynczej częstotliwości byłoby zbyt złożone. Dlatego zakres częstotliwości sygnału audio dzieli się na 32 wąskie podpasma.

Podpasma te – jak pokazano na rysunku – są rozmieszczone liniowo wzdłuż osi częstotliwości. Następnie algorytm MP3 dla każdego podpasma oblicza stosunek aktualnego poziomu sygnału do przypisanego (zdefiniowanego) progu słyszenia.

Jeżeli zawartość amplitudowa danego podpasma znajduje się poniżej progu słyszenia, jego sygnał nie jest kodowany.



MP3 wykorzystuje 32 podpasma o bardzo wąskiej szerokości pasma (© 2023 Jos Verstraten)

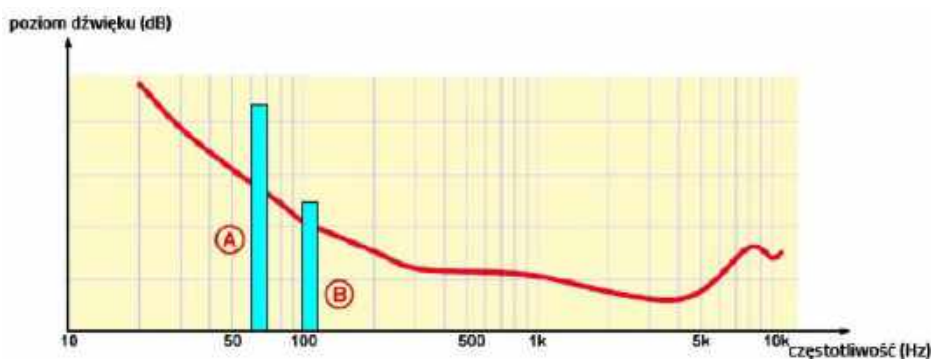
Zjawisko maskowania w ludzkim słuchu

Ludzki słuch wykazuje zjawisko maskowania. Można je wyjaśnić na podstawie wykresu: silny sygnał A może maskować słabszy sygnał B o zbliżonej częstotliwości. W takim przypadku słabszy sygnał nie zostanie usłyszany, nawet jeśli jego poziom przekracza próg słyszenia.

Drugie zjawisko maskowania występuje w dziedzinie czasu. Jeśli cichy dźwięk zostanie poprzedzony o kilka milisekund przez dźwięk głośny, również może pozostać niesłyszalny.

Zjawiska te zostały zaobserwowane już w 1894 roku przez Alfred M. Mayer, a w 1959 roku Richard Ehmer opisał pełny zestaw krzywych słuchowych związanych z tym efektem.

Algorytm MP3 uwzględnia oba rodzaje maskowania. Oprogramowanie prowadzi ciągłą analizę zmian amplitudy w każdym podpaśmie, porównuje dane między sąsiednimi podpasmami oraz analizuje przebieg sygnału w czasie. Na tej podstawie podejmowana jest decyzja, które składniki sygnału należy zachować, a które można pominąć w dalszym przetwarzaniu.



Zjawisko maskowania w ludzkim słuchu (© 2023 Jos Verstraten)

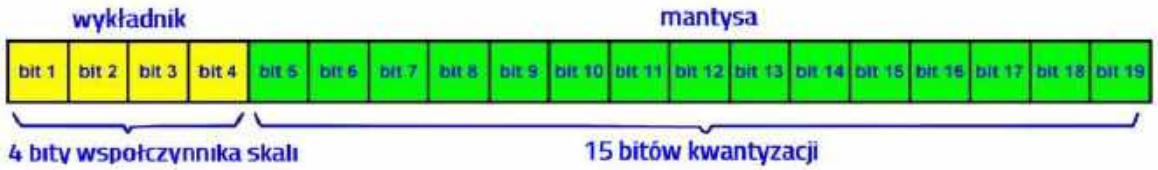
eprasa.pl d2e0862bc0

Adaptacyjny przydział bitów

W kolejnym etapie wszystkie składowe sygnału znajdujące się powyżej progu słyszenia oraz progów maskowania muszą zostać poddane cyfrowemu przetwarzaniu. W algorytmie MP3 stosuje się tzw. kwantyzację zmiennoprzecinkową (floating point quantization).

Jest to proces dynamiczny, w którym każdej próbce przydzielana jest tylko taka liczba bitów, jaka jest niezbędna do jej kwantyzacji. Dla jednej próbki może to być na przykład 19 bitów, natomiast dla innej wystarczy zaledwie 4 bity.

Bity przypisane do każdej próbki dzielone są na dwie grupy. Część z nich określa tzw. współczynnik skali (scale factor), natomiast pozostałe służą bezpośrednio do kwantyzacji próbki. Zasadę tę ilustruje poniższy rysunek.



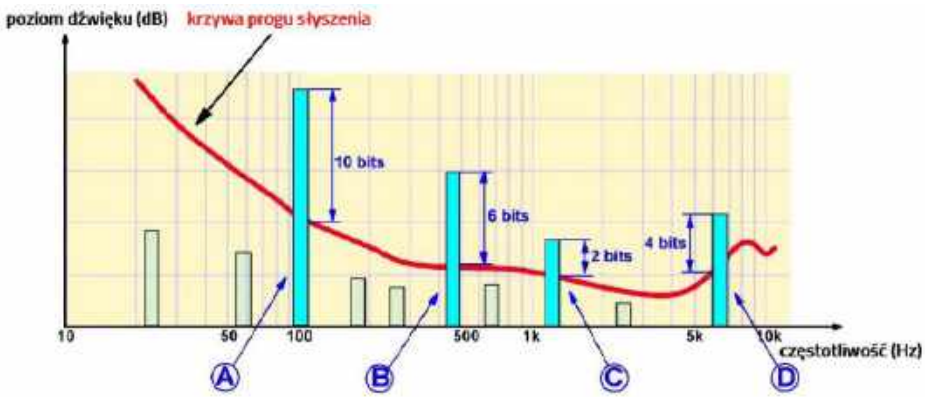
Dwie grupy bitów przypisane do każdej próbki (© 2023 Jos Verstraten)

Złożony proces przydziału bitów do poszczególnych próbek można wyjaśnić na podstawie rysunku. W przykładzie rozpatruje się dziesięć próbek należących do dziesięciu różnych podpasm. Próbki zaznaczone linią przerywaną nie są kwantyzowane, ponieważ znajdują się poniżej progu słyszenia.

Pozostają więc próbki A, B, C i D. Część amplitudy znajdującą się poniżej krzywej progu można opisać jedną wartością – współczynnikiem skali. Oczywiście dla każdego podpasma współczynnik ten ma inną wartość. Jest on zapisywany w pierwszych bitach.

Następnie MP3 koduje wyłącznie tę część sygnału, która znajduje się powyżej progu słyszenia. Dodatkowo system uwzględnia wielkość amplitudy: sygnał C, znajdujący się tylko nieznacznie powyżej progu, może być zakodowany z użyciem zaledwie 2 bitów, natomiast dla sygnału A o dużej amplitudzie algorytm przydziela na przykład 10 bitów.

W praktyce oznacza to, że tylko w wyjątkowych przypadkach potrzebne jest pełne 16 bitów stosowane w audio CD lub formacie WAV do zakwantowania jednej próbki, co prowadzi do znacznej redukcji ilości danych.



Adaptacyjny przydział bitów zapewnia bardzo znaczną redukcję danych (© 2023 Jos Verstraten)

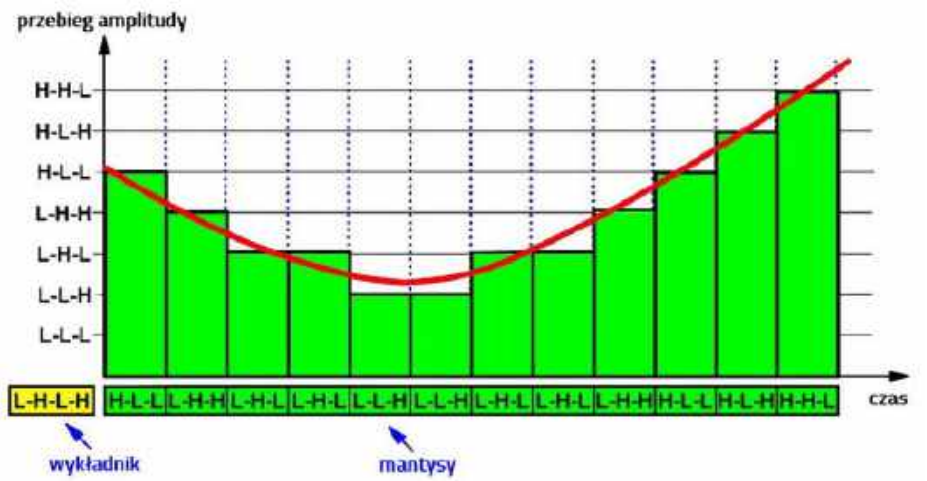
Uśrednianie poziomu sygnału

Kolejna redukcja ilości danych jest osiągana poprzez łączenie cyfrowych wartości kolejnych próbek w tzw. „okno”. Badania wykazały, że amplituda sygnału audio – w porównaniu z częstotliwością próbkowania 44,1 kHz – zmienia się stosunkowo powoli. Oznacza to, że dla grupy kolejnych próbek można wyznaczyć wartość średnią, a poszczególne próbki tylko nieznacznie się od niej różnią.

Dlatego dla pewnego przedziału próbek obliczana jest średnia wartość sygnału, która następnie zapisywana jest jednorazowo w postaci współczynnika skali. W dalszym etapie wystarczy zapisać jedynie odchylenia poszczególnych próbek od tej wartości średniej. W większości przypadków do ich zakodowania wystarczają 3 bity.

Zasadę tę ilustruje przykład: sygnał analogowy oscyluje wokół wartości średniej 2,0 mV. Algorytm MP3 wyznacza tę wartość i zapisuje ją jako współczynnik skali (np. „L-H-L-H”). Następnie dla każdej próbki obliczane jest odchylenie od wartości średniej i kodowane przy użyciu 3 bitów.

W rezultacie do opisania 12 próbek wystarczy: 4+(12×3)=40 bitów, co stanowi znaczną redukcję w porównaniu z: 12×16=192 bitami w standardzie audio CD lub formacie WAV.



Znaczna redukcja danych dzięki wprowadzeniu wartości średniej (© 2023 Jos Verstraten)

eprasa.pl d2e0862bc0

Dyskretna transformata kosinusowa (DCT)

Kolejnym bardzo istotnym etapem redukcji ilości danych jest zastosowanie tzw. DCT (Discrete Cosine Transform – dyskretnej transformaty kosinusowej). Jest to proces, w którym tzw. dwuwymiarowy, ciągły rozkład amplitudy przekształcany jest w dyskretne widmo częstotliwości.

Algorytm ten został zaproponowany przez Nasira Ahmeda w 1972 roku, a następnie rozwinięty wspólnie z T. Natarajanem i K. R. Rao. Wyniki ich prac opublikowano w 1974 roku.

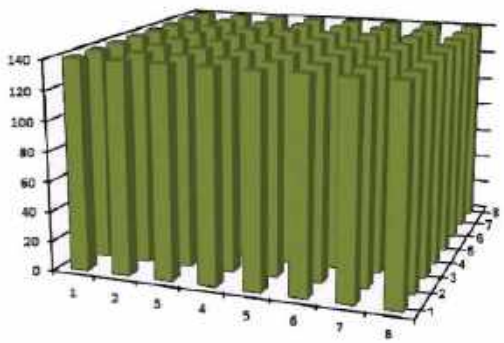
DCT jest złożonym narzędziem matematycznym. Można je porównać do transformacji Fouriera, stosowanej dla jednowymiarowych przebiegów sygnału. Przykładowo, prostokątny impuls (czyli przebieg jednowymiarowy w czasie) można rozłożyć na składowe harmoniczne. W efekcie otrzymujemy opis sygnału w postaci sumy sinusoid o różnych częstotliwościach i amplitudach. Jeśli pominiemy wyższe harmoniczne (np. powyżej dziesiątej), odtworzony sygnał nadal będzie w przybliżeniu przypominał pierwotny przebieg.

Dyskretna transformata kosinusowa działa na podobnej zasadzie, ale dla sygnałów dwuwymiarowych. Można to zilustrować prostym przykładem.

Pewna liczba danych – na przykład 64 bajty strumienia – zostaje zapisana w postaci macierzy (tzw. macierzy 1), jak pokazano na rysunku. Każde pole macierzy zawiera jeden bajt, a wartości przedstawione są w postaci liczb dziesiętnych.

macierz 1

119	124	129	133	135	135	135	135
124	131	133	136	139	138	136	136
120	125	140	133	128	136	136	136
139	131	132	130	130	139	139	139
139	130	131	132	132	135	135	135
131	131	131	132	130	127	127	125
132	132	131	133	134	137	137	137
132	132	132	131	136	138	138	138

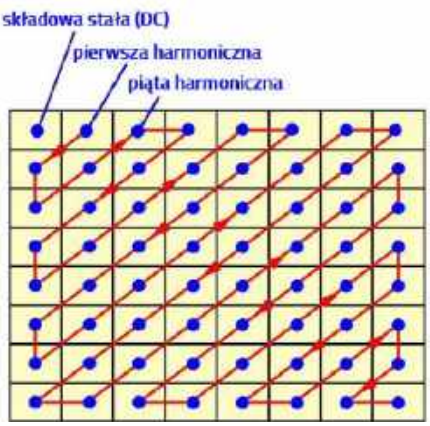


Pierwszy etap dyskretnej transformaty kosinusowej (DCT) (© 2023 Jos Verstraten)

Można to sobie wyobrazić jako wykres słupkowy: każdy bajt odpowiada wysokości słupka. Powierzchnia utworzona przez górne krawędzie tych słupków tworzy falującą strukturę, ponieważ wartości bajtów są różne. Ta „pofalowana powierzchnia" odpowiada właśnie wspomnianemu dwuwymiarowemu rozkładowi amplitudy – przypominającemu w pewnym sensie falisty krajobraz.

Taki przestrzenny przebieg można – za pomocą matematycznej metody zwanej dyskretną transformatą kosinusową – przekształcić w macierz współczynników, jak pokazano na odpowiednim rysunku.

Pierwszą zauważalną cechą jest to, że wartości w tej macierzy są znacznie mniejsze niż w macierzy pierwotnej. Liczby te nie reprezentują już bezpośrednio wartości bajtów, lecz współczynniki matematyczne opisujące przebieg „pofalowania" amplitudy w określony sposób. Współczynniki te określa się również mianem harmonicznych.



macierz 2

1260	-1	-12	-5	2	-2	-3	1
-23	-17	-6	-3	-3	0	0	-1
-11	-9	-2	2	0	-1	-1	0
-7	-2	0	1	1	0	0	0
-1	-1	1	2	0	-1	1	1
2	0	2	0	-1	1	1	-1
-1	0	0	-1	0	2	1	-1
-3	2	-4	-2	2	1	-1	0

Drugi etap dyskretnej transformaty kosinusowej (DCT) (© 2023 Jos Verstraten)

Mimo tej transformacji możliwe jest pełne odtworzenie danych: stosując odwrotną dyskretną transformatę kosinusową (IDCT), można na podstawie współczynników dokładnie zrekonstruować pierwotne wartości bajtów.

Dużą zaletą zastosowania DCT jest to, że wiele wyższych harmonicznych ma bardzo małe wartości. W praktyce najważniejsza informacja skupia się w lewym górnym obszarze macierzy – w przeciwieństwie do pierwotnej macierzy, gdzie duże wartości były rozłożone na całej powierzchni.

Jeśli te niewielkie współczynniki odpowiadające wyższym harmonicznym zostaną wyzerowane, wpływ na przebieg analizowanego fragmentu sygnału audio będzie znikomy. Dzięki temu DCT przygotowuje dane do kolejnego etapu – właściwej kompresji, w której następuje znaczące zmniejszenie ilości informacji.

Kwantyzacja macierzy DCT

W kolejnym etapie duże wartości współczynników są przekształcane w mniejsze poprzez podzielenie ich przez określony współczynnik. W wyniku tego procesu niewielkie wartości zostają zredukowane do zera.

macierz 2

1260	-1	-12	-5	2	-2	-3	1
-23	-17	-6	-3	-3	0	0	-1
-11	-9	-2	2	0	-1	-1	0
-7	-2	0	1	1	0	0	0
-1	-1	1	2	0	-1	1	1
2	0	2	0	-1	1	1	-1
-1	0	0	-1	0	2	1	-1
-3	2	-4	-2	2	1	-1	0

macierz 3

157	0	-1	0	0	0	0	0
-2	-2	0	0	0	0	0	0
-1	-1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

Kwantyzacja macierzy DCT (© 2023 Jos Verstraten)

eprasa.pl d2e0862bc0

Jeżeli więc poddamy kwantyzacji macierz DCT (macierz 2), pojawi się w niej bardzo dużo zer. Przykładowo, jeśli wszystkie wartości DCT zostaną podzielone przez 8, to po tej operacji pozostanie jedynie kilka (np. sześć) wartości różnych od zera – pozostałe, jako mniejsze od 8, zostaną wyzerowane.

W efekcie liczba zer w macierzy znacząco wzrasta, co bezpośrednio zwiększa stopień kompresji (o czym powiemy dalej). Należy jednak pamiętać, że podczas odtwarzania danych pierwotna macierz zostanie zrekonstruowana z mniejszą dokładnością niż w przypadku braku tej operacji, co oznacza pewną utratę informacji.

Tu powstaje kompresja stratna (lossy)

Macierz 2 można jeszcze w pełni przekształcić z powrotem w macierz 1 za pomocą IDCT. Jednak nawet jeśli wszystkie wartości z macierzy 3 ponownie pomnożymy przez 8, a następnie zastosujemy IDCT, otrzymamy jedynie przybliżenie pierwotnych wartości z macierzy 1.

Wprowadzenie kwantyzacji w macierzy DCT powoduje więc, że oryginalnego sygnału nie da się już dokładnie odtworzyć. Kompresja stratna (lossy) oznacza, że podczas procesu kompresji część informacji zostaje bezpowrotnie utracona i nie może zostać idealnie odzyskana.

Co istotne, zniekształcenia te mogą być na tyle niewielkie, że pozostają praktycznie niezauważalne dla ludzkiego ucha.

To właśnie stanowi podstawę wysokiej skuteczności kompresji MP3 – kosztem kontrolowanej, lecz nieuniknionej utraty części informacji.

Tworzenie szeregowego strumienia danych

Po kwantyzacji macierzy DCT dane są odczytywane z macierzy w sposób zygzakowy, co pozwala utworzyć szeregowy strumień danych. Taki sposób odczytu powoduje, że w powstałym ciągu często pojawiają się długie sekwencje zer.

Przykładowo, przy zygzakowym odczycie danych z macierzy 3, strumień może zawierać najpierw kilka wartości różnych od zera (np. dziewięć), a następnie długą sekwencję zer (np. 55).

Tego typu dane są bardzo korzystne z punktu widzenia dalszej kompresji, ponieważ klasyczne algorytmy kompresji wyjątkowo dobrze radzą sobie z długimi ciągami powtarzających się wartości, zwłaszcza zer.

Kodowanie długości serii (Run Length Encoding, RLE)

Pierwszym etapem redukcji licznych ciągów zer jest tzw. kodowanie długości serii (run length coding). Każdy element danych reprezentowany jest przez 8 bitów w postaci RRRR-SSSS.

Cztery bity R określają liczbę zer poprzedzających daną wartość, natomiast cztery bity S zawierają zakodowaną binarnie wartość tej danej.

Na przykład:

- strumień danych zawiera wartość odpowiadającą liczbie 5 – część S zostaje zakodowana jako „H-L-H-L” (czyli binarnie 0101),
- po niej występuje dziewięć kolejnych zer – nie są one zapisywane bezpośrednio,
- kolejna wartość ma kod dziesiętny 6 – ponieważ poprzedza ją dziewięć zer, część R przyjmuje wartość „H-L-L-H” (czyli binarnie 1001),
- część S dla tej wartości wynosi „L-H-H-L” (czyli 0110).

KOLEJNOŚĆ	KOD DZIESIĘTNY	KOD DŁUGOŚCI SERII (RLE)
001	005	X-X-X-X H-L-H-L
002	000	
003	000	
004	000	
005	000	
006	000	
007	000	
008	000	
009	000	
010	000	
011	006	H-L-L-H L-H-H-L

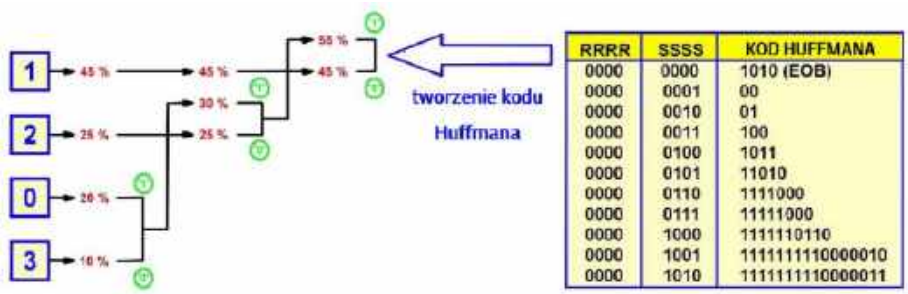
Zasada działania kodowania długości serii (RLE) (© 2023 Jos Verstraten)

Dzięki takiemu sposobowi kodowania długie ciągi zer mogą zostać zapisane bardzo efektywnie – często przy użyciu zaledwie jednego bajtu – co prowadzi do znacznej redukcji ilości danych.

Kodowanie entropijne metodą Huffmana

W ostatnim etapie algorytmu MP3 bajty uzyskane z kodowania długości serii (RLE) poddawane są tzw. kodowaniu entropijnemu według metody Huffmana.

W kodowaniu Huffmana analizowany jest statystyczny rozkład występowania poszczególnych kodów w strumieniu danych. Najczęściej pojawiające się kody otrzymują najkrótsze reprezentacje binarne (np. 2 bity), rzadziej występujące – nieco dłuższe (np. 3 bity), natomiast najrzadsze – najdłuższe możliwe kody.



RRRR	SSSS	KOD HUFFMANA
0000	0000	1010 (EOB)
0000	0001	00
0000	0010	01
0000	0011	100
0000	0100	1011
0000	0101	11010
0000	0110	1111000
0000	0111	11111000
0000	1000	1111110110
0000	1001	1111111110000010
0000	1010	1111111110000011

Zasada działania kodowania entropijnego (Huffmana) (© 2023 Jos Verstraten)

Przykładowo, jeśli pewien kod występuje bardzo często, może zostać zapisany za pomocą krótkiej sekwencji bitów, natomiast kod rzadki wymaga znacznie dłuższego zapisu. Aby umożliwić poprawne dekodowanie, dla każdego analizowanego fragmentu danych zapisywana jest odpowiednia tablica kodów (mapowanie), co wymaga dodatkowych bitów. Mimo to zysk wynikający ze skrócenia zapisu przeważa nad tym narzutem.

W efekcie kody RRRR-SSSS z etapu RLE, pierwotnie zajmujące po 8 bitów każdy, zostają zastąpione krótszymi kodami o zmiennej długości, co prowadzi do dalszej, znaczącej redukcji ilości danych.

eprasa.pl d2e0862bc0

Ograniczenie pasma przenoszenia
Wciąż potrzeba dalszej redukcji danych

Połączenie wszystkich opisanych technik pozwala uzyskać redukcję danych średnio około 13-krotną. Oznacza to, że strumień WAV o przepływności 1,4 Mb/s można zmniejszyć do około 107 kb/s. W praktyce jednak należy przyjąć wartość rzędu 125 kb/s, ponieważ w strumieniu danych muszą być również zawarte informacje pomocnicze niezbędne do odtworzenia sygnału.

W niektórych zastosowaniach nawet taka przepływność okazuje się zbyt duża – dotyczy to na przykład starszych systemów transmisji danych (jak ISDN czy połączenia modemowe), a także niektórych systemów specjalnych, np. łączności na bardzo długich falach wykorzystywanej do komunikacji z okrętami podwodnymi.

Dlatego jako ostatni etap kompresji wprowadzono ograniczenie pasma przenoszenia sygnału audio. W najwyższej jakości MP3 przy przepływności około 125 kb/s umożliwia uzyskanie pasma od 20 Hz do 20 kHz. Dalsze zawężenie zakresu częstotliwości – szczególnie od strony wysokich tonów – pozwala jeszcze bardziej zmniejszyć ilość danych, ale odbywa się to kosztem jakości dźwięku.

Sześć poziomów jakości

Twórcy formatu MP3 zdefiniowali sześć poziomów jakości, z których każdy ogranicza pasmo przenoszenia do określonej częstotliwości maksymalnej oraz zakłada określoną przepływność i zastosowanie:

Telephone sound (jakość telefoniczna)
- tryb: mono
- maksymalna częstotliwość: 2,5 kHz
- maksymalna przepływność: 8 kb/s (!)
- maksymalna kompresja: 96:1 (!)
- zastosowanie: transmisja mowy w jakości telefonicznej w czasie rzeczywistym

Better than shortwave (lepsze niż radio krótkofalowe)
- tryb: mono
- maksymalna częstotliwość: 4,5 kHz
- maksymalna przepływność: 16 kb/s
- maksymalna kompresja: 48:1
- zastosowanie: dźwięk o niskiej jakości (np. prosta muzyka)

Better than AM radio (lepsze niż radio AM)
- tryb: mono
- maksymalna częstotliwość: 7,5 kHz
- maksymalna przepływność: 32 kb/s
- maksymalna kompresja: 24:1
- zastosowanie: dźwięk średniej jakości

Similar to FM radio (zbliżone do jakości radia FM)
- tryb: stereo
- maksymalna częstotliwość: 11 kHz
- maksymalna przepływność: 64 kb/s
- maksymalna kompresja: 26:1
- zastosowanie: szybkie pobieranie nagrań muzycznych

Near-CD (zbliżone do jakości CD)
- tryb: stereo
- maksymalna częstotliwość: 15 kHz
- maksymalna przepływność: 96 kb/s
- maksymalna kompresja: 16:1
- zastosowanie: wysoka jakość dźwięku

Compact Disc (jakość płyty CD)
- tryb: stereo
- maksymalna częstotliwość: >15 kHz
- maksymalna przepływność: 128 kb/s
- maksymalna kompresja: 14:1
- zastosowanie: zastosowania profesjonalne/najwyższa jakość w MP3

Rozszerzenia i udoskonalenia
Wprowadzenie

Oryginalny standard MP3 koncentrował się wyłącznie na możliwie najbardziej efektywnym przesyłaniu wysokiej jakości stereofonicznego dźwięku. Z biegiem lat wprowadzono jednak szereg rozszerzeń, udoskonaleń i dodatkowych funkcji, przez co dziś MP3 można raczej uznać za standard otwarty niż sztywno zdefiniowany.

Dodatkowe informacje są zapisywane w strumieniu danych w taki sposób, że dekodery, które ich nie obsługują, po prostu je ignorują. W efekcie nawet nowoczesne pliki MP3 mogą być bez problemu odtwarzane przez starsze odtwarzacze MP3.

Tag MP3 ID3v1

Jednym z najważniejszych rozszerzeń formatu MP3 było wprowadzenie tzw. tagów ID3. Umożliwiają one zapisanie metadanych utworu, takich jak tytuł, wykonawca, album, rok wydania czy gatunek muzyczny.

Pierwsza wersja – ID3v1 – została dodana w 1996 roku i miała stałą długość zaledwie 128 bajtów. Dane te były umieszczane na końcu pliku i poprzedzone identyfikatorem „TAG”.

Struktura tagu była bardzo ograniczona:
- 3 pola po 30 bajtów: tytuł, wykonawca, album (dłuższe nazwy były obcinane),
- 4 bajty: rok wydania,
- 1 bajt: gatunek muzyczny.

Zdefiniowano listę gatunków (początkowo 80, później rozszerzoną do 128 pozycji). Nazwy były w języku angielskim i bywały dość specyficzne – przykładowo istniała kategoria „Christian Rap”.

Istotnym ograniczeniem ID3v1 był brak obsługi Unicode – dopuszczalne były jedynie znaki zgodne z kodowaniem ISO 8859-1, co utrudniało zapis znaków narodowych.

Dodatkową wadą było umieszczenie tagu na końcu pliku. W przypadku transmisji strumieniowej oznaczało to, że najpierw trzeba było przesłać cały utwór, zanim odtwarzacz mógł odczytać i wyświetlić informacje o nim.

eprasa.pl d2e0862bc0

Tag MP3 ID3v2.x

Aby wyeliminować ograniczenia wcześniejszej wersji, w 1998 roku opracowano rozszerzony format tagów – ID3v2.x. W przeciwieństwie do ID3v1 tag ten umieszczany jest na początku pliku, dzięki czemu podczas odtwarzania strumieniowego jego zawartość może zostać odczytana natychmiast. Informacje o utworze są więc dostępne jeszcze zanim rozpocznie się właściwe odtwarzanie dźwięku.

Długość tagu ID3v2.x jest zmienna, co pozwala wydawcy zdecydować, jakie dane zostaną zapisane. Aby zachować porządek, tag podzielono na tzw. ramki (frames). Każda ramka może mieć bardzo dużą długość (nawet do 16 MB), co umożliwia zapis nie tylko tekstu, ale również obrazów, a nawet materiałów wideo.

Każda ramka posiada zdefiniowany identyfikator, dzięki czemu odtwarzacz MP3 potrafi poprawnie zinterpretować jej zawartość. Przykładowe ramki:

- TIT2 – tytuł utworu,
- WOAR – adres strony internetowej wykonawcy,
- TLEN – długość nagrania,
- AENC – informacje o szyfrowaniu dźwięku,
- ReplayGain – dane o poziomie głośności (wykorzystywane do wyrównywania głośności odtwarzanych utworów),
- USLT – tekst piosenki.

Dotychczas opracowano trzy wersje tego standardu: ID3v2.2, ID3v2.3 oraz ID3v2.4 (ta ostatnia została opublikowana w listopadzie 2000 roku). Każda kolejna wersja wprowadzała nowe możliwości, choć nie wszystkie są obsługiwane przez wszystkie odtwarzacze MP3. Na przykład wersje ID3v2.3 i ID3v2.4 umożliwiają przechowywanie informacji związanych z podcastami.

Rozpoznawanie tagów MP3

Oprogramowanie odtwarzające pliki MP3 musi być w stanie rozpoznać strukturę tagów. W nagłówku każdej ramki zapisano sekwencję jedenastu kolejnych bitów „H", czyli charakterystyczny wzorzec, który z bardzo dużym prawdopodobieństwem nie występuje nigdzie indziej w strumieniu danych. Dzięki temu dekoder może jednoznacznie zidentyfikować początek ramki.

Odczyt i edycja tagów ID3

System Microsoft Windows umożliwia odczyt i częściową edycję tagów ID3 zapisanych w pliku MP3. Procedura jest prosta: należy kliknąć plik MP3 prawym przyciskiem myszy, wybrać z menu kontekstowego opcję „Właściwości", a następnie przejść do zakładki „Szczegóły".

W tym miejscu wyświetlane są wszystkie dostępne metadane wraz z ich zawartością. Część z nich można bezpośrednio edytować, natomiast inne pozostają tylko do odczytu.



Zawartość tagów MP3 w oknie systemu Windows (© 2023 Jos Verstraten)

Pliki MP3 o zmiennej przepływności

Pierwsze kodery MP3 pracowały w trybie CBR (Constant Bit Rate), czyli ze stałą przepływnością. Oznacza to, że sygnał audio był próbkowany i kodowany z jednakową intensywnością niezależnie od jego charakteru. Rozwiązanie to ma jednak tę samą wadę co format WAV czy audio CD – w cichych fragmentach nagrania wykorzystywana jest taka sama liczba bitów jak w fragmentach złożonych, mimo że nie jest to konieczne.

Dlatego wprowadzono tryb VBR (Variable Bit Rate), czyli zmienną przepływność. W tym przypadku oprogramowanie analizuje fragmenty sygnału (tzw. ramki) przechowywane w buforze i ocenia ich złożoność. Fragmenty o dużej dynamice i bogatej zawartości są kodowane z wyższą przepływnością, natomiast prostsze – z niższą.

Informacja o zastosowanej przepływności zapisywana jest w nagłówku każdej ramki MP3, dzięki czemu dekoder wie, z jakimi parametrami dany fragment został zakodowany.

MP3HD

W marcu 2009 roku firma Thomson SARL opracowała rozszerzenie formatu MP3 o nazwie MP3HD. W jednym pliku zapisywane są dwie wersje dźwięku.

Pierwsza z nich jest w pełni zgodna ze standardowym MP3 i wykorzystuje kompresję stratną (lossy). Druga stanowi dodatkowy strumień danych, w którym zastosowano kompresję bezstratną (lossless), dzięki czemu nie dochodzi do utraty żadnych informacji z oryginalnego nagrania.

Po dekodowaniu strumień bezstratny MP3HD pozwala uzyskać dokładną, bitową kopię materiału źródłowego (np. z płyty audio CD lub pliku WAV). Typowe przepływności mieszczą się w zakresie od około 500 kb/s do 900 kb/s, w zależności od rodzaju nagrania.

Dane bezstratne są zapisywane w metadanych ID3, dzięki czemu prostsze odtwarzacze MP3, które ich nie obsługują, po prostu je pomijają.

MP3HD jest obsługiwany m.in. przez Winamp (z odpowiednią wtyczką) oraz przez Windows Media Player przy użyciu filtra DirectShow. ■

Jos Verstraten

eprasa.pl d2e0862bc0

Wzmacniacz stereofoniczny z wykorzystaniem STK435

Wzmacniacz stereofoniczny przedstawiony w bieżącym projekcie wykorzystuje tani i popularny układ scalony STK435. Dzięki swojej prostocie nie wymaga on wielu elementów zewnętrznych.

Układ zamknięty jest w obudowie z 15 wyprowadzeniami, a do jego pracy wystarczy kilka kondensatorów elektrolitycznych i ceramicznych oraz kilka rezystorów.

STK435 może pracować w szerokim zakresie napięcia zasilania. Przy napięciu 12 V jest w stanie dostarczyć około 7 W mocy wyjściowej na kanał przy obciążeniu głośnikiem o impedancji 8 Ω. W tych warunkach zapewnia dobrą jakość dźwięku przy niewielkich zniekształceniach harmonicznych. Prototyp wykonany przez autora przedstawiono na **rysunku 1**.



Rysunek 1. Prototyp wykonany przez autora na płytce uniwersalnej

Schemat i działanie układu

Schemat ideowy wzmacniacza przedstawiono na **rysunku 2**. Oprócz układu STK435 projekt zawiera niewielką liczbę rezystorów i kondensatorów. Na schemacie pokazano dwa identyczne kanały – lewy i prawy – wymagane w każdym wzmacniaczu stereofonicznym.

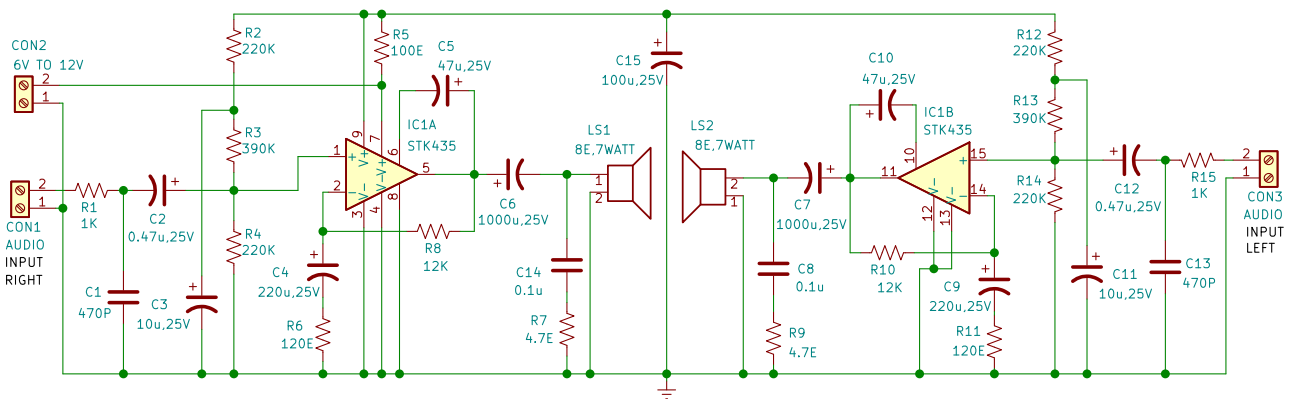
Wykonanie projektu należy rozpocząć od skompletowania elementów. Ponieważ oba kanały są identyczne, dalszy opis dotyczy jednego z nich – oznaczonego na schemacie jako IC1A.

Montaż rozpoczynamy od połączenia wyprowadzenia 1 układu STK435 z dwoma rezystorami R2 i R3 połączonymi szeregowo. Powstały węzeł należy następnie połączyć z rezystorem R5 o wartości 100 Ω, do którego doprowadzone jest napięcie zasilające +12 V ze złącza CON2. Punkt połączenia rezystorów R2 i R3 jest odsprzęgnięty względem masy kondensatorem elektrolitycznym C3 o pojemności 10 µF/25 V.

Sygnał wejściowy prawego kanału doprowadzany jest ze złącza CON1 przez rezystor 1 kΩ oraz kondensator elektrolityczny C2 (0,47 µF/25 V). Dodatni biegun kondensatora należy połączyć z wyprowadzeniem 1 układu STK435. Od strony ujemnego bieguna kondensatora C2 należy dodatkowo dołączyć do masy kondensator ceramiczny C1 o pojemności 470 pF.

Wyprowadzenie 2 układu STK435 łączymy z masą przez szeregowy obwód złożony z kondensatora C4 (220 µF/25 V) oraz rezystora R6 (120 Ω). Wyprowadzenia 3, 4 i 8 należy bezpośrednio połączyć z masą.

Wyjście prawego kanału stanowi wyprowadzenie 5 układu STK435. Ze względu na niesymetryczne zasilanie głośnik jest



Rysunek 2. Schemat ideowy wzmacniacza stereofonicznego

eprasa.pl d2e0862bc0

sprzęgnięty z wyjściem przez kondensator elektrolityczny C6 o pojemności 1000 µF/25 V. Należy zastosować głośnik o impedancji 8 Ω i mocy co najmniej 7 W.

Równolegle do głośnika LS1, od strony ujemnego bieguna kondensatora C6, należy dołączyć szeregowy obwód RC złożony z rezystora R7 (4,7 Ω) i kondensatora C14 (0,1 µF).

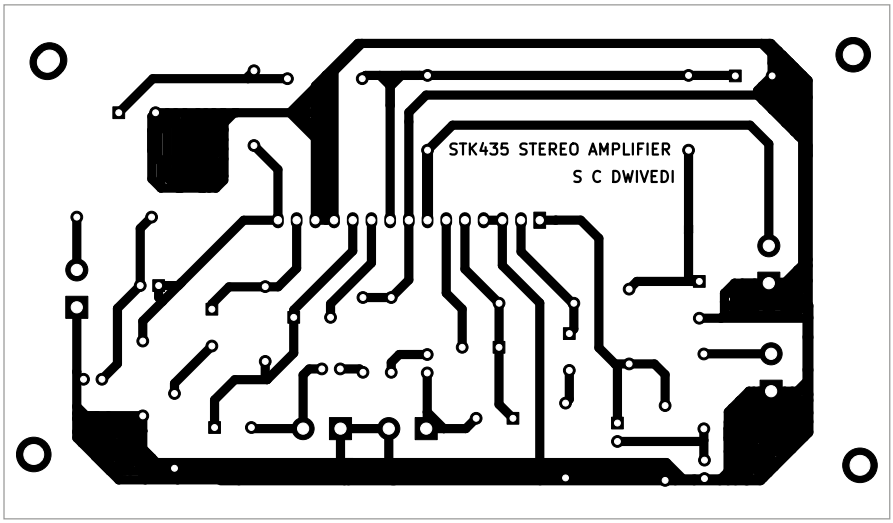
Między wyprowadzeniami 5 i 6 układu STK435 należy podłączyć kondensator elektrolityczny o wartości 47 µF, zachowując jego dodatnią polaryzację od strony wyjścia wzmacniacza.

Wyprowadzenie 7 układu STK435 łączymy bezpośrednio z dodatnim napięciem zasilającym. Wyprowadzenie 9 również podłączamy do zasilania, lecz przez rezystor R5 o wartości 100 Ω. Napięcie na tym wyprowadzeniu jest dodatkowo filtrowane kondensatorem C15 (100 µF/25 V) podłączonym do masy.

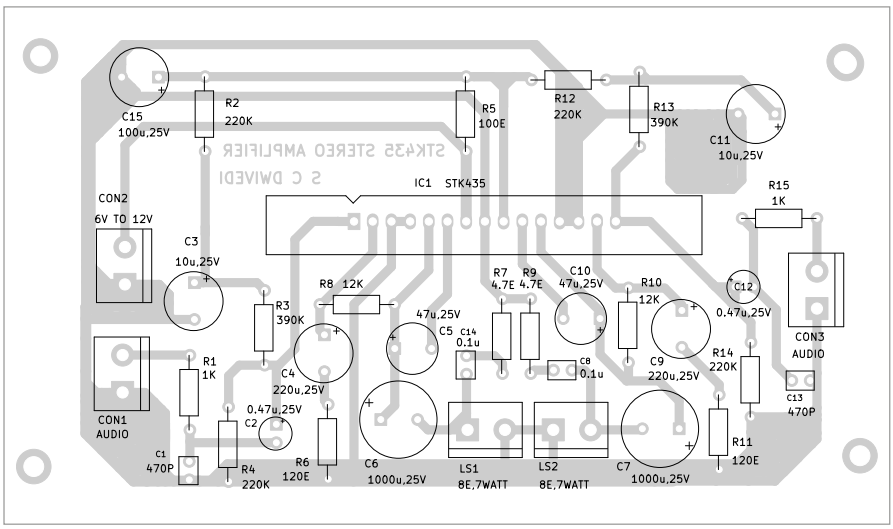
Dodatkowym elementem jest rezystor R8 o wartości 12 kΩ, który należy połączyć pomiędzy wyjściem wzmacniacza a wyprowadzeniem 2 układu STK435.

Analogicznie należy wykonać drugi kanał wzmacniacza (IC1B), wykorzystujący wyprowadzenia 10...15 układu STK435.

Jeśli wszystkie połączenia zostaną wykonane prawidłowo, układ powinien uruchomić się natychmiast po podłączeniu sygnału do złączy CON1 i CON3 oraz napięcia zasilającego +12 V do złącza CON2. Jako źródło sygnału można wykorzystać komputer lub odtwarzacz MP3.



Rysunek 3. Projekt jednostronnej płytki drukowanej PCB



Rysunek 4. Rozmieszczenie elementów na płytce PCB

Montaż i uruchomienie układu

Na potrzeby wzmacniacza przygotowano projekt płytki drukowanej PCB. Jest to płytka jednostronna, której wymiary podane na **rysunku 3** odpowiadają rzeczywistym wymiarom (w drukowanej wersji czasopisma). **Rysunek 4** przedstawia rozmieszczenie elementów na PCB i może być pomocny podczas montażu.

Po zmontowaniu płytki należy przygotować odpowiednią obudowę, dostosowaną do jej wymiarów oraz wysokości zastosowanych elementów. Istotnym elementem jest radiator przeznaczony dla układu STK435. Aby wykorzystać pełną moc wyjściową wzmacniacza, zastosowanie radiatora jest niezbędne, szczególnie gdy odprowadzanie ciepła będzie utrudnione po zamknięciu układu w obudowie.

Jeśli wykonanie pojedynczej płytki PCB zgodnie z rysunkiem 3 okaże się zbyt kosztowne lub pracochłonne, można wykorzystać uniwersalną płytkę Veroboard, czego autor użył do wykonania prototypu.

Montaż należy wówczas rozpocząć od przygotowania płytki o wymiarach około 7×9 cm. W przybliżeniu na jej środku należy umieścić 15-pinowe gniazdo (żeńskie) przeznaczone dla układu STK435. Dwupinowe złącza CON1 i CON3 najlepiej umieścić przy krawędziach płytki – odpowiednio po lewej i prawej stronie, natomiast czteropinowe złącze głośnikowe na dolnej krawędzi.

Połączenia elementów należy wykonać zgodnie ze schematem ideowym, używając lutownicy o niewielkiej mocy. Układ STK435 montujemy na samym końcu, po wykonaniu wszystkich połączeń lutowanych.

Po zakończeniu montażu do płytki należy podłączyć głośniki o impedancji 8 Ω i mocy co najmniej 7 W oraz napięcie zasilające 12 V z zewnętrznego zasilacza lub akumulatora. Jeśli w tym momencie w obu głośnikach pojawi się ciche kliknięcie, jest to dobry znak wskazujący na prawidłowy montaż układu.

Wykaz elementów:

Półprzewodniki:
IC1 (IC1A, IC1B): wzmacniacz audio-stereo STK435 (15-pin)

Rezystory: (wszystkie 0,25 W/±5% – węglowe)
R1, R15: 1 kΩ
R2, R12, R4, R14: 220 kΩ
R3, R13: 390 kΩ
R5: 100 Ω
R6, R11: 120 Ω
R7, R9: 4,7 Ω
R8, R10: 12 kΩ

Kondensatory:
C1, C13: 470 pF ceramiczne
C2, C12: 0,47 µF/25 V elektrolityczny
C3, C11: 10 µF/25 V elektrolityczny
C4, C9: 220 µF/25 V elektrolityczny
C5, C10: 47 µF/25 V elektrolityczny
C6, C7: 1000 µF/25 V elektrolityczny
C8, C14: 0,1 µF ceramiczny
C15: 100 µF/25 V elektrolityczny

Pozostałe:
CON1-CON3: złącze 2-pinowe
LS1, LS2: głośniki 8 Ω/7 W

Ponadto:
Płytka uniwersalna Veroboard o wymiarach 7 cm×9 cm
Zasilacz lub akumulator 12 V
Radiator dla IC STK435

eprasa.pl d2e0862bc0

Następnie należy przeprowadzić testy z wykorzystaniem dowolnego źródła sygnału stereofonicznego. Wstępnie może to być nawet przydźwięk sieciowy wywołany dotknięciem wejścia metalowym śrubokrętem. Pojawienie się charakterystycznego dźwięku w głośnikach nie oznacza jeszcze pełnej sprawności wzmacniacza, ale stanowi dobry wskaźnik poprawnego działania.

Na końcu należy doprowadzić czysty sygnał o częstotliwości akustycznej (np. z generatora, komputera lub odtwarzacza MP3) i sprawdzić działanie wzmacniacza w całym zakresie częstotliwości oraz mocy. Testy termiczne powinny trwać wystarczająco długo, aby temperatura radiatora mogła się ustabilizować. ■

Raj K. Gorkhali

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

Od Redakcji EdW: Autor projektu ogranicza się głównie do opisu połączeń widocznych na schemacie, nie poświęcając wiele miejsca omówieniu funkcji poszczególnych elementów. Dlatego w „Słowie od redakcji" uzupełniamy tę istotną lukę. Na początek warto przyjrzeć się bliżej samemu układowi STK435.

Zastosowana aplikacja jest zgodna z zaleceniami producenta, jednak należy zauważyć, że dobór wartości zewnętrznych rezystorów może być tu bardziej krytyczny niż w wielu podobnych rozwiązaniach.

STK435 jest hybrydowym układem scalonym wykonanym w technologii grubowarstwowej („thick film hybrid IC"). Jest to konstrukcja stosunkowo stara, szeroko stosowana w sprzęcie audio lat 80., jednak – jak przystało na firmę Sanyo – oferuje przyzwoite parametry i zgodność z danymi katalogowymi.

Dokumentacja układu jest dość skąpa i nie zawiera m.in. wartości rezystorów zastosowanych wewnątrz hybrydy. Może to mieć znaczenie przy ustalaniu punktu pracy wzmacniacza, dlatego zaleca się stosowanie wartości elementów zgodnych z notą katalogową. W razie potrzeby część parametrów można oszacować lub zmierzyć bezpośrednio na wyprowadzeniach układu.

Jest to bardzo prosta hybryda, zawierająca zaledwie osiem tranzystorów na jeden kanał wzmacniacza. W praktyce liczba ta jest jeszcze mniej istotna, ponieważ sama końcówka wtórnika prądowego wykorzystuje dwie pary tranzystorów: górną w układzie Darlingtona oraz dolną w układzie Sziklaiego. Kolejna para tranzystorów tworzy źródło napięcia polaryzującego stopień końcowy.

Mamy już wykorzystane 6 tranzystorów, z których żaden nie wnosi wzmocnienia napięciowego w tym wzmacniaczu. A zatem pozostają tylko dwa (na jeden kanał wzmacniacza stereofonicznego). Nie należy się więc spodziewać, że na wejściu znajdziemy wzmacniacz operacyjny lub przynajmniej parę różnicową pracującą w tym charakterze. Może to być główną przyczyną trudności w optymalnym doborze zewnętrznych rezystorów polaryzujących wejście wzmacniacza.

Skoro układ pracuje w przeciwsobnym stopniu końcowym, statyczny punkt pracy powinien zapewniać na wyjściu napięcie jak najbliższe połowie napięcia zasilania. Ponieważ jednak trudno jednoznacznie określić sposób polaryzacji wejścia, nawet przy zastosowaniu wartości zgodnych z katalogiem zaleca się w pierwszej kolejności pomiar napięcia na wyprowadzeniach 5 i 11. W razie odstępstwa od połowy napięcia zasilania stosowna korekta, np. R3 i/lub R4 (oraz R13 i R14 w drugim kanale), nie powinna być trudna.

Dla zawartości zniekształceń krytyczna jest poprawna polaryzacja tranzystorów wyjściowych. Należy tu zachować kompromis ze spoczynkowym prądem płynącym w obwodzie tych tranzystorów. Źródło napięciowe między bazami górnej i dolnej pary tranzystorów ulokowano wewnątrz hybrydy i elementy zewnętrzne praktycznie nie mają na nie wpływu. Realizuje je para tranzystorów w kolejnym połączeniu Darlingtona oraz dwa wewnętrzne rezystory. Jak przystało na firmę Sanyo, można oczekiwać, że dobór tych elementów jest optymalny i w praktyce nie wymaga korekty.

Można również przyjąć, zgodnie z danymi katalogowymi, że całkowite zniekształcenia harmoniczne (THD) wynoszą około 1%. Dzięki tak prostej strukturze wewnętrznej (zaledwie kilka tranzystorów) uzyskano także dobre parametry szumowe – napięcie szumów na wyjściu nie powinno przekraczać 0,8 mV RMS.

Wzmocnienie napięciowe całego wzmacniacza ustalane jest przez ujemne sprzężenie zwrotne, realizowane przez elementy zewnętrzne między wyprowadzeniami 5 i 2 (oraz 11 i 14 w drugim kanale). Stosunek wartości R8 do R6 (oraz R10 do R11) daje wzmocnienie rzędu 40 dB, czyli około stukrotne.

Zastosowanie kondensatora C4 (oraz C9) powoduje, że sprzężenie zwrotne dla składowej stałej jest bardzo silne, co stabilizuje statyczny punkt pracy wzmacniacza. Rozwiązanie to może jednak wpływać na charakterystykę częstotliwościową, a wartość rezystora w pętli sprzężenia zwrotnego może również oddziaływać na położenie punktu pracy.

Dla uzyskania małych zniekształceń istotne jest, aby wzmocnienie w otwartej pętli było znacznie większe od wzmocnienia wynikającego z zamknięcia pętli sprzężenia zwrotnego. W tym przypadku oczekiwane wzmocnienie wynosi aż 40 dB, podczas gdy całe wzmocnienie napięciowe układu STK435 realizowane jest przez dwa tranzystory, z których jeden pełni dodatkowo funkcję bufora wejściowego, zapewniającego odpowiednią impedancję wejściową.

Kompensacja częstotliwościowa, niezbędna dla stabilnej pracy układu ze sprzężeniem zwrotnym, realizowana jest wewnątrz hybrydy za pomocą jednego kondensatora łączącego kolektor z bazą tranzystora odpowiedzialnego za główne wzmocnienie napięciowe.

W celu poprawy pracy tego stopnia zastosowano dodatkowe (nietypowe) sprzężenie zwrotne między wyjściem (wyprowadzenia 5 i 11) a wyprowadzeniami 6 i 10 układu. W obwodzie tym znajduje się kondensator 47 µF, zgodny z zaleceniami producenta. Rozwiązanie to powoduje, że tranzystor pracujący w układzie wspólnego emitera „widzi" w kolektorze większą impedancję dynamiczną, niż wynikałoby to z rzeczywistych wartości rezystorów. Umożliwia to uzyskanie większego wzmocnienia bez pogorszenia stabilności.

W większości wzmacniaczy tego typu zachowana jest symetria impedancji widzianej od strony wejścia sygnału oraz wejścia odwracającego, do którego doprowadzany jest sygnał sprzężenia zwrotnego. W tym przypadku takiej symetrii nie ma, dlatego szczególną uwagę należy zwrócić na obwody podłączone do wyprowadzenia 2 (oraz 14 w drugim kanale). Warto je sprawdzić w odniesieniu do napięcia na wyjściu wzmacniacza.

We wzmacniaczu tym dwie nóżki przeznaczono do zasilania (obu kanałów). Są to wyprowadzenia 7 i 9. Wyprowadzenie 7 zasila stopień końcowy mocy i tu należy podłączyć napięcie bezpośrednio z zasilacza. Prąd w tym obwodzie jest dość duży, natomiast wpływ tętnień na wyjście jest niewielki. Należy oczekiwać, że jakość tego napięcia będzie wynikała przede wszystkim z poprawnej konstrukcji zasilacza oraz zastosowania odpowiedniego kondensatora filtrującego – w samym zasilaczu lub w pobliżu wzmacniacza.

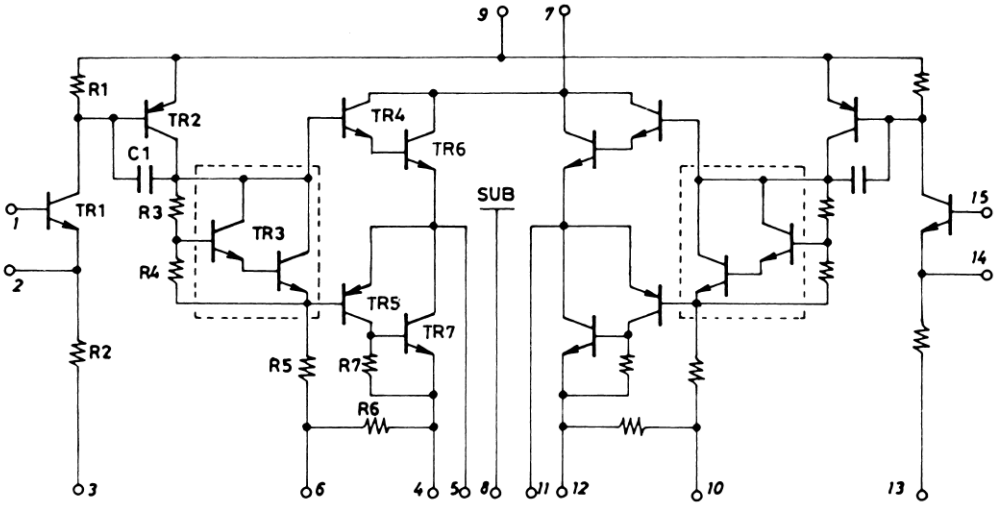
Szczególną uwagę należy zwrócić na zasilanie wyprowadzenia 9. Zasilany jest z niego stopień wejściowy, dlatego wszelkie tętnienia mogą być wzmacniane. Z tego względu zastosowano podwójną filtrację typu RC. Obwód R5–C15 stanowi pierwszy stopień filtracji, wspólny dla obu kanałów wzmacniacza. Dodatkowo

eprasa.pl d2e0862bc0

zastosowano oddzielne obwody filtrujące dla polaryzacji wejść (R2–C3 oraz R12–C11).

Oprócz kondensatorów elektrolitycznych warto rozważyć dołączenie równolegle kondensatorów o niewielkiej pojemności (np. ceramicznych), poprawiających filtrację w wyższym zakresie częstotliwości.

Jak już wspomniano, aplikacja układu STK435 w projekcie autora jest w pełni zgodna z zaleceniami zawartymi w karcie katalogowej firmy Sanyo. Jedyne odstępstwo dotyczy obwodu polaryzacji wejścia wzmacniacza. Rezystory R2, R3 i R4 (oraz R12, R13 i R14 w drugim kanale) należy uznać za elementy najbardziej newralgiczne pod względem doboru ich wartości.



Rysunek 5 Schemat wewnętrzny układu STK435

Jako elementy „uszlachetniające", zalecane w każdym wzmacniaczu sygnału fonii, można wskazać dwójniki RC: R1–C1 (oraz R15–C13) na wejściu oraz R7–C14 (R9–C8) na wyjściu wzmacniacza. Obecność tych obwodów może wprawdzie wpływać na kształt charakterystyki częstotliwościowej, jednak ich działanie ujawnia się zdecydowanie poza pasmem akustycznym.

Autor wspomina o konieczności zastosowania radiatora dla tego wzmacniacza, nie podaje jednak żadnych wskazówek co do jego wielkości. Obliczenie poprawnego doboru radiatora dla STK435 nie jest, wbrew pozorom, zadaniem łatwym. Łatwiej wykonać to eksperymentalnie, choć można wykorzystać pewne wskazówki do pierwszego oszacowania.

Rezystancja termiczna między złączem a obudową układu STK435 jest stosunkowo duża i wynosi 7°C/W. Przy mocy wyjściowej 7 W na kanał należy się liczyć z podobną mocą strat cieplnych. Teoretyczna sprawność wzmacniacza klasy B jest niewiele wyższa od 60%, jednak podejście konserwatywne nakazuje przyjąć około 50%.

W tej sytuacji sam spadek temperatury na rezystancji termicznej złącze–obudowa układu STK435 (przy maksymalnej mocy w obu kanałach) może sięgać blisko 100°C. Dopuszczalna temperatura złącza wynosi 150°C. Zatem radiator powinien być w stanie odprowadzić około 14 W mocy cieplnej przy temperaturze nieprzekraczającej około 50°C.

Reasumując, wzmacniacz jest bardzo prosty, choć nieco nietypowy. Może być również bardziej wrażliwy na dobór elementów zewnętrznych. Niemniej jednak doświadczenia z rozwiązaniami stosowanymi przez firmę Sanyo pozwalają sądzić, że uzyskane parametry oraz niezawodność układu są na wysokim poziomie.

REKLAMA

KURS PRAKTYCZNY AI
Praktyczne podejście. Zero marketingowej mgły!



**AI nie zabierze Ci pracy,
ale zrobi to osoba, która potrafi z niej korzystać.**

**Nie musisz być programistą,
by programować swoją przyszłość.**

**Zamień „nie umiem tego zrobić" na
„AI, pokaż mi, jak to zrobić".**

**Nauka AI to nie kurs techniczny,
to nauka skutecznego myślenia.**

KURS PRAKTYCZNY AI
4 wydania w 2026 roku:
Wiosna • Lato • Jesień • Zima



Jak zawsze taniej w prenumeracie na
www.UlubionyKiosk.pl

eprasa.pl/e0962bc0

Oświetlenie zewnętrzne – zmierzchowe lub czasowe

Projekt przedstawiony w tym odcinku DIY to sterownik oświetlenia zewnętrznego, który może pracować jako automatyczny włącznik zmierzchowy lub jako czasowy sterownik oświetlenia przydomowego (np. na werandzie). Układ charakteryzuje się niewielkim poborem mocy oraz dużą uniwersalnością. Osiągnięto to dzięki zastosowaniu tanich i powszechnie dostępnych układów scalonych: wzmacniacza operacyjnego LM358 oraz timera NE555.

Budowa i działanie układu

Rysunek 1 przedstawia prototyp autora zmontowany na uniwersalnej płytce stykowej.

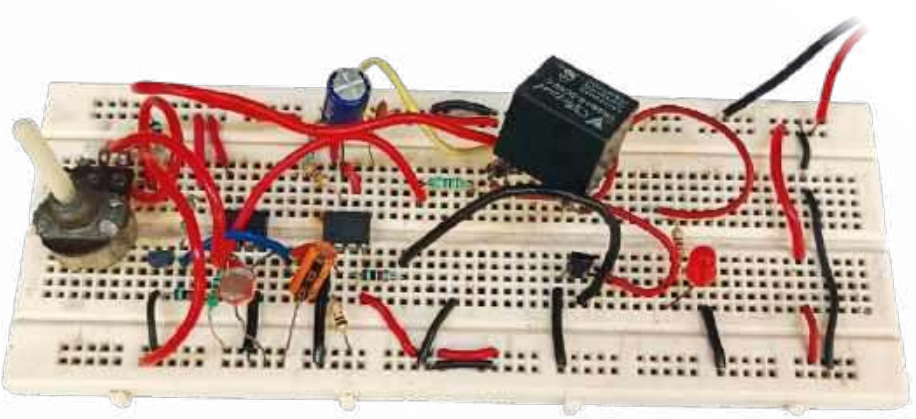
Schemat ideowy sterownika przedstawiono na **rysunku 2**. Układ zasilany jest napięciem 12 V (zasilacz nie został pokazany na schemacie i jest podłączany do gniazda jack1). W konstrukcji zastosowano wzmacniacz operacyjny LM358 (IC1), układ czasowy NE555 (IC2), dwa tranzystory BC548 (T1 i T2) oraz przekaźnik ze stykami SPDT (RL1) z cewką na napięcie 12 V. Całość uzupełnia niewielka liczba tanich elementów pasywnych.

Układ NE555 skonfigurowano do pracy jako przerzutnik monostabilny. Odmierza on zadany (ustalany elementami zewnętrznymi) odcinek czasu, po którego upływie jego wyjście przechodzi do stanu nieaktywnego (niskiego). W układzie LM358 wykorzystano jeden wzmacniacz operacyjny pracujący jako komparator napięcia. Rozróżnia on stan dzień/noc, ponieważ do jednego z jego wejść dołączono element światłoczuły – fotorezystor LDR. Wyjście komparatora może bezpośrednio sterować przekaźnikiem (za pośrednictwem tranzystora T1) lub wyzwalać układ czasowy NE555. W obwodzie wyzwalania przerzutnika monostabilnego oraz w stopniu sterującym przekaźnikiem zastosowano tranzystory NPN BC548.

Tryb pracy sterownika („zmierzchowy" lub „czasowy") wybiera się przełącznikiem S1 (typu SPDT). Przełącznik ten kieruje do stopnia sterującego przekaźnikiem sygnał z układu czasowego NE555 lub bezpośrednio z wyjścia komparatora IC1A.

Czas odmierzany przez układ NE555 jest określony przez elementy RC podłączone do jego wyprowadzeń 6 i 7, natomiast wyjście stanowi wyprowadzenie 3. Elementy R10, R11 i C4 (270 kΩ oraz 1000 µF) tworzą stałą czasową o stosunkowo dużej wartości, wyznaczając czas trwania impulsu przerzutnika monostabilnego na około 5 minut.

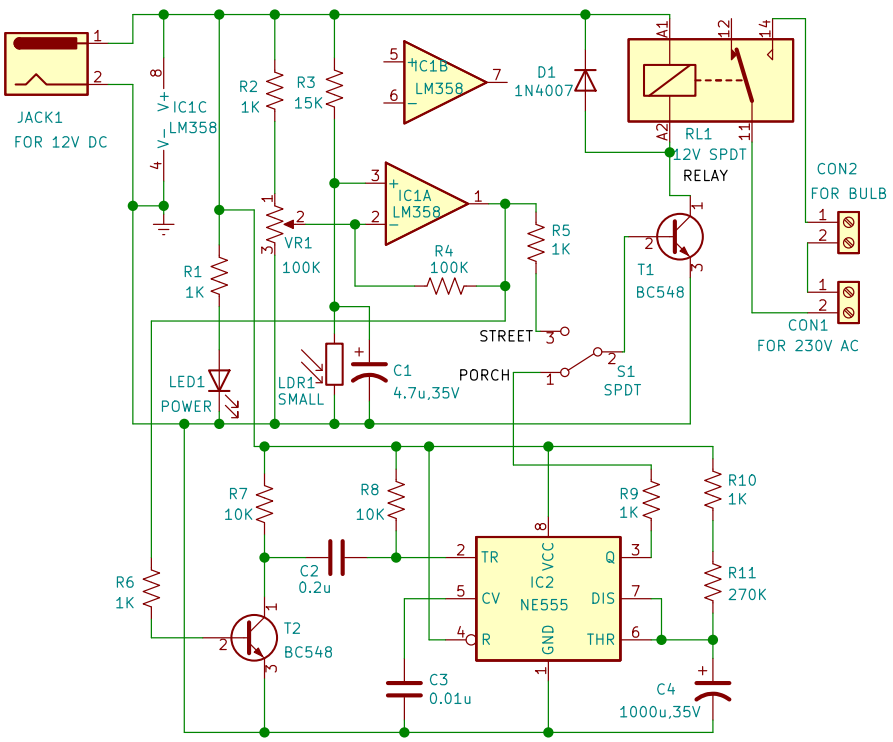
Funkcja timera wykorzystywana jest wyłącznie w trybie czasowym. Wspólnym elementem wykonawczym dla obu trybów pracy sterownika jest przekaźnik RL1. Dzięki temu moc załączanego oświetlenia zależy praktycznie wyłącznie od dopuszczalnych parametrów styków przekaźnika.



Rysunek 1. Prototyp

Montaż i testowanie układu

Dla opisanego projektu przygotowano płytkę drukowaną jednostronną, co pokazano na rysunku 3. W drukowanej wersji czasopisma jej wymiary powinny odpowiadać



Rysunek 2. Schemat ideowy

eprasa.pl d2e0862bc0

Wykaz elementów:

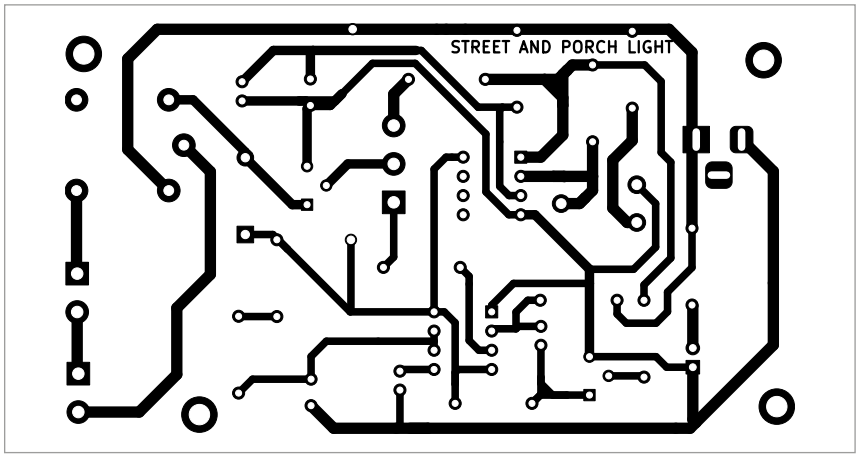
Półprzewodniki:
IC1: LM358 – wzmacniacz operacyjny
IC2: NE555 – układ czasowy
T1, T2: BC548 – tranzystor NPN
D1: 1N4007 – dioda prostownicza
LED1: dioda LED 5 mm

Rezystory: (wszystkie 0,25 W/±5%, węglowe)
R1, R2, R5, R6, R9, R10: 1 kΩ
R3: 15 kΩ
R4: 100 kΩ
R7, R8: 10 kΩ
R11: 270 kΩ
VR1: 100 kΩ potencjometr

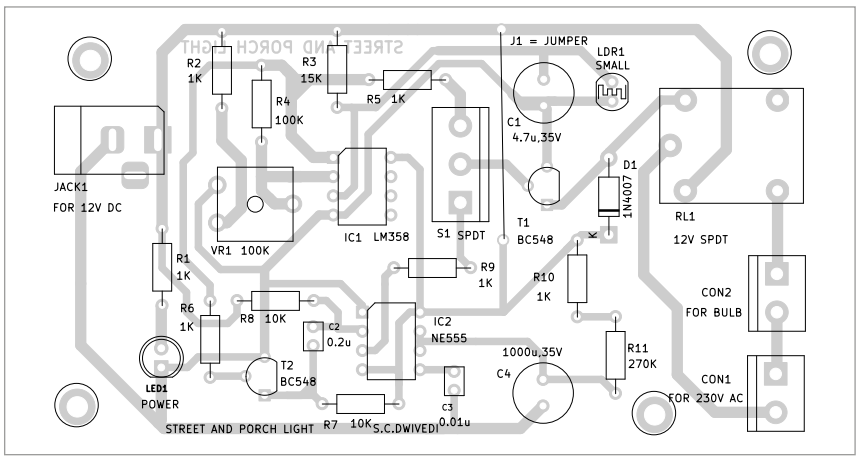
Kondensatory:
C1: 4,7 µF/35 V elektrolityczny
C2: 0,2 µF ceramiczny
C3: 0,01 µF ceramiczny
C4: 1000 µF/35 V elektrolityczny

Pozostałe:
LDR: fotorezystor (mały rozmiar)
JACK1: złącze zasilania DC
CON1, CON2: złącze 2-pinowe
S1: przełącznik SPDT
RL1: przekaźnik z cewką 12 V, 1CO (SPDT)

Ponadto:
żarówka 230 V/100 W
zasilacz 12 V napięcia stałego



Rysunek 3. Projekt druku PCB dla sterownika oświetlenia



Rysunek 4. Rozmieszczenie elementów na PCB

skali 1:1. Rozmieszczenie elementów na płytce przedstawiono na **rysunku 4**.

Po zmontowaniu układu zgodnie ze schematem ideowym (rysunek 2) oraz schematem montażowym (rysunek 4) należy przygotować odpowiednią obudowę. Przy poprawnym montażu układ powinien być od razu gotowy do pracy. Jedyną czynnością regulacyjną jest ustawienie progu oświetlenia potencjometrem VR1. W zależności od zastosowania – jako automatyczny włącznik zmierzchowy lub czasowy sterownik oświetlenia – tryb pracy wybiera się odpowiednim ustawieniem przełącznika S1.

W obudowie należy przewidzieć dostęp do potencjometru regulacyjnego. Ostateczną regulację VR1 najlepiej przeprowadzić po zamontowaniu układu w miejscu docelowym, na przykład przy lampie zewnętrznej lub na przydomowej werandzie. ■

Suresh Chandra Dwivedi

Materiał filmowy do artykułu:
https://youtu.be/VN_3edB2A-Q

- Strona projektu:
  https://www.electronicsfo-ru.com/electronics-projects/automatic-street-cum-porch-light

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

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

Od Redakcji EdW: Zaproponowany przez autora układ pełni funkcję sterownika pracującego w trybie zmierzchowym, który włącza się o zmroku i wyłącza o świcie, gdy natężenie światła dziennego osiągnie poziom umożliwiający wyłączenie oświetlenia elektrycznego ze względów oszczędnościowych. W trybie „czasowym” kryterium oszczędności energii nie ogranicza się jedynie do rozróżnienia dnia i nocy. Lampa jest wówczas włączana na określony czas (około 5 minut), po którym automatycznie się wyłącza. Ponowne załączenie wymaga ponownego wyzwolenia układu. O ile w trybie zmierzchowym lokalizacja elementu światłoczułego ma istotne znaczenie, o tyle w trybie czasowym jego umiejscowienie jest krytyczne i może sprawiać trudności.

Lampa załącza się na około 5 minut, mimo że układ nie zawiera klasycznej czujki ruchu. Jej funkcję pełni fotorezystor, który inicjuje pracę układu czasowego. Czas ten odmierzany jest przez układ NE555 pracujący w konfiguracji przerzutnika monostabilnego. Stałą czasową wyznaczają elementy R i C dołączone do wyprowadzeń Discharge i Threshold. W prezentowanym układzie są to rezystor 270 kΩ oraz kondensator o pojemności 1000 µF, co daje czas rzędu kilku minut (około 4,5 minuty). Warto zwrócić uwagę na dodatkowy rezystor R10 o wartości 1 kΩ, włączony szeregowo z obwodem RC. Jego wpływ na stałą czasową jest pomijalnie mały i w obliczeniach można go pominąć.

Wyliczoną stałą czasową należy przemnożyć przez ln(3). Czynnik „logarytm naturalny z 3” wynika z ustalonego poziomu komparatora górnego w timerze 555. To poziom 2/3 zasilania i nie jest trudno wywnioskować, iż o taki właśnie czynnik należy przemnożyć stałą czasową przebiegu wykładniczego (na C4), który zmierza do asymptoty na poziomie napięcia zasilającego nasz timer. Dla tych oszacowań ważne jest oczywiście spostrzeżenie, że przebieg $(1–e^{-t/T})$, rozpoczyna się od zera, czyli gdy kondensator C4 jest w pełni rozładowany. To stan stabilny, w którym przerzutnik wewnętrzny w 555 jest wyzerowany, a tranzystor w obwodzie Discharge przewodzi.

Wartość ln(3) wynosi około 1,1, co w praktyce daje czas trwania impulsu bliski 5 minut. Przerzutnik monostabilny jest wyzwalany sygnałem podanym na wejście Trigger. W tym obwodzie zastosowano człon różniczkujący o krótkiej stałej czasowej rzędu

eprasa.pl d2e0862bc0

5 ms, wyznaczonej przez elementy R8 i C2. Przyjęta wartość jest w tym zastosowaniu w pełni wystarczająca. Należy jednak zwrócić uwagę, że w chwili wyłączenia tranzystora T2 napięcie na wejściu Trigger może chwilowo wzrosnąć do wartości przekraczającej napięcie zasilania. Zwykle nie powoduje to uszkodzenia układu NE555, jednak bardziej zachowawcze podejście przewiduje zastosowanie diody ograniczającej, dołączonej równolegle do rezystora R8 (katodą od strony zasilania).

Istotnym ograniczeniem jest wyzwalanie układu czasowego za pomocą światła padającego na fotorezystor LDR, zamiast zastosowania czujki ruchu. Odpowiednie umiejscowienie fotorezystora pozwala wprawdzie uzyskać poprawne działanie, jednak wymaga starannego doboru lokalizacji. Rozwiązanie to bywa stosowane na przykład w sklepach, gdzie wejście klienta powoduje zacienienie fotoelementu i wyzwolenie sygnału (np. dzwonka). W prezentowanym układzie „dwa w jednym" prowadzi to jednak do pewnego kompromisu. W trybie zmierzchowym optymalne umiejscowienie fotorezystora wynika z konieczności prawidłowego rozpoznawania pory dnia, natomiast w trybie czasowym powinno umożliwiać wykrycie chwilowego zacienienia. Pogodzenie tych wymagań może być w praktyce trudne.

Najistotniejszym ograniczeniem projektu jest sposób wyzwalania układu, jednak występuje również drugi problem. W roli komparatora pracuje wzmacniacz operacyjny LM358. W trybie zmierzchowym ma on utrzymywać oświetlenie w stanie załączenia przy niskim poziomie oświetlenia, natomiast w trybie czasowym wyzwala układ czasowy NE555 (który w praktyce jest aktywny cały czas, lecz wykorzystywany tylko w tym trybie).

Sama praca wzmacniacza operacyjnego jako komparatora nie budzi zastrzeżeń, jednak zastosowanie rezystora w lokalnej pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego powoduje istotne zmniejszenie wzmocnienia tego stopnia. Wzmocnienie zależy dodatkowo od położenia suwaka potencjometru VR1 i osiąga najmniejszą wartość przy jego ustawieniu w pobliżu środka zakresu. W takim przypadku jest tylko kilkukrotne, co ogranicza właściwości komparatora.

Bardziej korzystnym rozwiązaniem byłoby zastosowanie dodatniego sprzężenia zwrotnego, zapewniającego niewielką histerezę przełączania, przy czym wartość rezystora R4 (100 kΩ) powinna być większa.

Zastosowanie potencjometru VR1, jak pokazano na rysunku 2, zapewnia bardzo szeroki zakres regulacji. Umożliwia dopasowanie układu zarówno do charakterystyki zastosowanego fotorezystora LDR, jak i do konkretnych warunków oświetlenia otoczenia. W praktycznym układzie wskazane jest jednak ograniczenie zakresu regulacji potencjometru poprzez odpowiedni dobór rezystora R2. W przedstawionym rozwiązaniu jego wartość (1 kΩ) jest zbyt mała w porównaniu z potencjometrem VR1 (100 kΩ), przez co jego wpływ na zakres regulacji jest pomijalny.

Sytuacja ta jest analogiczna do relacji rezystora R10 względem R11 w obwodzie czasowym układu NE555.

Podsumowując, projekt wymaga dalszego dopracowania. Szczególnej uwagi wymaga dobór szerokości histerezy, która powinna być na tyle duża, aby w pobliżu poziomu progowego oświetlenia układ nie powodował wielokrotnego załączania i wyłączania lampy. Zastosowany sposób podłączenia wzmacniacza IC1A, przedstawiony na schemacie, nie jest optymalny do pracy w roli komparatora.

Wskazane wcześniej niedoskonałości projektu są stosunkowo łatwe do usunięcia, z wyjątkiem jednego problemu. Umiejscowienie fotorezystora LDR, zapewniające poprawną pracę w obu trybach (zmierzchowym i czasowym), może okazać się w praktyce niemożliwe. Możliwa jest natomiast poprawna praca układu w jednym z tych trybów, co oznacza, że określenie „dwa w jednym" należy w tym przypadku rozumieć raczej jako „lub", a nie „i". W takiej sytuacji zastosowanie przełącznika S1 (SPDT) traci uzasadnienie. Wystarczające byłoby zastosowanie zworki: w pozycji 2–3 dla trybu zmierzchowego oraz 2–1 dla trybu czasowego.

Należy jednak podkreślić, że tryb czasowy pozostaje problematyczny, głównie ze względu na trudność właściwego umiejscowienia fotorezystora. W tym trybie pełni on bowiem inną funkcję niż podczas pracy jako włącznik zmierzchowy. W pierwszym przypadku odpowiada za rozpoznanie pory dnia i nocy, natomiast w drugim powinien reagować na chwilowe zmiany oświetlenia, pełniąc rolę zbliżoną do czujki ruchu.

Odnosząc się do schematu z rysunku 2, warto zwrócić uwagę na kondensator C1. Jego obecność jest uzasadniona, podobnie jak w przypadku wprowadzenia niewielkiej histerezy w obwodzie komparatora IC1A. Kondensator ten powinien ograniczać ryzyko krótkotrwałego załączenia oświetlenia w wyniku chwilowego zacienienia fotorezystora.

Niestety, w spisie elementów nie podano typu zastosowanego fotorezystora LDR, co utrudnia dokładną analizę. Można jedynie przypuszczać, że przy wartości rezystora R3=15 kΩ rezystancja LDR w pobliżu progu przełączania ma zbliżoną wartość.

W takim przypadku impedancja widziana od strony wejścia nieodwracającego wzmacniacza operacyjnego wynosi kilka kΩ, co w połączeniu z kondensatorem C1 (4,7 µF) daje stałą czasową rzędu kilkunastu do kilkudziesięciu ms.

Jest to wartość stosunkowo mała, dlatego zasadne wydaje się zwiększenie pojemności kondensatora C1.

REKLAMA



eprasa.pl d2e0862bc0

Sterowany głosem robot omijający przeszkody

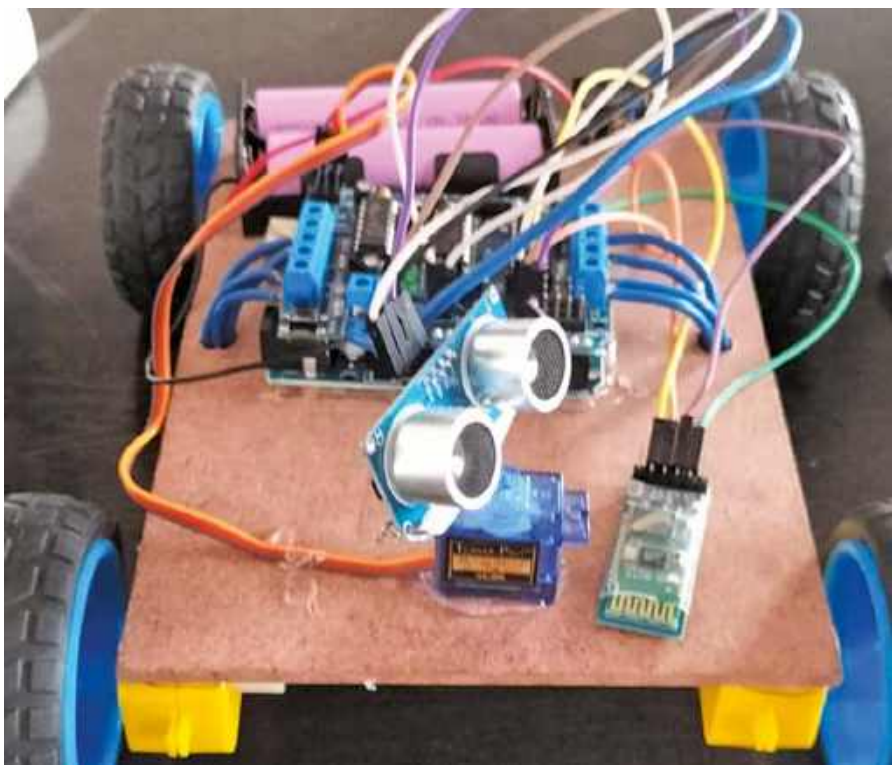
Opisywany „inteligentny łazik" to uniwersalna platforma robotyczna, wyposażona w Bluetooth i funkcje sterowania głosowego. Wykorzystujący czujniki mechanizm unikania przeszkód umożliwia łazikowi autonomiczną nawigację, dzięki czemu nie dochodzi do kolizji z obiektami na jego drodze.

Inteligentny łazik to znakomity projekt dla entuzjastów robotyki. Będzie również przydatny dla nauczycieli poszukujących przystępnej i jednocześnie atrakcyjnej platformy do prezentacji elementów robotyki, automatyzacji i sztucznej inteligencji.

Łazik, oparty na module mikrokontrolera Arduino Uno, wyposażony jest w przyjazny dla użytkownika interfejs komunikacyjny, umożliwiający zdalne sterowanie przez Bluetooth ze smartfona lub innych kompatybilnych urządzeń. Elastyczność jest dodatkowo zwiększona przez możliwość sterowania głosowego.

Rysunek 1 przedstawia prototyp autora, a użyte elementy są wymienione w liście elementów.

Robot został zbudowany w oparciu o Arduino Uno (MOD1), sterownik silnika L329D (MOD2), czujnik ultradźwiękowy HC-SR04 (S1), moduł Bluetooth HC-05, cztery motoreduktory prądu stałego (M1...M4) i serwomotor oraz elementy dodatkowe jak podwozie robota i przewody połączeniowe. **Rysunek 2** przedstawia schemat połączeń Arduino Uno ze sterownikiem silnika, a **rysunek 3** – zdjęcie całego układu. Sterownik silnika (MOD2) nie wymaga do połączenia z Arduino Uno żadnych przewodów – jest na płytkę Arduino po prostu wtykany.

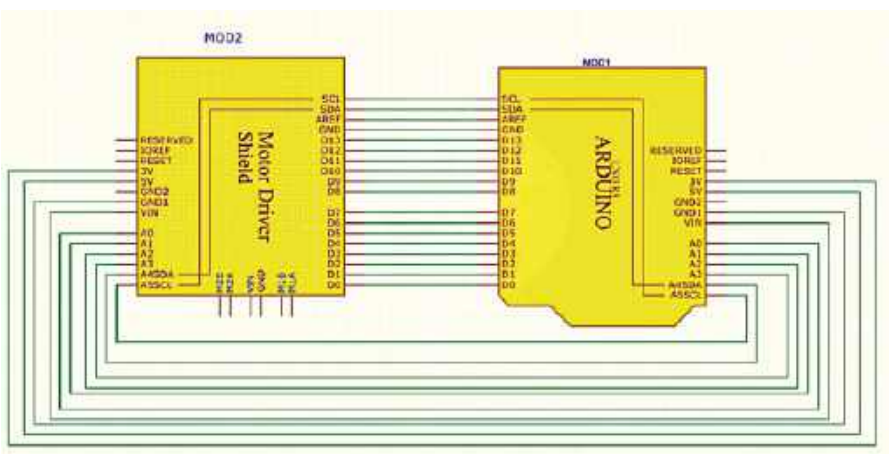


Rysunek 1. Prototyp Autora

Montaż i uruchomienie

W środowisku Arduino IDE instalujemy bibliotekę AFMotor, wybieramy typ płytki „Arduino Uno" i ładujemy program źródłowy. **Rysunek 5** przedstawia fragment programu.

Po załadowaniu kodu źródłowego łączymy Arduino Uno ze sterownikiem silnika, jak

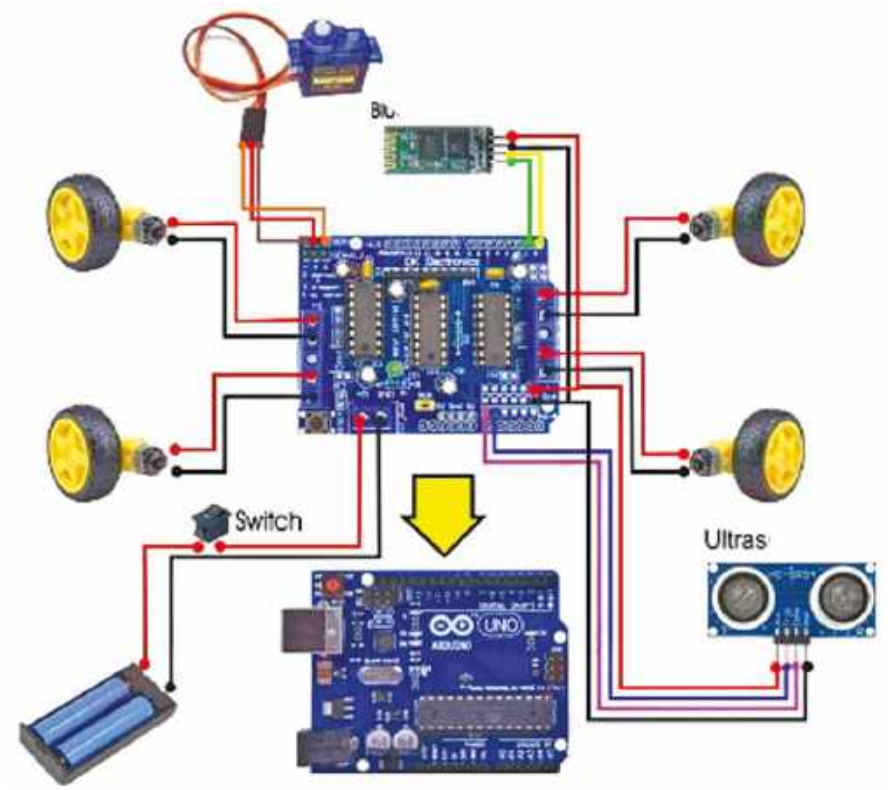


Rysunek 2. Schemat połączeń Arduino Uno ze sterownikiem silnika



Rysunek 3. Arduino Uno i sterownik silnika

eprasa.pl d2e0862bc0



Rysunek 4. Schemat połączeń

pokazano na rysunku 3. Łączymy następnie sterownik silnika z innymi elementami (rysunek 4). Sprzęt jest teraz gotowy do użycia.

Załączamy zasilanie robota i łączymy go przez Bluetooth z dowolną aplikacją do sterowania głosowego Bluetooth Arduino na telefonie z systemem Android. Na próbę wysyłamy polecenia ruchu do przodu i do tyłu. Robot powinien się odpowiednio poruszać. Patrz link: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.giumig.apps.bluetoothserialmonitor&hl=en&gl=US

W aplikacji definiujemy polecenia głosowe wysyłane do robota, nakazujące ruch do przodu i do tyłu. Po wydaniu tych poleceń robot będzie się odpowiednio poruszał. Jeśli wykryje przeszkodę, ominie ją i poszuka innej możliwej trasy. Robotem można również sterować za pomocą aplikacji do pobrania z https://play.google.com/store/search?q=bluetooth+serial+monitor+app&c=apps. **Rysunek 6** przedstawia końcową wersję prototypu autora, wykorzystaną do testów. ■

Dr M. Renuka, Y. V. D. Kausthubh, P. S. Neeraj, Kotha Chaithanya Bangari Poojitha, M. Yamuna

Materiał filmowy do artykułu: https://youtu.be/Ax6ajHtY4Mo

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

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

Lista Elementów

element	opis	liczba
Arduino Uno (MOD1)	moduł mikrokontrolera	1
Podwozie robota	podwozie z napędem na cztery koła	1
Motoreduktory prądu stałego (M1-M4)	silniki prądu stałego 5...6 V	4
Silnik serwo (SM1)	serwomechanizm z mikro przekładnią	1
Czujnik ultradźwiękowy (SEN1)	HC-SR04	1
Moduł sterownika silnika (MOD2)	L329D	1
Moduł Bluetooth HC-05	moduł Bluetooth	1
Bateria	5 V DC	1
Przełącznik (S1)	przełącznik	1
Przewody	przewody połączeniowe	30

sketch_apr17a.ino

```
#include <Servo.h>
#include <AFMotor.h>

#define Echo A0
#define Trig A1
#define motor 10
#define Speed 170
#define spoint 103

char value;
int distance;
int Left;
int Right;
int L = 0;
int R = 0;
int L1 = 0;
int R1 = 0;

Servo servo;
AF_DCMotor M1(1);
AF_DCMotor M2(2);
AF_DCMotor M3(3);
AF_DCMotor M4(4);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(Trig, OUTPUT);
  pinMode(Echo, INPUT);
  servo.attach(motor);
  M1.setSpeed(Speed);
  M2.setSpeed(Speed);
  M3.setSpeed(Speed);
  M4.setSpeed(Speed);
}
void loop() {
  //Obstacle();
  //Bluetoothcontrol();
  voicecontrol();
}

void Bluetoothcontrol() {
```

Rysunek 5. Fragment programu źródłowego



Rysunek 6. Prototyp Autora w trakcie testów

eprasa.pl d2e0862bc0

ELEKTRONIKA dla wszystkich
JUNIOR
nr 04/2026 (22)



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

Każdy z nas widział kiedyś zabawki, które „same się poruszają” – na przykład nakręcane samochodziki lub skaczące figurki wielkanocnego kurczaka. Często są to proste konstrukcje mechaniczne napędzane sprężyną lub gumką. Juniorzy EdW zbudowali tym razem coś podobnego, ale napędzanego nie sprężyną czy gumką, a za pomocą prądu elektrycznego z baterii i... bardzo nietypowego silnika!

Pewnie niejednemu z Was zdarzyło się kiedyś zobaczyć coś, co nagle zaczyna się poruszać po stole… i przez chwilę nie wiadomo, czy to zabawka, czy może jednak „żywe stworzenie”. Magia? Raczej energia skupiona w naciągniętej sprężynie lub rozciągniętej gumce. Lub też zgromadzona w baterii, tylko czekająca, by przy użyciu jakiegoś silniczka zamienić ją w ruch. Wielu z Was zapewne bawiło się już niejednokrotnie różnego rodzaju silniczkami. A może ktoś z Was z silniczka i zespołu zębatek zbudował kiedyś małą prądnicę na korbkę, lub za pomocą gumki recepturki w magiczny sposób przeniósł energię elektryczną z baterii podłączonej do jednego silniczka na diodę LED podłączoną do drugiego silniczka?

Idę jednak o zakład, że takim silniczkiem, jak ten użyty w zestawie z robaczkiem, jeszcze się nie bawiłeś! W zasadzie nie napędza on żadnych kół ani przekładni – jego zadaniem jest wprawienie pewnej konstrukcji w drgania, które wprawiają zabawkę w ruch.

Co zbudujemy tym razem?

Zanim Ci o tym opowiem, chciałbym zwrócić Twoją uwagę na podobny projekt – jeśli czytasz (albo choćby przeglądasz) „Elektronikę dla Wszystkich” od deski do deski, w marcowym numerze zapewne natknąłeś się na krzemowego świerszcza. Świerszcz i prezentowane tu robaczki mają ze sobą pewną wspólną cechę – oba zamieniają kilka niepozornych elementów w coś, co sprawia wrażenie „żywego”. Na tym jednak podobieństwa w dużej mierze się kończą.

Krzemowy świerszcz jest układem znacznie bardziej „elektronicznym” – jego działanie opiera się na mikrokontrolerze, który generuje złożone sekwencje dźwięków i reaguje na warunki zewnętrzne, takie jak oświetlenie. Potrafi ćwierkać, zmieniać charakter odgłosów, a nawet „udawać” inne zwierzęta. To przykład projektu, w którym najważniejsze jest przetwarzanie sygnałów i logika działania układu.



Fotografia 1. Kornel. Młodzi Entuzjaści Elektroniki, Szkoła Podstawowa nr 86, Wrocław

Robaczki działają zupełnie inaczej. Nie ma tu żadnego programu, żadnej „inteligencji” ani reakcji na otoczenie. Ich sercem jest prosty silnik wibracyjny zasilany bezpośrednio z baterii. Zamiast generować dźwięk, układ zamienia energię elektryczną na drgania mechaniczne, które wprawiają całą konstrukcję w ruch. Różnica jest więc fundamentalna: świerszcz „żyje” dźwiękiem, a robaczek – ruchem.

W świerszczu kluczowe są przebiegi elektryczne, częstotliwości i algorytm ich generowania. W robaczkach – geometria i mechanika. To, jak będą się poruszać, zależy przede wszystkim od kształtu i długości drucianych odnóży oraz ich sprężystości. Nawet niewielka zmiana – inaczej ugięta nóżka czy nieco inne ustawienie elementu – potrafi sprawić, że robaczek zaczyna poruszać się zupełnie inaczej: szybciej, wolniej, w jedną stronę, w drugą… albo wcale!

Kolejna różnica to złożoność montażu. Świerszcz wymaga precyzyjnego lutowania elementów SMD, poprawnego zaprogramowania mikrokontrolera i zrozumienia schematu. Robaczki są znacznie prostsze – składają się z kilku elementów i są idealnym projektem na pierwsze kroki z lutownicą.

Inaczej wygląda też odbiór gotowego projektu. Świerszcz działa „w tle” – słychać go, ale często trudno go znaleźć. Robaczek natomiast od razu przyciąga uwagę – porusza się, zmienia kierunek, „ucieka” po stole. To bardziej namacalny efekt pracy.

Można też powiedzieć, że świerszcz uczy podstaw elektroniki cyfrowej i generowania sygnałów, natomiast robaczki – podstaw praktyki: lutowania, eksperymentowania

eprasa.pl d2e0862bc0

i obserwacji zależności między konstrukcją a działaniem.

Oba projekty łączy jedno: potrafią wywołać uśmiech. Tyle że każdy robi to na swój sposób.

W tym odcinku nie skupimy się na jednym projekcie – wybraliśmy kilka zestawów z oferty AVTEDU, które – choć działają na tej samej zasadzie – różnią się wyglądem, kształtem, kolorem oraz charakterem ruchu.

Do wyboru jest kilka robaczków:

- **AVTEDU654 – Zielony robaczek DIY do nauki lutowania** (**fotografia 2**)

Klasyczna, kompaktowa forma i charakterystyczny zielony kolor. To robaczek o proporcjach sprzyjających dość stabilnemu ruchowi, choć – jak zawsze – wiele zależy od tego, jak uformujemy jego odnóża.

- **AVTEDU655 – Niebieski robaczek DIY do nauki lutowania** (**fotografia 3**)

Bardziej wydłużony kształt płytki sprawia, że środek ciężkości rozkłada się inaczej niż w zielonym wariancie. Dzięki temu jego ruch bywa bardziej płynny i „sunący", szczególnie przy dłuższych nogach.

- **AVTEDU656 – Czarny robaczek DIY do nauki lutowania** (**fotografia 4**)

Ciemna płytka i nieco inna geometria nadają mu zupełnie inny charakter. Często porusza się bardziej nerwowo, krótkimi i dynamicznymi ruchami – jakby był w ciągłym pośpiechu.

- **AVTEDU657 – Żółty robaczek DIY do nauki lutowania** (**fotografia 5**)

Jasny, wyrazisty kolor i zmieniony kształt tylnej części płytki wpływają na zachowanie całej konstrukcji. Ten model często łatwiej „ustawić" tak, by poruszał się w określonym kierunku.

- **AVTEDU658 – Czerwony robaczek DIY do nauki lutowania** (**fotografia 6**)

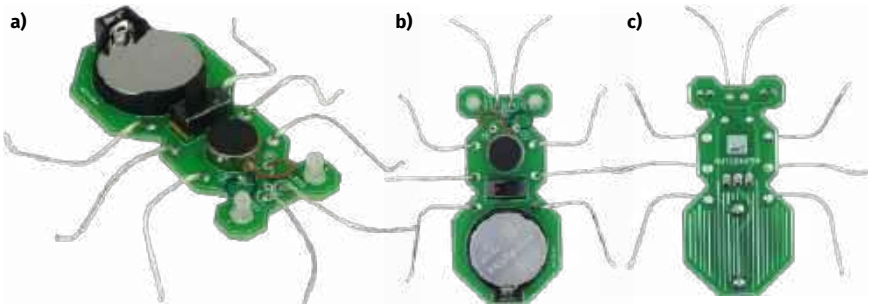
Większa płytka daje więcej miejsca na eksperymenty z odnóżami. W zależności od ich kształtu może być szybki i dynamiczny albo spokojniejszy i bardziej przewidywalny.

- **AVTEDU659 – Biały robaczek DIY do nauki lutowania** (**fotografia 7**)

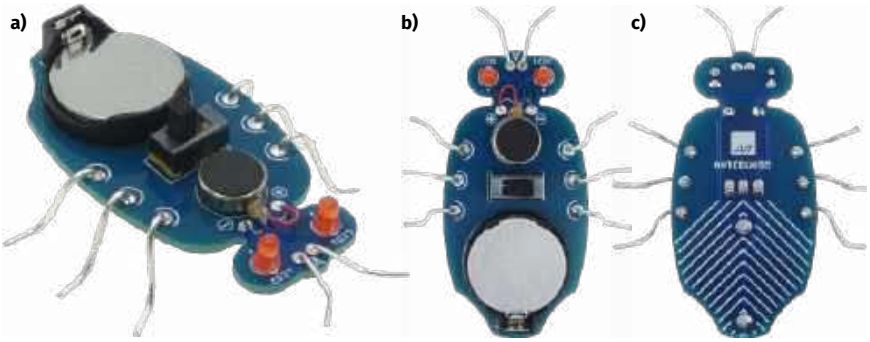
Największy z całej grupy i bardzo „czuły" na zmiany konstrukcji. Nawet drobne korekty ugięcia nóg potrafią wyraźnie zmienić sposób poruszania się.

Choć wszystkie zestawy wykorzystują ten sam pomysł – silnik wibracyjny i kilka prostych elementów – każdy z nich może zachowywać się inaczej. Ostateczny efekt zależy nie tylko od projektu płytki, ale przede wszystkim od wykonania.

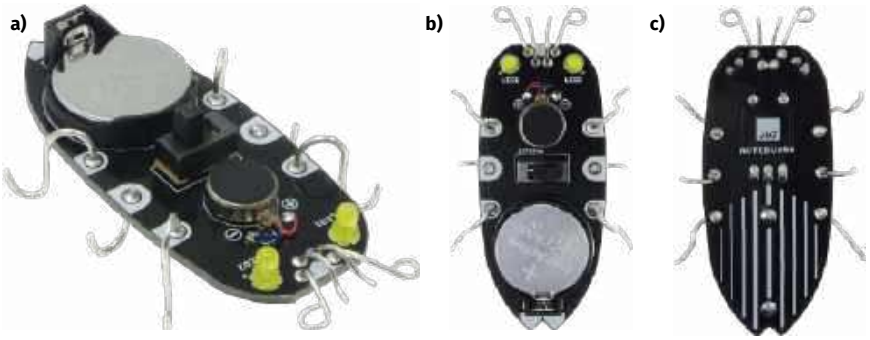
I właśnie w tym tkwi największa frajda – każdy robaczek może mieć swój własny „charakter".



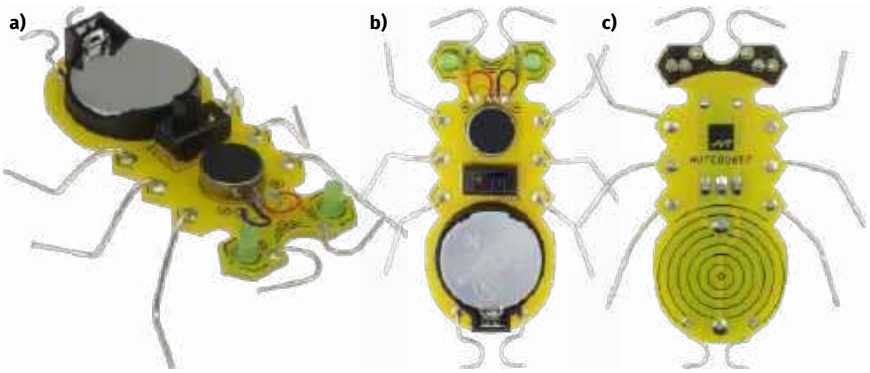
Fotografia 2. AVTEDU654, widoki: a) perspektywa; b) od strony komponentów; c) od strony lutowania



Fotografia 3. AVTEDU655, widoki: a) perspektywa; b) od strony komponentów; c) od strony lutowania



Fotografia 4. AVTEDU656, widoki: a) perspektywa; b) od strony komponentów; c) od strony lutowania



Fotografia 5. AVTEDU657, widoki: a) perspektywa; b) od strony komponentów; c) od strony lutowania

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 odpowiednich elementów, ponieważ wszystkie komponenty są oznaczone takimi samymi desygnatorami, zarówno

Wykaz elementów:

LED1, LED2	dioda LED efektowa 3 mm (kolor zależny od wersji robaczka)
BAT1	koszyk baterii + bateria CR2032
MOT1:	silnik wibracyjny
SW1:	przełącznik suwakowy
Czułki:	drut srebrzony 0,5...0,8 mm
Odnóża:	drut srebrzony 1,0 mm

eprasa.pl d2e0862bc0



Fotografia 6. AVTEDU658, widoki: a) perspektywa; b) od strony komponentów; c) od strony lutowania



Fotografia 7. AVTEDU659, widoki: a) perspektywa; b) od strony komponentów; c) od strony lutowania

na schemacie montażowym, liście elementów, jak i na schemacie ideowym. Ułatwia to bezbłędne i szybkie składanie układu, nawet osobom początkującym. Schemat montażowy pomaga również uniknąć pomyłek, takich jak wlutowanie elementu w niewłaściwe miejsce lub ustawienie go w złej orientacji. Schemat montażowy, który dodatkowo pokazuje układ ścieżek i padów, bardzo pomaga w kontroli poprawności wykonanych połączeń lutowanych. Dzięki temu łatwo ustalić, czy połączenia pomiędzy sąsiednimi polami są przewidziane w projekcie, czy też powstały przez pomyłkę, na przykład na skutek przypadkowego zwarcia ich cyną podczas nieostrożnego lutowania. Taki podgląd znacząco ułatwia wykrywanie błędów i zwiększa pewność, że układ został zmontowany prawidłowo. Schemat montażowy dla każdego z dostępnych wariantów robaczka pokazano na **rysunkach 1a…1f**.

Bawmy się i uczmy bezpiecznie

Zestawy zostały przygotowane z myślą o początkujących pasjonatach elektroniki. Montaż powinien zawsze odbywać się pod nadzorem osoby dorosłej, która potrafi bezpiecznie posługiwać się lutownicą. Rozgrzana lutownica może spowodować poważne oparzenia, dlatego nie wolno pozostawiać dziecka samego podczas pracy.

Szczególną uwagę należy zwrócić na baterię CR2032 zastosowaną w robaczku. Jest to niewielka bateria pastylkowa, którą dziecko może łatwo połknąć. Taka sytuacja jest bardzo niebezpieczna i może prowadzić do poważnego uszczerbku na zdrowiu.

W wyniku reakcji elektrochemicznych bateria może powodować powstawanie substancji żrących, które w krótkim czasie prowadzą do oparzeń i uszkodzeń tkanek. Dlatego każde podejrzenie połknięcia baterii wymaga natychmiastowej pomocy medycznej.

Należy również zwrócić uwagę na drut użyty do wykonania odnóży i czułków. Jego końcówki mogą być ostre i spowodować skaleczenie. Po przycięciu drutu warto je lekko zaokrąglić lub zagiąć, aby nie stanowiły zagrożenia podczas zabawy. Końcówki drutu można również zabezpieczyć, formując na nich niewielkie kulki z cyny, które zapobiegną skaleczeniu.

Z uwagi na typ zastosowanej baterii zabawka nie jest przeznaczona dla najmłodszych dzieci. Zaleca się, aby korzystały z niej dzieci w wieku co najmniej 6–7 lat, które rozumieją zasady bezpieczeństwa i nie wkładają drobnych elementów do ust.

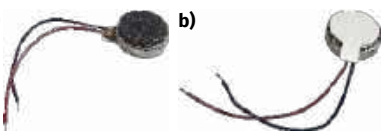
Nawet w takim przypadku zabawa powinna odbywać się pod nadzorem dorosłego. Opiekun ponosi odpowiedzialność za sposób użytkowania zestawu i powinien zwracać uwagę, czy dziecko nie próbuje wyjmować baterii ani wkładać jej do ust.

Po zakończeniu zabawy warto przechowywać robaczka poza zasięgiem najmłodszych dzieci.

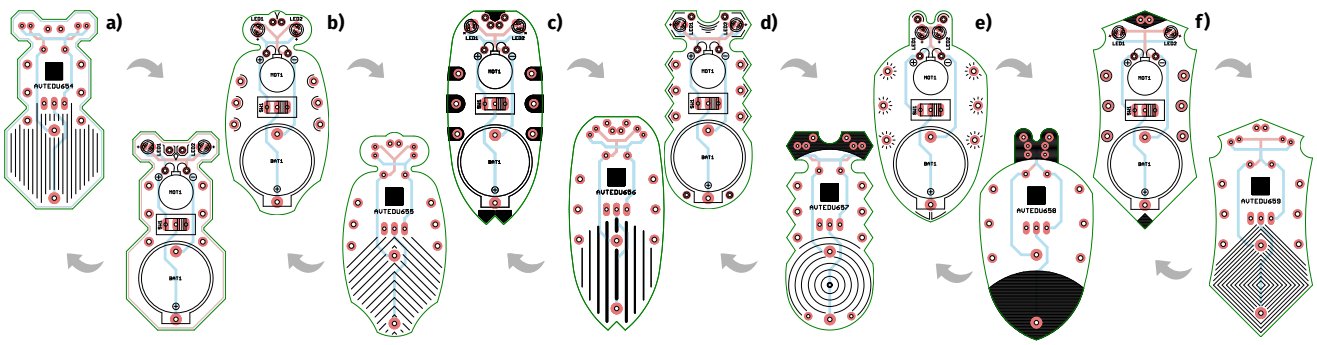
Pamiętajmy – elektronika może być świetną zabawą i nauką, ale tylko wtedy, gdy towarzyszy jej rozsądek i dbałość o bezpieczeństwo.

Montaż silniczka wibracyjnego

Montaż robaczka zaczynamy od najciekawszego elementu – silniczka wibracyjnego (**fotografia 8a**). Przyklej go na środku okręgu z napisem MOT1. Ustaw go tak, aby jego kabelki były skierowane w stronę otworów oznaczonych „+” i „–”. Nie potrzebujesz kleju – na spodzie silniczka jest już naklejka (**fotografia 8b**).



Fotografia 8. Silniczek wibracyjny; a) strona zewnętrzna; b) strona naklejki



Rysunek 1. Schemat montażowy układu a) AVTEDU654; b) AVTEDU655; c) AVTEDU656; d) AVTEDU657; e) AVTEDU658; f) AVTEDU659

eprasa.pl d2e0862bc0

Zdejmij folię zabezpieczającą, ustaw silniczek i lekko go dociśnij. Teraz włóż odizolowane końcówki kabelków do odpowiednich otworów: czerwony do „+”, a niebieski do „–”. Na koniec odwróć płytkę i przylutuj kabelki (**fotografia 9**).

Poprawność montażu możesz zweryfikować przyglądając się fotografiom powyżej.

Zaczęliśmy od silniczka nieprzypadkowo. Jest najniższym elementem, więc później łatwiej będzie montować kolejne.

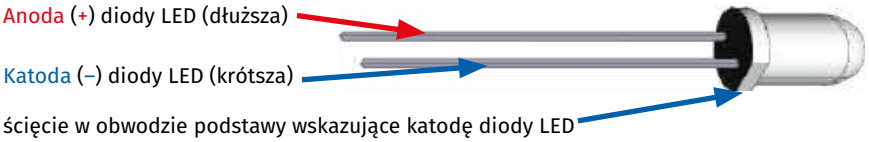
Montaż diod LED

Zgodnie z informacjami z listy elementów na odpowiednich pozycjach przylutuj migające diody LED o odpowiednim dla danego wariantu robaczka kolorze. Przed przystąpieniem do tej czynności zapoznaj się ze wskazówkami poniżej.

- Dioda LED to element elektroniczny, który świeci, gdy płynie przez niego prąd w odpowiednim kierunku. Łączy w sobie działanie zwykłej diody – przewodzi prąd tylko w jedną stronę – oraz funkcję źródła światła. Dzięki temu LED-y mogą sygnalizować działanie układu, informować o stanie pracy urządzenia lub pracować w układach generujących efekty świetlne.
- Tak jak każda dioda, LED ma biegunowość. Oznacza to, że musi być podłączona we właściwym kierunku, inaczej nie zaświeci, a w szczególnym przypadku ulegnie uszkodzeniu. Jej katodę najczęściej oznacza ścięcie na obudowie oraz krótsza nóżka (**rysunek 2**). Przed montażem sprawdź, gdzie na PCB znajduje się oznaczenie katody, i ustaw diodę zgodnie z nim.
- Dioda LED jest elementem, który od razu przyciąga wzrok obserwatora, dlatego estetyka jej montażu ma duży wpływ na końcowy wygląd budowanego urządzenia. Warto zadbać o to, aby LED była ustawiona prostopadle do płytki i równo do niej przylegała – nawet drobne odchylenia mogą być widoczne po uruchomieniu układu, szczególnie gdy diod jest więcej.
- LED-y najlepiej montować na stosunkowo wczesnym etapie lutowania. Pozostałe elementy są często wyższe. W tym momencie pole lutownicze jest wciąż dobrze dostępne i nic nie zasłania miejsca montażu, co ułatwia przylutowanie LED-ów równo i estetycznie.
- Zanim włożysz diodę LED do płytki, sprawdź w liście elementów, jaki kolor LED-a powinien zostać zamontowany w danej lokalizacji. Same diody – zwłaszcza w bezbarwnych obudowach – mogą wyglądać bardzo podobnie lub wręcz identycznie, dlatego warto upewnić się, jaki kolor świecenia ma LED, który trzymasz w ręku.
- Jeśli upewniłeś się co do odpowiedniej polaryzacji i kolorów, 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.



Fotografia 9. Lutowanie kabelków silniczka do płytki



Rysunek 2. Opis wyprowadzeń diody LED („plusowe” wyprowadzenie dłuższe, „minusowe” krótsze)

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

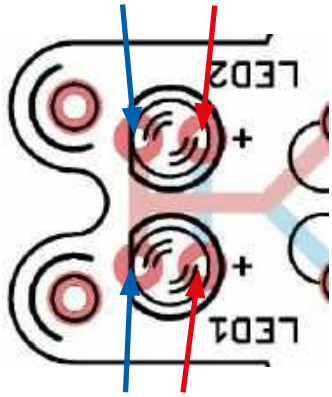
Montaż przyjazny naprawom + Przycinanie nadmiaru wyprowadzeń
https://elportal.pl/files/2026/02/15/3679-montaz-przyjazny-naprawom-przycinanie-nadmiaru-wyprowadzen.pdf

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 d2e0862bc0



Rysunek 3. Diody LED muszą zostać zamontowane do płytki w taki sposób, by dłuższe wyprowadzenia diod LED (anody) trafiły do otworów oznaczonych znakami „+”, a krótsze (katody) do otworów bez znaku

Montaż przełącznika zasilania

Zgodnie z listą elementów zamontuj przełącznik **SW1** w wyznaczonym miejscu. Sposób jego montażu pokazano na wcześniej przedstawionych fotografiach odpowiednich dla danego wariantu robaczka.

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 hebelka. W tego typu konstrukcji kierunek montażu nie ma żadnego znaczenia – niezależnie od tego, jak zostanie obrócony, będzie działał prawidłowo.
- Obrys na płytce PCB może zawierać dodatkowe linie symbolizujące położenie hebelka, ale służą one wyłącznie temu, by łatwo rozpoznać miejsce montażu. Nie są to oznaczenia biegunowości ani wymaganej orientacji.
- Włóż przełącznik do płytki tak, aby wszystkie trzy jego wyprowadzenia swobodnie przeszły na drugą stronę PCB. Piny przełącznika są sztywne i nie nadają się do wyginania, dlatego nie należy ich odchylać w celu stabilizacji elementu.
- Ponieważ wyprowadzenia są sztywne, przełącznik trzeba przytrzymać podczas lutowania – można to zrobić ręką albo poprosić o pomoc kolegę lub opiekuna.
- Najpierw przylutuj środkowy pin przełącznika. Ten pojedynczy punkt lutowniczy pozwala ustabilizować komponent i kontrolować jego położenie względem płytki. 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 hebelka. 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 uchwytu baterii

W następnej kolejności zamontuj uchwyt na baterię CR2032. Sposób montażu pokazano na wcześniejszych zdjęciach odpowiednich dla danego wariantu robaczka. Zanim zaczniesz, zapoznaj się z poniższymi wskazówkami.

Montaż baterii w koszyczku

Uchwyt baterii był ostatnim elementem do przylutowania. Teraz włóż do niego baterię CR2032. Spójrz na baterię – z jednej strony ma znak „+” i napisy. Tę stronę skieruj do góry podczas wkładania baterii do uchwytu. Jeśli masz wątpliwości, spójrz na wcześniejsze zdjęcia – tam też widać, jak włożyć baterię.

Montaż odnóży i czułków

Teraz czas na najbardziej kreatywny etap – czułki i odnóża. Wystarczy wlutować kawałki odpowiednio wygiętego drutu w przygotowane otwory.

Na **rysunku 4** pokazano różne przykłady czułków. Jak widać, mogą mieć bardzo różne kształty – od prostych i krótkich, po długie, zakręcone lub zakończone pętelkami. Czułki pełnią głównie funkcję dekoracyjną, dlatego możesz wybrać dowolny kształt albo wymyślić własny.

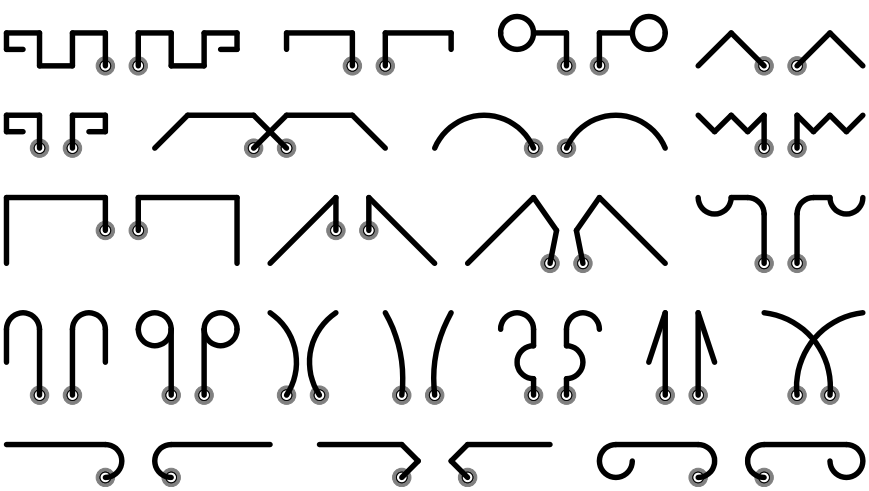
Rysunek 5 przedstawia przykłady odnóży. Zwróć uwagę, że różnią się one długością, kątem wygięcia oraz sposobem podparcia o podłoże. To właśnie te cechy mają największy wpływ na sposób poruszania się robaczka.

Odnóża są najważniejsze – to one mają kontakt z podłożem i wprawiają robaczka w ruch. Drgania silniczka przenoszą się właśnie przez nie, dlatego ich kształt i sztywność mają duże znaczenie.

Najlepiej wykonać je z nieco grubszego i sprężystego drutu. Na początku warto spróbować prostego kształtu, a następnie eksperymentować: lekko wygnij końcówki na zewnątrz, sprawdź, jak robaczek się porusza, popraw kształt i spróbuj ponownie. Nie ma jednego idealnego rozwiązania – każdy robaczek może poruszać się trochę inaczej. I właśnie w tym tkwi największa zabawa.

Podsumowanie montażu i uruchomienie

Po ukończeniu montażu sprawdź, proszę, czy wszystkie połączenia lutowane są błyszczące i nie ma zimnych lutów oraz



Rysunek 4. Przykładowe czułki

eprasa.pl d2e0862bc0

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*, dostępnego na stronie Elportalu (link w żółtej ramce)

Po włożeniu baterii i ustawieniu przełącznika SW1 w pozycji włączenia robaczek powinien zacząć drgać i poruszać się, a jego „oczy" (diody LED) – migać. Jeśli tak się nie dzieje, wyłącz zasilanie i wyjmij baterię, a następnie sprawdź poprawność montażu. W tak prostym układzie znalezienie przyczyny problemu nie powinno być trudne.

Pamiętaj, że bateria ma ograniczoną żywotność i po pewnym czasie będzie wymagała wymiany. Wraz z jej rozładowywaniem robaczek będzie poruszał się coraz słabiej, a diody LED przestaną świecić.

Lepsza (markowa) bateria zwykle działa dłużej niż tania, nieznanego pochodzenia.

Ale właściwie... dlaczego to działa?

Schemat ideowy dla każdego z dostępnych wariantów robaczka jest dokładnie taki sam i przedstawiono go na **rysunku 6**.

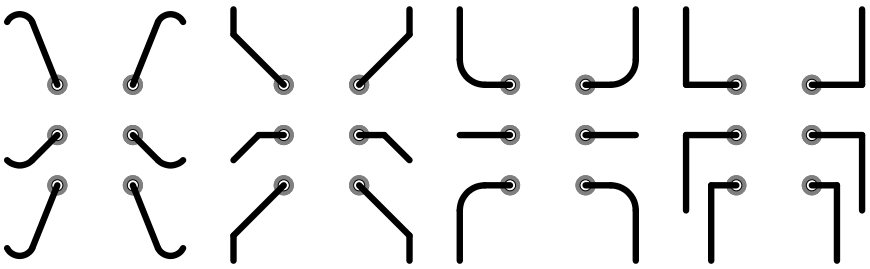
Na pierwszy rzut oka układ robaczka wygląda bardzo prosto – i rzeczywiście taki jest. Ale właśnie dzięki temu można łatwo zrozumieć, co się w nim dzieje.

Zacznijmy od początku, czyli od źródła energii. Wszystko zasila bateria CR2032 (BAT1), która dostarcza napięcie około 3 V. To ona „napędza" cały układ – bez niej robaczek byłby tylko kawałkiem płytki i drutu.

Gdy przesuniemy przełącznik SW1, zamykamy obwód elektryczny. To bardzo ważny moment – od tej chwili prąd może popłynąć przez układ. Umownie przyjmuje się, że prąd płynie od „plusa" baterii do „minusa", szukając po drodze dostępnych „ścieżek".

I tutaj zaczyna się ciekawie, bo „ścieżki" są trzy. Fachowo nazywa się je gałęziami.

Pierwsza prowadzi do silniczka MOT1. To nie jest zwykły silnik, który kręci kołami. W środku ma małe, niewyważone



Rysunek 5. Przykładowe odnóża

obciążenie. Gdy silnik się obraca, ta nierównowaga powoduje drgania – dokładnie takie same, jakie czujesz w telefonie podczas wibracji. Te drgania przenoszą się na całą konstrukcję robaczka i dzięki odpowiednio uformowanym nóżkom zamieniają się w ruch.

Druga i trzecia gałąź to „ścieżki" przez diody LED1 oraz LED2. To tzw. diody migające (opisane w liście elementów jako „efektowe"), czyli takie, które same migają. W ich wnętrzu znajduje się miniaturowy układ elektroniczny, który steruje świeceniem – włącza i wyłącza diodę co pewien czas.

I tu dochodzimy do bardzo ważnej różnicy.

W typowych układach z diodami LED zawsze stosuje się rezystor ograniczający prąd. Dlaczego? Bo zwykła dioda LED po podłączeniu bezpośrednio do baterii pobrałaby zbyt duży prąd i bardzo szybko by się uszkodziła. Rezystor działa jak „hamulec" dla prądu – ogranicza jego wartość do bezpiecznego poziomu.

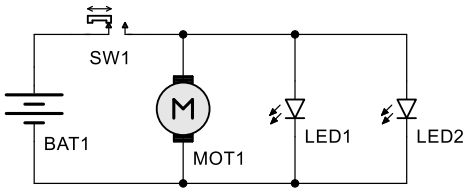
W naszym robaczku rezystora nie ma – i to nie jest błąd. Zastosowane diody LED mają wbudowany układ sterujący, który ogranicza pobierany prąd do bezpiecznego poziomu, dlatego mogą być zasilane bezpośrednio z baterii bez ryzyka uszkodzenia.

W efekcie po włączeniu zasilania dzieją się dwie rzeczy jednocześnie: silniczek zaczyna drgać, a diody zaczynają migać.

I właśnie to połączenie – ruch i światło – sprawia, że robaczek wygląda jak „żywy".

Podsumowanie

Zmontowany robaczek to bardzo prosty układ: bateria, przełącznik, silniczek i dwie diody LED – a mimo to potrafi ożyć i poruszać się w zupełnie nieprzewidywalny



Rysunek 6. Schemat ideowy układu

sposób. Delikatne drgania silniczka zamieniają się w ruch dzięki odnóżom, które sam zaprojektowałeś i ukształtowałeś.

Ten projekt pokazuje coś ciekawego: nawet najprostsze zjawiska mogą prowadzić do zaskakujących efektów. Niewielka zmiana kształtu nóg, ich długości czy ustawienia sprawia, że robaczek porusza się zupełnie inaczej. Czasem szybko ucieka do przodu, innym razem kręci się w miejscu albo wykonuje nieprzewidywalne „tańce".

W pewnym sensie to właśnie Ty decydujesz, jak będzie się zachowywał – choć nie wszystko da się przewidzieć. To dobra lekcja: w technice często wystarczy drobna zmiana, by uzyskać zupełnie inny efekt.

Podczas budowy ćwiczyłeś nie tylko lutowanie, ale też obserwację i eksperymentowanie. Każda poprawka, każde dogięcie drutu to kolejna próba i nowe doświadczenie. Tak właśnie powstają dobre rozwiązania – przez testowanie i ulepszanie.

Elektronika nie zawsze musi być skomplikowana, by była ciekawa. Czasem kilka elementów wystarczy, by stworzyć coś, co naprawdę „żyje" i daje dużo radości.

Mamy nadzieję, że ten robaczek sprawił Ci tyle samo frajdy podczas budowy, co później podczas obserwowania jego ruchów. A w kolejnym numerze czeka na Ciebie następne wyzwanie.

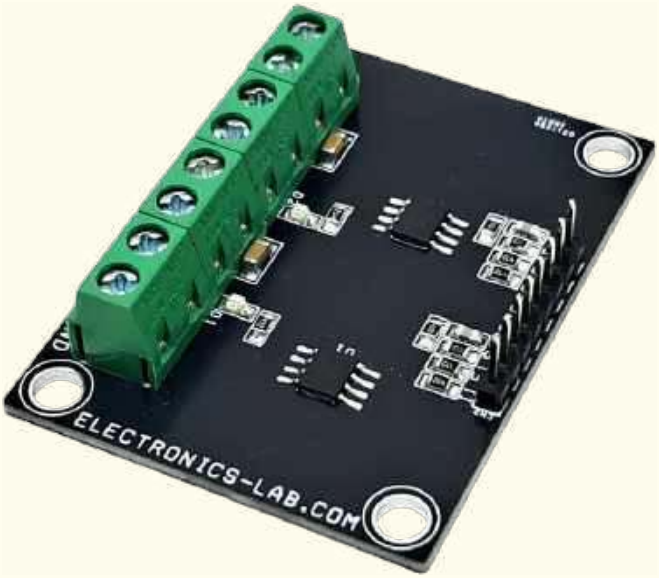
Do zobaczenia! ■

Mariusz Ciszewski

REKLAMA



eprasa.pl d2e0862bc0





Dwukanałowy przełącznik typu high-side z funkcją pomiaru prądu

Ten projekt to dwukanałowy, inteligentny przełącznik typu „high-side" zaprojektowany do wytrzymałych systemów zasilania w motoryzacji i przemyśle. Umożliwia on bezpieczne sterowanie dwiema liniami zasilania, oferując wbudowany pomiar prądu w czasie rzeczywistym oraz zestaw zabezpieczeń, w tym ochronę przed zwarciem i przegrzaniem. Układ wykrywa przerwy w obwodzie oraz automatycznie wyłącza się przy niskim napięciu, co zwiększa niezawodność. Dzięki diagnostyce, moduł umożliwia monitorowanie stanu obciążenia przez mikrokontroler. Jest to kompaktowe rozwiązanie do zarządzania energią w trudnych warunkach.

Programowalne generatory PWM z interfejsem I²C do sterowania silnikiem prądu stałego i diodami LED

Projekt modułu sterującego umożliwia niezależne zarządzanie silnikiem DC oraz oświetleniem LED, wykorzystując układy MIC4843A do zamiany sygnałów sterujących na napięcie wyjściowe. Dzięki obsłudze protokołu I²C, parametry pracy mogą być łatwo programowane z poziomu mikrokontrolerów takich jak Arduino. Zastosowanie modulacji PWM pozwala na płynną regulację prędkości obrotowej silnika oraz jasności diod. Kompaktowa płytka, wyposażona we wbudowane zabezpieczenia, jest gotowym rozwiązaniem dla projektów z zakresu automatyki lub robotyki. Całość działa jako interfejs między cyfrowym sterowaniem a elementami wykonawczymi o większym poborze prądu.

Niektóre projekty aktualnie dostępne tylko dla prenumeratorów EdW w rubryce DIY PLUS na www.elportal.pl:

1. Bezprzewodowy kontroler samochodu-robota Bluetooth
2. Kontroler ramienia robotycznego wykorzystujący bezprzewodowego pada z konsoli PS3
3. 7-segmentowy mini zegar wykorzystujący PIC16F628A i DS1307 RTC
4. Światło LED oparte na czujniku zbliżeniowym
5. OLEDUINO – wyświetlacz OLED kompatybilny z Arduino
6. Inteligentny regulator lutownicy – precyzyjny regulator grzałki
7. Wskaźnik poziomu paliwa z wyświetlaczem OLED
8. Bezprzewodowy odbiornik wilgotności i temperatury
9. Przerwania zewnętrzne (sprzętowe) i przerwania zegara w MicroPython
10. Laserowy czujnik odległości z wyświetlaczem OLED i RP2040
11. Inklinometr z 17-segmentowym wyświetlaczem słupkowym
12. Izolowany repeater USB – USB 2.0
13. Knight Rider Light – 16 diod LED dużej mocy (kompatybilny z Arduino)
14. Dźwięk do kolorowych efektów świetlnych (kompatybilny z Arduino)
15. Nowy i ulepszony licznik Geigera – teraz z Wi-Fi!
16. Detektor zalania
17. Lampa nastrojowa LED o dużej mocy
18. Kontroler dzwonów kościelnych
19. Arduino Nano – włączanie/wyłączanie urządzeń za pomocą pilota na podczerwień (dwa kanały)
20. Lampa sufitowa LED z czujnikiem ruchu PIR – kompatybilna z Arduino
21. Inteligentny ściemniacz LED z Bluetooth – 4-kanałowy włącznik/wyłącznik Bluetooth
22. Czterokanałowy izolator cyfrowy, wzmocniony, szybki, o niskim poborze mocy
23. Sterowanie prędkością, kierunkiem i zatrzymaniem silnika DC z modułem RF NRF24L01
24. Nadajnik zdalnego sterowania z pojedynczym joystickiem wykorzystujący NRF24L01
25. 8-kanałowy zdalny nadajnik RF z protokołami: Holtek i szeregowym
26. 8-kanałowy zdalny odbiornik RF z protokołami: Holtek i szeregowym
27. Pojemnościowy czujnik wilgotności do konwertera wyjścia analogowego
28. Mostek H dla wysokiej mocy szczotkowego silnika prądu stałego z czujnikiem prądu
29. Przetwornica DC-DC buck 12...75 V na 10 V na wyjściu
30. Czujnik prądu low-side 10 µA...10 mA
31. Kontroler ramienia robota z bezprzewodowym pilotem PS3
32. Termiczny czujnik masowego przepływu powietrza – anemometr stałotemperaturowy
33. Precyzyjny wzmacniacz transimpedancyjny z przełączanym integratorem
34. Wysokowydajny monofoniczny wzmacniacz audio klasy D o mocy 20 W
35. Kontroler pełnego mostka z przesunięciem fazowym i prostowaniem synchronicznym wykorzystujący UCC28950

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 d2e0862bc0



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



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

BESTSELLERY sklepu AVT – sklep.avt.pl

Mikroskopy cyfrowe dla elektroników

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

-3%

Rabat dla Prenumeratorów EdW
przy zakupie podaj numer prenumeraty

-6%



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



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



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



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



TRZECIARĘKA ZD-11P
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – uchwyt z latarką, ZD11P



TRZECIARĘKA ZD-11P-1
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – uchwyt z latarką i lupą, ZD11P-1



TRZECIARĘKA SN-394
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk z lupą 50 mm, przykręcany do blatu Proskit SN-394

BESTSELLERY sklepu AVT – sklep.avt.pl

Trzecia ręka

Rabat dla Czytelników EdW
przy zakupie podaj kod **EdW2505TR**
Kod ważny do 30.09.2025

-3%

Rabat dla Prenumeratorów EdW
przy zakupie podaj numer prenumeraty

-6%



TRZECIARĘKA ZD-11M-1
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – z uchwytem na szpulkę cyny, ZD11M-1



TRZECIARĘKA ZD-11M-2
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – uchwyt z lupą i podświetleniem LED ZD11M-2



TRZECIARĘKA ZD-11M-3
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – uchwyt z lupą i podświetleniem LED ZD-11M-3



TRZECIARĘKA ZD-11M
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – uchwyt ZD11M



TRZECIARĘKA SN-392
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka” z lupą 90 mm, Proskit SN-392



TRZECIARĘKA
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka” z lupą 60 mm

eprasa.pl d2e0862bc0