Edukacja w EdW dla szkół i uczelni:
Wykład 39: upsampling w audio

ELEKTRONIKA dla wszystkich

nr 03/2026 (362) • marzec • www.elportal.pl

DIY PLUS tylko dla prenumeratorów

PROJEKTY dla elektroników

- Generator analogowy 1 kHz. Źródło fali sinusoidalnej o ultraniskich zniekształceniach
- Cyfrowy potencjometr regulacji głośności
- Krzemowy świerszcz
- Miernik częstotliwości z pomiarem okresu

DIY dla wszystkich

- Układ do śledzenia Międzynarodowej Stacji Kosmicznej
- Rękawica „komunikacyjna"
- Wykrywanie osób z wykorzystaniem Bluetooth Low Energy (BLE)

TUTORIALE

- Wynalazcy i ich wynalazki w elektronice, część 1
- Ekscytacje maxa: Migające diody LED i śliniący się inżynierowie, część 30
- Audio OUT: Uniwersalna płytka z pojedynczym wzmacniaczem operacyjnym, zoptymalizowana do zastosowań w układach akustycznych, część 2

Miernik częstotliwości z pomiarem okresu

Generator analogowy 1 kHz

ISSN 1425-1698 Indeks 33362X
9 771425 169269 03
19,90 zł (w tym 8% VAT)

Pomocna dłoń

automatykaB2B.pl

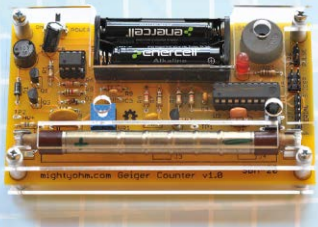
EP.com.pl
Największy portal dla elektroników konstruktorów

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

eprasa.pl ba02d99ec4

Elektor Bestsellers

SAVE UP TO 26% NOW!



www.elektor.com/sale/deals

Elektor SUMMER SALE

elektor
design > share > earn

eprasa.pl ba02d99ec4

–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

oprasa.pl/ba/203564

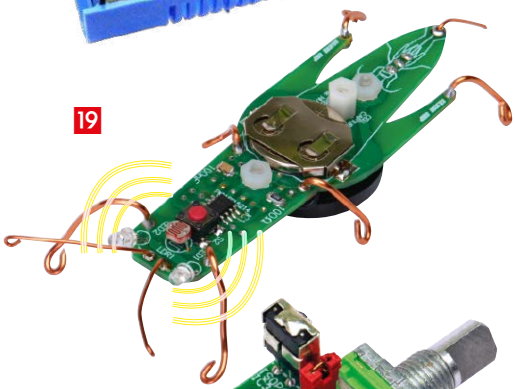
ELEKTRONIKA dla wszystkich

Marzec 2026 • 03 (362)

8

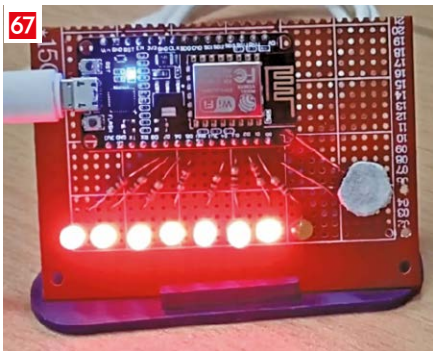
15

19



25

67



Projekty dla elektroników:

Miernik częstotliwości z pomiarem okresu 8
Generator analogowy 1 kHz.
Źródło fali sinusoidalnej o ultraniskich zniekształceniach 15
Krzemowy świerszcz 19
Cyfrowy potencjometr regulacji głośności 25

Tutoriale:

Wynalazcy i ich wynalazki w elektronice, część 1 34
Ekscytacje Maxa:
Migające diody LED i śliniący się inżynierowie, część 30 49
Edukacja w EdW dla szkół i uczelni:
Wykład 39 – Upsampling w audio 54
Audio OUT:
Uniwersalna płytka z pojedynczym wzmacniaczem operacyjnym, zoptymalizowana do zastosowań w układach akustycznych, część 2 63

DIY dla wszystkich:

Układ do śledzenia Międzynarodowej Stacji Kosmicznej 67
Rękawica „komunikacyjna” 69
Wykrywanie osób z wykorzystaniem Bluetooth Low Energy (BLE) 72

Junior:

Dwudzieste pierwsze spotkanie z najmłodszymi pasjonatami elektroniki ... 77

Na zdjęciu na okładce Zosia – Młodzi Entuzjaści Elektroniki, Zagroda CUDów, Trójca

DIY PLUS

tylko dla prenumeratorów zamawiających prenumeratę na www.UlubionyKiosk.pl

Bezprzewodowy kontroler samochodu-robota Bluetooth 90
Kontroler ramienia robotycznego wykorzystujący bezprzewodowego pada z konsoli PS3 90

Rubryki stałe:

Prenumerata 3
Od redakcji 5
Poczta 7

eprasa.pl ba02d99ec4

A za miesiąc w kwietniowym EdW

Subwoofer aktywny Hi-Fi o wysokiej wydajności, część 1
Zestawienie 12-calowego głośnika SB Acoustics z solidną, 80-litrową obudową bass-reflex strojoną na 25 Hz nie mogło pozostać bez echa. 180 W mocy ciągłej (RMS) to tylko jeden z atutów tej konstrukcji. Symulacje i pomiary otwierają szczegółową dokumentację budowy, której finał pokażemy w kolejnym odcinku.

Sterownik systemu nawadniania oparty na WebMite
Zapomnij o mikroskopijnym wyświetlaczu i plątaninie przycisków. Ten sterownik podlewania konfigurujesz wygodnie z poziomu przeglądarki. Sam pilnuje harmonogramów, sprawdza prognozę pogody, może wykryć pękniętą rurę i wstrzymać podlewanie podczas deszczu. Nowoczesne, inteligentne nawadnianie z elektrozaworami 24 V AC.

Songbird – elektroniczny ptaszek, który śpiewa jak żywy!
Oparty na klasycznym projekcie z lat 80., nowoczesny Songbird to idealny upominek dla początkującego elektronika – lub po prostu sympatyczna ozdoba, która potrafi ćwierkać. W artykule znajdziesz prosty układ z sześcioma oscylatorami, dokładny opis montażu oraz pomysł na estetyczną oprawę – od płaskiej podstawki po… klatkę z drutu!

Miniaturowa kamera termowizyjna z czujnikiem Grid-EYE
Masz dość zgadywania, który element się nagrzewa? Zbuduj własną kamerę termowizyjną z czujnikiem AMG88xx Grid-EYE i Arduino UNO. matryca 8×8 pikseli, interpolacja do 15×15 oraz kolorowy wyświetlacz TFT pozwalają zobaczyć rozkład temperatury w trybie graficznym lub numerycznym. Niewielkie, a zaskakująco skuteczne narzędzie do warsztatowej diagnostyki.

Dla studentów i uczniów: garść technicznych tutoriali

Dla szukających inspiracji: ciekawe projekty DIY

Dla najmłodszych: kolejny zestaw z serii AVTEDU

W kioskach od 27 marca

Marzec w laboratorium – z myślą o łące

Marzec to miesiąc przejściowy. Jeszcze siedzimy w laboratorium, przy lutownicy i oscyloskopie, ale gdzieś z tyłu głowy pojawia się już łąka, światło i dźwięki budzącej się przyrody. W tym numerze jedno i drugie spotyka się całkiem naturalnie.

Numer otwiera Phil Prosser projektem analogowego regulatora głośności sterowanego cyfrowo. To bezpośredni zamiennik klasycznego potencjometru, który eliminuje problemy zużycia mechanicznego i słabego dopasowania kanałów przy małych poziomach. Układ oparty na PGA2311 oferuje szeroki zakres regulacji, bardzo dobre parametry i wygodę sterowania enkoderem oraz pilotem. Rozwiązanie nowoczesne, ale w pełni analogowe w torze sygnałowym.

Zaraz potem przenosimy się – choć jeszcze tylko wyobraźnią – na marcową łąkę. John Clarke w „Krzemowym świerszczu" pokazuje, jak przy pomocy mikrokontrolera i przetwornika piezo odtworzyć naturalne cykanie owada. Projekt reaguje na oświetlenie, wprowadza drobne losowe zmiany tempa i potrafi też zamienić się w żabę albo kanarka. To lekki, pomysłowy układ, który przypomina, że elektronika może nie tylko mierzyć i wzmacniać, ale też bawić.

Do warsztatu wracamy z Charlesem Kosiną i jego rewersyjnym licznikiem częstotliwości. Zastosowanie pomiaru okresu zamiast klasycznego zliczania impulsów pozwala uzyskać wiarygodne wyniki zarówno dla bardzo wolnych sygnałów, jak i dla częstotliwości sięgających około 10 MHz. To ciekawa lekcja zmiany podejścia – czasem wystarczy inaczej spojrzeć na problem.

Czysty analog reprezentuje Alfred Rosenkränzer, proponując wysokiej jakości generator 1 kHz na wzmacniaczach operacyjnych OPA2211 i sprzężeniu optycznym. Bez mikrokontrolera, bez oprogramowania, za to z dbałością o stabilizację amplitudy i niskie zniekształcenia. Projekt dla tych, którzy cenią klasyczne rozwiązania i solidne podstawy pomiarów audio.

W części historycznej dr David Maddison rozpoczyna cykl o wynalazcach i ich odkryciach. Od pierwszych obserwacji elektryczności statycznej po narodziny elektromagnetyzmu – to przypomnienie, że każde współczesne urządzenie ma swoje korzenie w pomysłach sprzed dziesięcioleci i stuleci.

Mike Tooley w kolejnym odcinku „Kick Start" omawia niskoprądowe wzmacniacze operacyjne i ich praktyczne zastosowania. Jake Rothman rozwija temat uniwersalnej płytki z pojedynczym wzmacniaczem operacyjnym w serii „Audio OUT", a Jos Verstraten w wykładzie o upsamplingu wprowadza w zagadnienia nadpróbkowania i filtrów cyfrowych w systemach audio.

Nie zabrakło także charakterystycznego humoru – Clive „Max" Maxfield ponownie łączy animatronikę, serwomechanizmy i Arduino w swoim lekkim, ale technicznie konkretnym stylu.

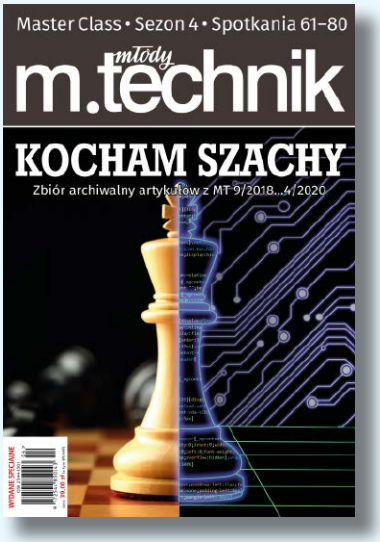
Na koniec EdW Junior i relacja z zajęć w Zagrodzie CUDów. Wspólne budowanie Pikających kostek do gry (AVTEDU637) pokazuje, że elektronika ma niemal magiczną siłę łączenia pokoleń we wspólnym działaniu przy jednym stole. Pokazuje też, że wspólny czas z rodzicami wcale nie musi być „obowiązkiem" – przeciwnie, może stać się prawdziwą przygodą.

Marzec jeszcze trzyma nas pod dachem, w laboratorium i warsztacie. Ale jeśli gdzieś w tle słychać już krzemowego świerszcza, to znak, że wiosna naprawdę jest blisko.

Mariusz Ciszewski

eprasa.pl ba02d99ec4

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 ba02d99ec4

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.

Ciekawość, która odmładza

Szanowna Redakcjo,

to mój pierwszy list (e-mail) do Państwa. Z wydawnictwem jestem związany od wielu lat – i to lat bardzo pozytywnych. Z przyjemnością obserwuję rozwój działu Junior w „Elektronice dla Wszystkich".

Pamiętam czasy, gdy sam zaczynałem składać komplety, czyli zestawy do samodzielnego montażu. Potem przyszło technikum, pracownia, pierwsze programy, a w telewizji „walki robotów". Było poszukiwanie części, pierwsze próby sterowania silnikami… Dziś, z elementów, które mam w swoich zasobach, zbudowanie robota typu „Run Amok" byłoby chyba kwestią kilku godzin.

Moje najstarsze czasopismo pochodzi z 1993 roku – zachowane w stanie niemal jak świeżo po wydruku. Do tego biblioteka książek autorów takich jak Piotr Górecki, Zbigniew Raabe, Jarosław Doliński, Jacek Bogusz czy Andrzej Pawluczuk oraz niezliczona liczba numerów czasopism. To prawdziwa skarbnica wiedzy – od sterowania i programowania po budowę układów komunikacji bezprzewodowej.

Spotkałem się kiedyś z opinią, że EdW to „młodzieżowe czasopismo". O ironio – w duchu tylko się uśmiechnąłem. Powiedziała to osoba korzystająca na co dzień z dobrodziejstw elektroniki i elektrotechniki, choćby ze schodów ruchomych, nie mając pojęcia, ile pracy i wiedzy stoi za ich działaniem. Elektronika może być wykorzystywana pozytywnie – i właśnie tego uczycie. Ludzie myślący negatywnie często z góry zakładają, że coś się nie uda.

Pamiętam galerie młodych konstruktorów, możliwość napisania e-maila do autorów czy słynny numer GG 5054951 – Marcin Wiązania. To były czasy budowania społeczności.

Przez wiele lat pracowałem w przemyśle – nic nadzwyczajnego, ale mogłem zobaczyć „na żywo" czujniki i regulatory, o których wcześniej czytałem w EDW czy EP. Ceniłem również artykuły związane z modelarstwem: serwa, układy sterowania… Sam jestem zapalonym modelarzem – nie tylko modeli R/C, lecz także rakiet i silników modelarskich.

Wiedza, którą Państwo przekazują, jest nieoceniona. Życzę całemu zespołowi AVT, twórcom czasopism oraz wszystkim autorom współpracującym z redakcją, aby nadal tworzyli z pasją i zaangażowaniem.

Mnie osobiście udało się m.in. zbudować moduł sterowania plazmą CNC na silnikach krokowych – układ pracujący w układzie kartezjańskim. Uwielbiam techniczne słownictwo i ludzi, którzy potrafią się nim swobodnie posługiwać. To również świadczy o kunszcie pracy redakcji.

Z wyrazami szacunku
Bartłomiej Fischer

Red. Drogi Czytelniku,

bardzo dziękujemy za ten list. Czyta się go z prawdziwą przyjemnością – zwłaszcza gdy pisze ktoś, kto jest z nami od 1993 roku i wciąż ma swoje egzemplarze w stanie „jak świeżo po wydruku". To dla nas bardzo motywujące.

Uśmiechnęliśmy się przy wspomnieniu „walk robotów" i dawnych form budowania społeczności. Dziś rzeczywiście jest inaczej – ale wcale nie gorzej. Wiedza dostępna jest natychmiast, odpowiedzi można znaleźć w kilka chwil, a podzespoły zamówić z drugiego końca świata. To fascynujące czasy dla pasjonatów techniki.

Wierzymy jednak, że nawet najbardziej błyskawiczna odpowiedź nie zastąpi czegoś, co powstaje latami – konsekwentnie budowanego warsztatu, umiejętności samodzielnego myślenia i głębokiego rozumienia zjawisk. Właśnie w tym widzimy rolę branżowego czasopisma: nie tylko odpowiadać, ale inspirować, porządkować i rozwijać. To istotny aspekt naszej misji.

Bardzo cieszy nas, że lektura EdW towarzyszyła Panu od pierwszych zestawów do samodzielnego montażu aż po budowę sterowania plazmą CNC w układzie kartezjańskim. Takie historie pokazują, że elektronika rzeczywiście potrafi być drogą – nie tylko hobby, lecz także sposobem myślenia i patrzenia na świat.

Jeśli rozbudzanie ciekawości w młodym pokoleniu jest wadą, nie zamierzamy z niej rezygnować. A jeśli już mamy mieć wady – ta będzie powodem do dumy.

Chętnie dowiedzielibyśmy się więcej o Pana projektach modelarskich. Może zechciałby Pan kiedyś podzielić się jednym z nich z Czytelnikami? EdW zawsze było i jest miejscem dla praktyków.

Jeszcze raz dziękujemy za dobre słowo i za to, że jest Pan z nami od tylu lat.

Z serdecznymi pozdrowieniami
Redakcja Elektroniki dla Wszystkich

Chyba znalazłem błąd

Dzień dobry,

Mam prośbę o rzucenie okiem na artykuł EdW Junior, w którym opisywana jest zasada działania zestawu AVTEDU620, a dokładnie podpunkt „Dzielnik napięcia z termistorem" (s. 88). Nie jestem ekspertem, natomiast wydaje mi się, że zasada działania tego dzielnika została opisana na odwrót. Jeśli rezystancja termistora maleje ze wzrostem temperatury, to napięcie w punkcie TH powinno rosnąć wraz z temperaturą.

Proszę sprawdzić, czy nie ma błędu. Czytałem ten kawałek kilka razy dla pewności i wydaje mi się, że szczególnie młodzi adepci sztuki elektronicznej mogą być zdezorientowani lub wynieść błędną wiedzę.

Z wyrazami szacunku,
Łukasz Budzyński.

Red.

Szanowny Panie Łukaszu,

Dziękujemy za bardzo uważną lekturę i cenną uwagę.

Ma Pan całkowitą rację – w opisie dzielnika napięcia z termistorem pojawiła się oczywista pomyłka w określeniu kierunku zmian napięcia w punkcie TH.

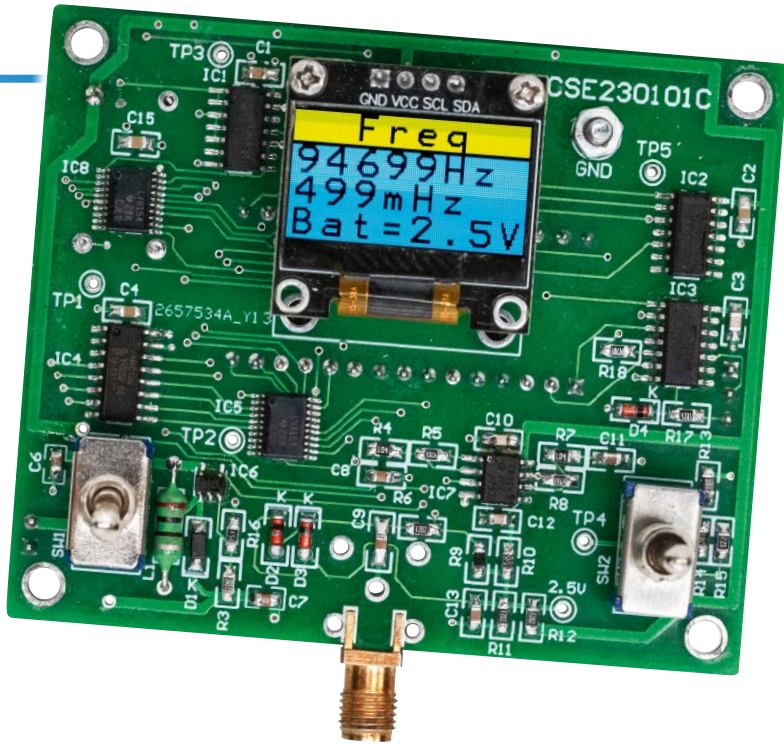
To błąd w tekście i dziękujemy za jego wychwycenie. Sprostowanie zostało już zamieszczone pod bieżącym spotkaniem EdW Junior.

Dziękuję za czujność – takie sygnały pomagają nam stale podnosić poziom merytoryczny publikowanych materiałów.

Z wyrazami szacunku,
Redakcja

eprasa.pl ba02d99ec4

Opisany w artykule przyrząd służy do pomiaru częstotliwości sygnałów obliczanej jako odwrotność okresu. W literaturze technicznej urządzenia tego typu często są nazywane licznikami częstotliwości. Aby uzyskać dokładny wynik tradycyjne przyrządy muszą próbkować sygnał przez długi czas. Nasz miernik zamiast tego mierzy średni okres i oblicza jego odwrotność, wystarczy więc monitorować tylko kilka impulsów, aby uzyskać dokładny odczyt. Zakres pomiarowy sięga do około 10 MHz.



Miernik częstotliwości z pomiarem okresu

Kupiłem licznik częstotliwości ponad 30 lat temu, ale jego dokładność jest bardzo słaba jak na dzisiejsze standardy, z odchyleniem nawet o 50 Hz przy 10 MHz. Wymieniłem jego niezbyt dokładny moduł zegara na 10 MHz TCXO i teraz mogę polegać na nim z dokładnością do 1 Hz przy 10 MHz. Dostosowując częstotliwość TCXO do częstotliwości mojej częstotliwości odniesienia 10 MHz synchronizowanej przez GPS, mogę być pewien takiej dokładności.

Ale co się dzieje, gdy chcę zmierzyć niskie częstotliwości? Na przykład sygnał 50 Hz. Przy czasie bramki wynoszącym jedną sekundę, najprawdopodobniej pokaże odczyt 50, nawet jeśli nie jest to dokładnie to. Może to być 49 lub 51, ale rozdzielczość wynosi tylko 1 Hz. Aby ją poprawić, moglibyśmy mieć czas bramki 10 sekund, dla którego rozdzielczość byłaby równa 0,1 Hz. Dla rozdzielczości 10 mHz wymagany byłby 100-sekundowy czas bramkowania, co jest wartością trudną do zaakceptowania.

Lepszym sposobem pomiaru niskich częstotliwości jest pomiar okresu. W tym samym przykładzie 50 Hz, przy użyciu zegara 10 MHz, w jednym okresie 20 ms zgromadziłoby się 200000 impulsów. Jeśli zmierzona liczba impulsów wynosiłaby 199900, oznaczałoby to, że częstotliwość wynosi 10000000 ÷ 199900 = 50,025 Hz.

Jest to znaczna poprawa rozdzielczości, ale w dużym stopniu uzależniona od dokładności sprzętu mierzącego czas trwania jednego cyklu. Ponadto wraz ze wzrostem częstotliwości sygnału spada rozdzielczość i dokładność.

Zaletą tego schematu jest to, że dokładny czas pomiaru nie jest krytyczny, ponieważ obliczenie częstotliwości jest ilorazowe. Oznacza to, że powinniśmy uzyskać dość dokładne wyniki, o ile dysponujemy źródłem zegara o dokładnej częstotliwości i zsynchronizujemy okres pomiaru z narastającymi zboczami ciągu impulsów sygnału wejściowego.

Co musimy mierzyć z taką precyzją? Do pierwszego sprawdzenia wybrałem częstotliwość sieci. Podłączyłem wyjście transformatora sieciowego 6 V AC do obwodu RC w celu zmniejszenia napięcia i odfiltrowania szumów

Częstotliwość różniła się nieznacznie między poszczególnymi odczytami, a największa różnica wynosiła około 30 mHz. Mieści się to w wymaganej specyfikacji Australijskiego Operatora Rynku Energii (AEMO) wynoszącej 49,85...50,15 Hz (autor mieszka w Australii – przyp. red.). Zmienność częstotliwości jest spowodowana stale zmieniającymi się warunkami obciążenia sieci.

Bardzo precyzyjnie muszą być ponadto strojone instrumenty muzyczne. W skali równomiernie temperowanej częstotliwość C4 (środkowe C) powinna wynosić 261,63 Hz. Częstotliwość koncertowa A4, do której są strojone instrumenty, musi wynosić 440,00 Hz. Wszystkie inne nuty wymagają takiej samej precyzji, z dokładnością do dwóch miejsc po przecinku, a wyćwiczone ucho jest w stanie wychwycić najmniejsze różnice w wysokości dźwięku. Takie częstotliwości można zmierzyć dokładnie i szybko za pomocą wzmacniacza mikrofonowego i tego urządzenia.

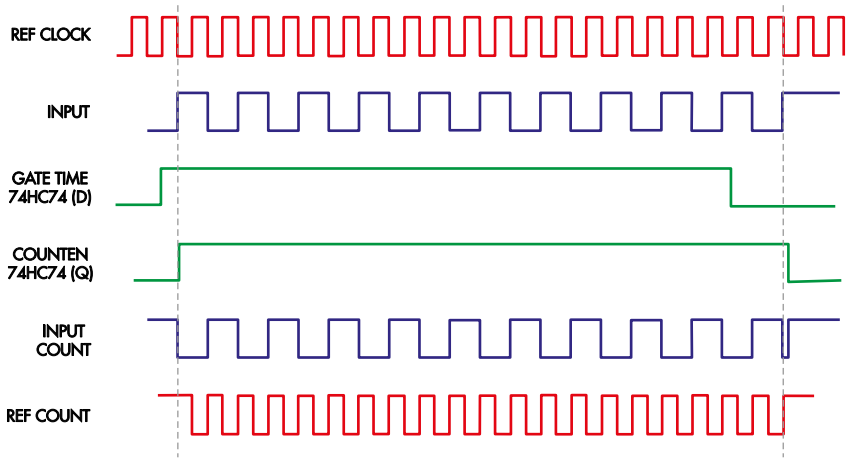
Opis działania

Przyjrzyjmy się przebiegom czasowym przedstawionym na **rysunku 1**. Należy pamiętać, że nie zostało zachowane skalowanie tych wykresów. Sygnał wejściowy jest doprowadzany do wejścia zegarowego przerzutnika typu D (74HC74). Gdy wejście D (GATE TIME) pozostaje w stanie niskim, wyjście Q pozostaje

Cechy i specyfikacja

- Zakres częstotliwości pracy: 10 mHz...10 MHz (maksymalnie ~13,5 MHz)
- Czułość wejściowa: 100 mV peak-to-peak (~35 mV RMS dla przebiegu sinusoidalnego)
- Dokładność: typowy błąd <0,001 Hz do 9,999 MHz po kalibracji
- Czas próbkowania: 0,1 s, 1 s lub 5 s
- Generator referencyjny: generator kwarcowy z kompensacją temperatury (TCXO)
- Zasilanie: trzy ogniwa AA zapewniające około 24 godzin pracy na baterii

eprasa.pl ba02d99ec4



Rysunek 1. Moment rozpoczęcia i zakończenia zliczania jest zsynchronizowany z sygnałem wejściowym. GATE TIME wskazuje w przybliżeniu, kiedy powinno nastąpić zliczanie. Jednak zsynchronizowany sygnał COUNTEN faktycznie rozpoczyna i zatrzymuje zliczanie (INPUT COUNT i REF COUNT). Dwie wartości zliczania są następnie dzielone, aby uzyskać stosunek, a tym samym określić rzeczywisty okres sygnału wejściowego

w stanie niskim, a liczniki są zablokowane. Okres zliczania rozpoczynamy od podania jedynki logicznej (poziom wysoki) na wejście D. Przy następnym narastającym zboczu sygnału wejściowego, wyjście Q (COUNTEN) przejdzie w stan wysoki po krótkim opóźnieniu związanym z czasem propagacji przerzutnika.

W rezultacie włączane są dwie bramki NAND. Zegar referencyjny (REF COUNT) jest następnie podawany do 32-bitowego licznika IC5, a sygnał wejściowy, INPUT COUNT, jest podawany do drugiego 32-bitowego licznika IC8.

Po jednej sekundzie na wejściu D układu 74HC74 pojawia się stan niski. Wyjście Q pozostaje w stanie wysokim do następnego dodatniego zbocza sygnału wejściowego, po którym wyjście to przechodzi w stan niski. Zatrzymuje to zliczanie impulsów w obu 32-bitowych licznikach. Co ważne, mamy dokładny licznik wejściowy, ponieważ okres jest zsynchronizowany z narastającymi zboczami sygnału wejściowego.

Licznik referencyjny nie jest zsynchronizowany w ten sam sposób, więc wynik zliczenia może być mniejszy o jeden. W przypadku generatora referencyjnego 10 MHz powoduje to błąd wynoszący jedną część na 10^7. Jednak w przypadku odniesienia 30 MHz zmniejsza się on do 0,33 części na 10^7, co jest wartością nieistotną.

Mamy teraz trzy parametry. Zegar referencyjny to TCXO, więc jest bardzo dokładny. IC5 będzie zawierał liczbę zgromadzoną w (przybliżonym) jednosekundowym okresie i jest to licznik referencyjny, który będzie zbliżony do częstotliwości generatora referencyjnego. Drugi licznik, IC8, zawiera liczbę wejściową. Częstotliwość jest następnie obliczana z równania:

f = liczba impulsów wejściowych × częstotliwość referencyjna ÷ liczba impulsów referencyjnych

Opis schematu

Pełny schemat miernika częstotliwości przedstawiono na **rysunku 2**.

Sygnał wejściowy ze złącza CON2, BNC lub SMA, jest wzmacniany przez podwójny wzmacniacz operacyjny Analog Devices ADA4891-2, IC7. Przy pokazanych wartościach wzmocnienie wynosi około 32, ale można je zwiększyć, zmieniając kilka rezystorów. Wymagany jest minimalny sygnał wejściowy o wartości szczytowej 50...100 mV.

Wybrałem ten wzmacniacz operacyjny, ponieważ ma wysoką impedancję wejściową, szerokość pasma wzmocnienia (GBW) 220 MHz i przyzwoitą szybkość narastania 170 V/µs. Jest on również łatwo dostępny u wielu dostawców w umiarkowanej cenie. Wzmocnienie jest stosowane w dwóch etapach po około pięć razy, aby utrzymać wysoką ogólną szerokość pasma.

Diody D2 i D3 w połączeniu antyrównoległym ograniczają poziom wejściowy pierwszego wzmacniacza operacyjnego i zapobiegają przeciążeniu. Napięcie wyjściowe drugiego wzmacniacza operacyjnego (IC7b) jest podnoszone do kwadratu przez inwerter z wejściem Schmitta 74HC14 (IC3a). Jego wyjście steruje wejściem zegarowym przerzutnika 74HC74 IC2a, który generuje flagę COUNTEN na wyjściu Q1, jest też podawany na bramkę NAND 74HC10 (IC1c) wytwarzającą sygnał COUNT.

Używam dwóch trójwejściowych bramek NAND 74HC10 z dwoma wejściami połączonymi razem zamiast dwuwejściowych 74HC00 wyłącznie dlatego, że takie miałem w swoim magazynie. Potrzebuję tylko dwóch takich bramek, więc użycie 74HC00 z czterema bramkami nie byłoby bardziej przydatne.

Sygnał COUNT trafia do obu wejść zegarowych 32-bitowego licznika 74LV8154, IC8. Drugi taki licznik, IC5, jest sterowany przez wyjście TCXO, które dzięki bramce NAND IC1a jest również bramkowane sygnałem COUNTEN, jak opisano wcześniej.

Przed rozpoczęciem zliczania mikrokontroler może wyzerować oba liczniki sygnałem CCLR. Ten sam sygnał zeruje również przerzutnik IC2a, wyłączając sygnał COUNTEN. Po zakończeniu zliczania mikrokontroler może odczytać wartości z obu 32-bitowych liczników za pośrednictwem 8-bitowej magistrali danych (CNTR0...7), wybierając jeden bajt z jednego 32-bitowego licznika na raz (w sumie osiem).

To, który bajt zostanie odczytany, zależy od stanu linii SIG COUNT i 30MHZ_COUNT, używanych do wybierania jednego licznika oraz bitów SEL0/SEL1, które wybierają, który bajt tego licznika znajduje się na 8-bitowej magistrali kontrolowanej przez obie połówki podwójnego dekodera linii 2 na 4 74HC139, IC4.

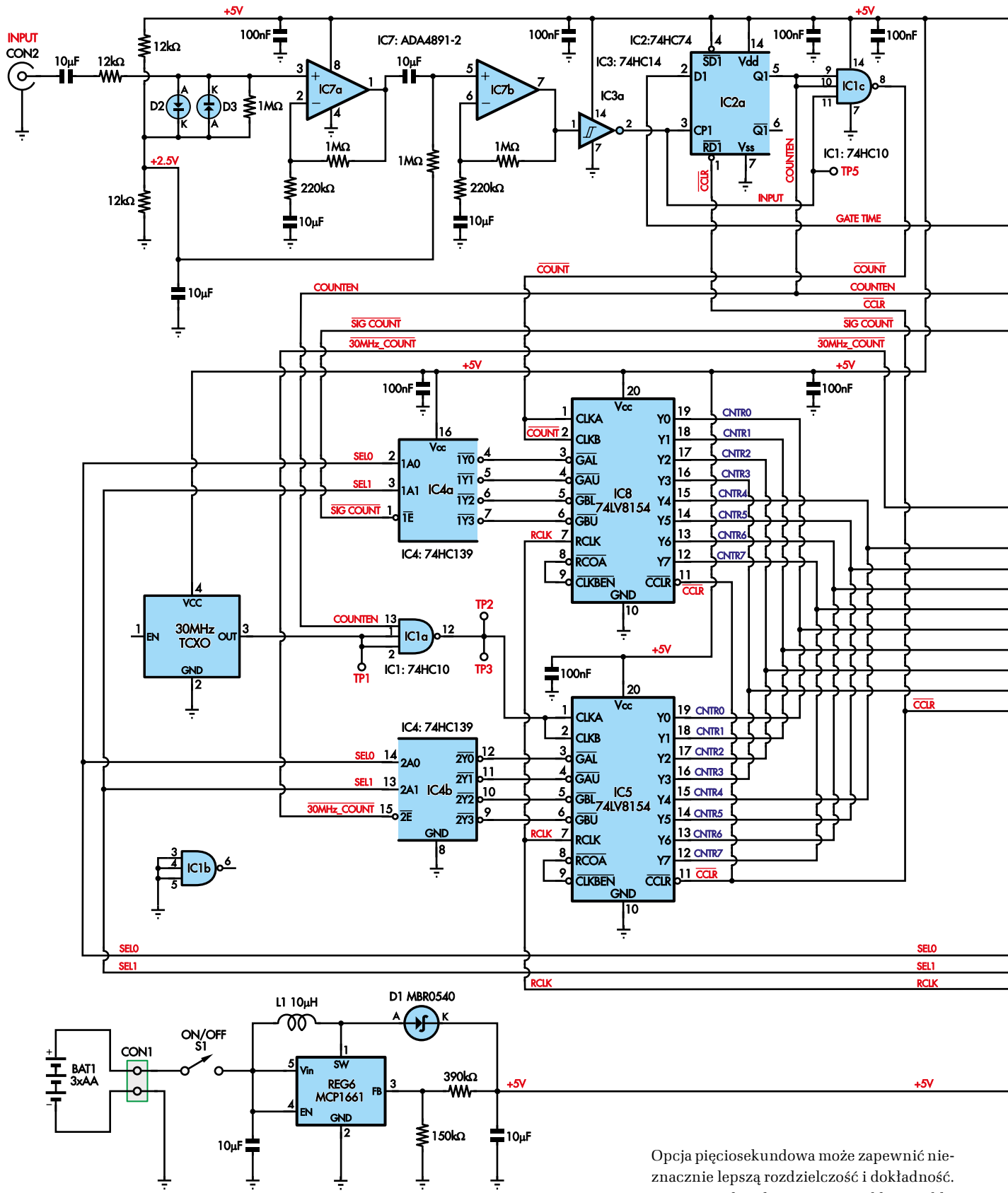
Zastosowany moduł to Arduino Nano z wbudowanym mikrokontrolerem ATmega328. Są one dostępne w wielu źródłach i są tańsze niż kupowanie oddzielnych komponentów, a ponadto eliminują część ciężkiej pracy związanej z montażem.

Wyświetlacz to ten sam 0,96-calowy monochromatyczny graficzny OLED, którego używałem w kilku poprzednich projektach. Arduino Nano aktualizuje stan wyświetlacza za pośrednictwem dwuprzewodowego interfejsu szeregowego I²C z dwoma rezystorami podciągającymi 4,7 kΩ, zgodnie z wymaganiami standardu I²C.

Przełącznik S2 zapewnia trzy opcje czasu próbkowania: 0,1 s, 1 s lub 5 s. Jedna sekunda jest odpowiednia dla większości pomiarów.

Licznik jest zasilany bateryjnie, dzięki czemu jest wygodny w użyciu

eprasa.pl ba02d99ec4

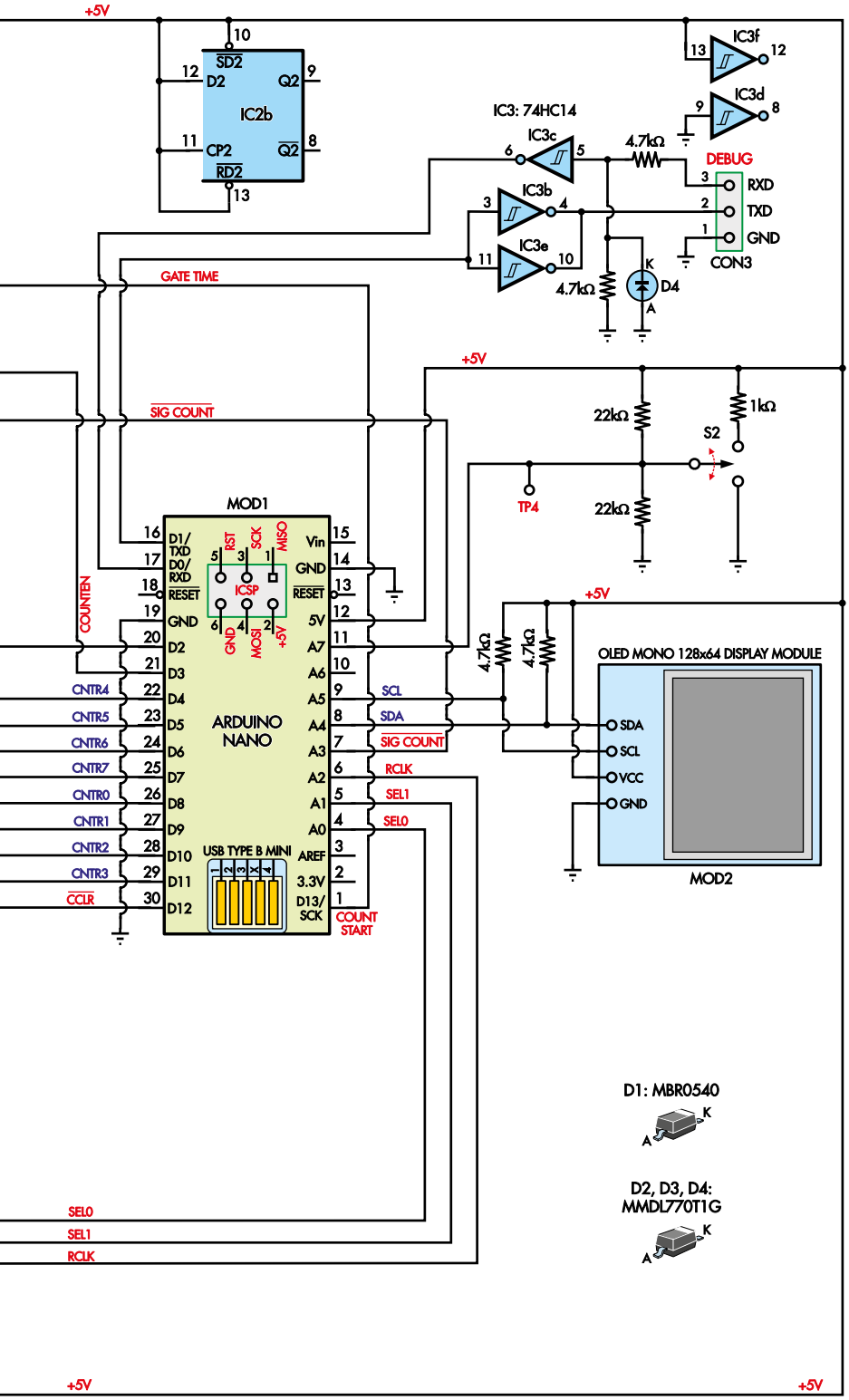


Rysunek 2. Pełny schemat miernika (licznika) częstotliwości. Kondycjonowanie sygnału odbywa się przez elementy znajdujące się w lewym górnym rogu. Liczniki są widoczne w lewej części schematu, zasilacz znajduje się w lewym dolnym rogu, a mikrokontroler i wyświetlacz znajdują się po prawej stronie. Mikrokontroler decyduje, kiedy rozpocząć i zakończyć zliczanie oraz kiedy wyzerować liczniki. Jest on odpowiedzialny za odczyt wartości licznika, obliczenie częstotliwości i wyświetlenie jej na ekranie wyświetlacza OLED

Opcja pięciosekundowa może zapewnić nieznacznie lepszą rozdzielczość i dokładność. Opcja 0,1 sekundy zapewnia szybki, przybliżony odczyt.

Mikrokontroler odczytuje pozycję przełącznika S2, używając przetwornika analogowo-cyfrowego do pomiaru napięcia na pinie 11

eprasa.pl ba02d99ec4



(ADC7). Przełącznik pokazuje 0 V, połowę zasilania (2,5 V) lub napięcie bliskie pełnego zasilania (5 V).

Zasadniczo wszystkie układy są zasilane stabilizowanym napięciem 5 V ze stabilizatora REG6. Wytwarza on napięcie 5 V z napięcia 3 V...4,5 V uzyskiwanego z trzech połączonych szeregowo ogniw AA, a jego wejście jest włączane/wyłączane przełącznikiem S1.

CON3 i trzy kolejne inwertery w IC3 zapewniają szeregowy interfejs debugowania. O ile nie planujesz modyfikować kodu, co nie jest konieczne, elementów CON3 i D4 można nie montować.

Obliczenia programowe

Przedstawione wcześniej wyrażenie matematyczne jest z pewnością proste. Zawiera tylko jedno mnożenie i jedno dzielenie, ale używane liczby są duże. Musimy mnożyć przed dzieleniem, aby nie stracić dokładności, a to oznacza, że musimy obliczyć wartość pośrednią, która może wynosić nawet 3 000 000 000 000 (trzy biliony przy wejściu 10 MHz i generatorze 30 MHz).

Taka liczba znacznie wykracza poza 32-bitową arytmetykę całkowitą. Używam kompilatora BASCOM, który może wykonywać obliczenia zmiennoprzecinkowe podwójnej precyzji przy użyciu 64 bitów. Taka precyzja wystarcza do przechowywania tak dużych liczb bez utraty dokładności. W przypadku 8-bitowego procesora pracującego z częstotliwością 16 MHz powyższe obliczenia trwają 0,4 ms, co jest czasem dość imponującym, jak na tak niedrogi układ.

Generator

Układy TCXO są łatwo dostępne na AliExpress za około 16 USD. Wypróbowałem cztery różne częstotliwości: 10 MHz, 25 MHz, 30 MHz i 40 MHz. Jedyną zmianą wymaganą w kodzie źródłowym BASCOM było zastąpienie jednej liczby.

Wyższe częstotliwości dają przewagę w postaci nieco lepszej rozdzielczości i dokładności. 40 MHz to maksimum, które można wykorzystać z licznikami 74LV8154, ale wydaje się, że jest granica możliwości, ponieważ dokładność wydaje się spadać. Należy więc przyjąć, że 30 MHz jest opcją najlepszą.

Byłoby dobrze, gdyby częstotliwość była odczytywana w jednym rzędzie dużych cyfr, ale zgodnie ze stylem moich poprzednich projektów, użyłem tego samego małego wyświetlacza OLED. Są na nim wyświetlane cztery wiersze po osiem znaków w każdym wierszu, a to nie wystarczy do wyświetlenia częstotliwości w jednej linii. Konieczne stało się więc podzielenie wyniku na dwie linie. W górnej linii jest wyświetlany napis „FREQ„, natomiast w drugiej są wyświetlane liczby do 9999999 (Hz). Trzecia linia zawiera resztę w mHz, od 0 do 999, natomiast w ostatniej linii jest wyświetlane napięcie baterii.

Dokładność

Głównym czynnikiem wpływającym na dokładność jest to, jak blisko deklarowanej częstotliwości jest rzeczywista częstotliwość TCXO. Drugim czynnikiem jest precyzja obliczeń matematycznych, ale dzięki zastosowaniu 64-bitowej arytmetyki zmiennoprzecinkowej wszelkie błędy są minimalne.

eprasa.pl ba02d99ec4

Tabela 1. Odczyty ze źródła o wysokiej precyzji bez kalibracji

Współczynnik podziału	Sygnał wejściowy	Pomiar	Błąd
÷16384	610,3515625 Hz	610,352 Hz	1 mHz
÷8192	1220,703125 Hz	1220,703 Hz	<1 mHz
÷4096	2441,40625 Hz	2441,406 Hz	<1 mHz
÷1024	9765,625 Hz	9765,625 Hz	<1 mHz
÷512	19531,25 Hz	19531,249 Hz	1 mHz
÷256	39062,5 Hz	39062,500 Hz	<1 mHz
÷128	78125,0 Hz	78124,998 Hz	2 mHz
÷64	156250,0 Hz	156249,995 Hz	2 mHz
÷32	312500,0 Hz	312499,990 Hz	10 mHz
÷16	625000,0 Hz	624999,980 Hz	20 mHz

Tabela 2. Pomiary wysokiej częstotliwości

Częstotliwość wejściowa	Pomiar	Błąd
1 MHz	999999,990 Hz	10 mHz
2 MHz	1999999,870 Hz	130 mHz
5 MHz	4999999,670 Hz	330 mHz
8 MHz	7999999,530 Hz	470 mHz
10 MHz	9999999,330 Hz	670 mHz

Jako wejścia do 14-bitowego licznika (74HC4060) użyłem mojego 10 megahercowego generatora synchronizowanego przez GPS i wprowadziłem dziesięć różnych podzielonych częstotliwości do omawianego miernika. W **tabeli 1** zebrano wyniki uzyskane bezpośrednio z TCXO 30 MHz bez regulacji.

Następnie dostroiłem TCXO 25 MHz z dokładnością poniżej 1 Hz. Błędy wynosiły 1 mHz lub mniej dla wszystkich częstotliwości podanych w tabeli 1.

Generatory TCXO, które kupiłem od dostawców AliExpress, miały częstotliwości bardzo zbliżone do podanej, ale można je regulować, odklejając etykietę z obudowy TCXO. Uzyskuje się w ten sposób dostęp do kondensatora regulacyjnego. Nie jest to jednak dla osób o słabych nerwach. Regulacja jest niezwykle precyzyjna, i jeśli nie masz odpowiedniego sprzętu i cierpliwości, nie polecam podejmowania się tej czynności.

Potrzebny jest 2-kanałowy oscyloskop, z jednym kanałem podłączonym i zsynchronizowanym z generatorem 10 MHz synchronizowanym przez GPS, i drugim kanałem dołączonym do wyjścia TCXO. Ten ostatni będzie dryfował w lewo lub w prawo, a trymer powinien być ustawiony na minimalny dryft. Jeśli jeden cykl dryftu trwa pięć sekund, oznacza to błąd 0,2 Hz (1 Hz ÷ 5).

Ograniczenia częstotliwości

Maksymalna częstotliwość opisywanego tu miernika jest częściowo ograniczona przez wzmacniacz operacyjny użyty we wzmacniaczu wejściowym. ADA4891 ma szerokość pasma wzmocnienia (GBW) 220 MHz i szybkość narastania 170 V/µs (został również wybrany ze względu na wysoką impedancję wejściową i GBW). Ogranicza to maksymalną użyteczną częstotliwość do około 15 MHz, jednak odczyty powyżej 10 MHz stają się raczej niestabilne.

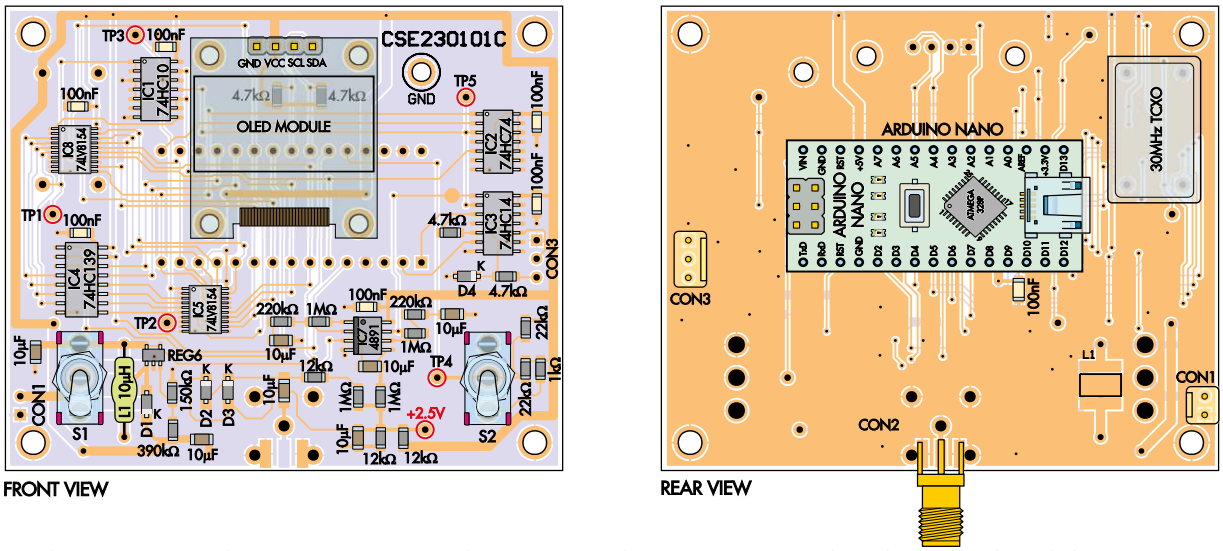
Do sprawdzenia częstotliwości powyżej 1 MHz użyłem mojego skalibrowanego generatora sygnału AD9851. Wyniki pokazano w **tabeli 2**.

Wydaje się, że większe błędy powyżej 1 MHz są spowodowane tym, że TCXO nieznacznie odbiega od swojej nominalnej częstotliwości 30 MHz.

Dolna granica częstotliwości jest określona przez składowe wejściowe (10 µF/1 MΩ), co odpowiada spadkowi o –3 dB przy 16 mHz. Zatem praktyczna dolna granica wynosi około 10 mHz. Pomiar sygnału o częstotliwości 0,1 Hz zająłby około 10...20 sekund, ale taka jest natura sygnałów o niskiej częstotliwości.

Budowa

Płytka PCB została zaprojektowana tak, aby po zmontowaniu można ją było umieścić w plastikowej obudowie Altronics H0324 z przezroczystą pokrywą. Nie jest więc konieczne wycinanie otworu na wyświetlacz.



Rysunek 3. Większość elementów jest przeznaczona do montażu SMD, które należy zamontować na górnej stronie płytki, ale jest też kilka elementów przewlekanych oraz kilka elementów montowanych na spodniej stronie płytki, zwłaszcza TCXO i moduł Arduino Nano. Cewka L1 może być typu przelotowego na górnej stronie lub 4 mm × 4 mm SMD na dolnej stronie. Zwróć uwagę na polaryzację wszystkich układów scalonych, stabilizatora i diod

eprasa.pl ba02d99ec4

Przed zamontowaniem jakichkolwiek elementów na płytce drukowanej, należy użyć jej jako szablonu do wywiercenia otworów w przezroczystej pokrywie. Płytka drukowana jest dopasowana do przedniego zaczepu. Przymocuj ją za pomocą taśmy klejącej i wywierć cztery narożne otwory montażowe wiertłem 3 mm. Użyj wiertła 1,5...2,0 mm do wywiercenia dwóch środkowych otworów na przełączniki.

Wyjmij płytkę drukowaną, wywierć otwory przełącznika na głębokość 6 mm i pogłęb otwory montażowe pod śruby M3 z łbem stożkowym (w tym przypadku o długości 6 mm).

Potrójny uchwyt na baterie AA należy przymocować do otworów w dolnej części obudowy za pomocą samogwintujących śrub z łbem stożkowym o średnicy około 3 mm (4G w starszej dokumentacji).

Następnie należy przejść do budowy płytki PCB oznaczonej kodem CSE230101C. Ma ona wymiary 76 mm × 63,5 mm. Podczas budowy należy zapoznać się ze schematem montażowym przedstawionym na **rysunku 3**. Większość elementów jest przeznaczona do montażu powierzchniowego (SMD). Dwa 32-bitowe liczniki, IC5 i IC8, są dostarczane w stosunkowo cienkich 20-pinowych obudowach TSSOP, więc należy je przylutować w pierwszej kolejności.

Pierwszym i najważniejszym zadaniem jest zidentyfikowanie pinu 1 i upewnienie się, że jest on prawidłowo umieszczony. Nie chcesz skończyć lutowania układu scalonego, aby zdać sobie sprawę, że jest on w odwróconym położeniu! W rogu pinu 1 powinna znajdować się kropka lub podobne oznaczenie, ale może być potrzebna lupa, aby ją zobaczyć.

Wykonując czynności montażowe po kolei, ostrożnie umieść chip na padach i przylutuj przeciwległe rogi, nie martwiąc się o zwarcie pinów. Najpierw przylutuj jedno skrajne wyprowadzenie, sprawdź pod lupą ustawienie elementu i dopiero po upewnieniu się, że jest ono prawidłowe, przylutuj wyprowadzenie przeciwległe.

Następnie rozprowadź topnik po obu stronach i powoli przeciągnij grot lutownicy wzdłuż pinów. Możesz skończyć z nadmiarem lutu na ostatnich kilku pinach, więc użyj trochę dodatkowego topnika i plecionki lutowniczej) do jego usunięcia. Używając lupy sprawdź, czy wszystkie piny zostały prawidłowo przylutowane i czy nie ma między nimi zwarć. Jeśli są, ponownie użyj topnika i plecionki lutowniczej.

Pomocne jest usunięcie pozostałości topnika za pomocą odpowiedniego rozpuszczalnika, a następnie przeprowadzenie ostatecznej kontroli przed przejściem do kolejnych czynności, ponieważ pozostałości mogą ukrywać błędy.

Wykaz elementów:
1 szczelna obudowa ABS [Altronics H0324] IP65 o wymiarach 125 mm × 85 mm × 55 mm
1 uchwyt na 3 baterie AA (BAT1)
3 ogniwa AA
1 dwustronna płytka drukowana oznaczona kodem CSE230101C, 76 mm × 63,5 mm
1 dwustronna płytka drukowana oznaczona kodem CSE230102, o grubości 1 mm z czarną maską lutowniczą, o wymiarach 76,5 mm × 63,5 mm (panel przedni)
1 moduł Arduino Nano (MOD1)
2 15-pinowe złącza (dla MOD1)
2 15-stykowe niskoprofilowe listwy żeńskie (do podłączenia MOD1)
1 0,96-calowy wyświetlacz OLED 128×64 pikseli (MOD2) I²C m
1 osiowa cewka RF 10 µH LUB cewka SMD 4 mm × 4 mm (L1) [NRS4018T100MDGJ]
1 miniaturowy przełącznik dwustabilny SPDT typu włącz/włącz (zatrzaskowy) (S1)
1 miniaturowy włącznik/wyłącznik/włącznik z wtykiem lutowanym SPDT (z blokadą na środku) (S2)
1 2-stykowe spolaryzowane gniazdo i dopasowana wtyczka (CON1)
1 gniazdo złącza krawędziowego SMA (CON2)
1 3-stykowe spolaryzowane złącze (CON3 do debugowania, opcjonalnie)
1 4-stykowe złącze żeńskie (dla MOD2)
4 śruby z łbem walcowym M3 × 6 mm
4 śruby z łbem stożkowym M3 × 6 mm
4 tuleje dystansowe 12 mm z gwintem M3
4 płaskie podkładki M3
2 tuleje dystansowe o długości 8 mm (minimalna średnica wewnętrzna 2 mm)
2 śruby maszynowe M2 × 16 mm i nakrętki
2 wkręty samogwintujące z łbem stożkowym 3 mm/4G × 6 mm (do uchwytu baterii)

Półprzewodniki
1 potrójna 3-wejściowa bramka NAND 74HC10, SOIC-14 (IC1)
1 podwójny przerzutnik typu D 74HC74, SOIC-14 (IC2)
1 sześciokrotny inwerter Schmidta 74HC14, SOIC-14 (IC3)
1 podwójny dekoder linii 2 na 4 74HC139, SOIC-16 (IC4)
2 liczniki 32-bitowe SN74LV8154PW, TSSOP-20 (IC5, IC8)
1 podwójny wzmacniacz operacyjny ADA4891-2ARZ, SOIC-8 (IC7)
1 MCP1661T-E/OT lub MP1542DK-LF przetwornica boost, SOT-23-5 (REG6)
1 4-pinowy generator 30 MHz TCXO z otworem przelotowym, 20 mm × 13 mm (OSC1) [eg, www,aliexpress,com/item/32789207591.html]
1 dioda Schottky'ego MBR0540 40 V 500 mA, SOD-123 (D1)
3 diody sygnalizacyjne mmDL770T1G 75 V 200 mA, SOD-323 (D2...D4)

Kondensatory (wszystkie SMD M2012/0805)
7 10 µF 16 V X7R 7 100 nF 50 V X7R

Rezystory (wszystkie w rozmiarze SMD M2012/0805, 1%)

4 1 MΩ	1 390 kΩ	2 220 kΩ	1 150 kΩ
2 22 kΩ	3 12 kΩ	4 4,7 kΩ	1 1 kΩ

Użyj podobnej techniki do przylutowania pozostałych układów scalonych SMD, które mają większy raster wyprowadzeń, więc powinny być łatwiejsze w montażu. Nie pomyl układów IC1, IC2 i IC3, wszystkie są dostępne w 14-pinowych obudowach SOIC/SOP.

Stabilizator REG6 ma trzy piny po jednej stronie i dwa po drugiej, więc jego prawidłowa orientacja powinna być oczywista. Najpierw przylutuj jedno z dwóch wyprowadzeń po stronie o większych odstępach między padami. Postępuj jak przy lutowaniu układów scalonych – jedno przeciągnięcie plecionką lutowniczą powinno wystarczyć do usunięcia mostków po stronie z trzema wyprowadzeniami.

Następnie zamontuj cztery diody. Zwróć uwagę, że poszczególne typy są dostarczane w różnych obudowach. Wszystkie mają kształt prostopadłościenny, jednak diody D2...D4 są mniejsze. Można również zastosować inne, kompatybilne odpowiedniki. W każdym przypadku upewnij się, że pasek katody jest skierowany w stronę najbliższego oznaczenia „K" na płytce drukowanej.

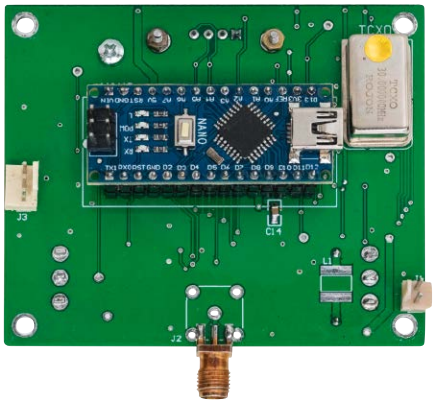
Następnie w podobny sposób przylutuj elementy pasywne SMD (kondensatory i rezystory). Rezystory będą oznaczone kodami określającymi ich wartości, podczas gdy kondensatory prawdopodobnie nie będą oznaczone, więc nie można ich mieszać po wyjęciu z opakowań. Mimo to, kondensatory 10 µF będą prawdopodobnie grubsze niż kondensatory 100 nF.

Przechodząc do cewki L1, mamy dwie opcje. Na górnej stronie płytki można zastosować cewkę 10 µH nawiniętą osiowo, ale lepszym wyborem jest cewka SMD 4 mm × 4 mm umieszczona na spodniej stronie płytki. Opcja SMD zapewnia nieco wyższą wydajność przetwornicy boost (podwyższającej), a tym samym nieznacznie dłuższą żywotność baterii.

Po przylutowaniu większości elementów SMD, zamontuj elementy przewlekane. Wyświetlacz OLED jest dołączany do 4-pinowej listwy i mocowany za pomocą dwóch śrub M2 × 15 mm i niegwintowanych tulei dystansowych. Ostrożnie zsuń plastikowy rozpórkę z pinów złącza OLED, aby zmniejszyć jego wysokość, a następnie odetnij 3 mm od pinów za pomocą cążek bocznych.

Wyświetlacze OLED są dostępne w dwóch różniących się nieznacznie rozmiarach, niektóre są nieco krótsze. Jeśli to konieczne, podłącz wyświetlacz za pomocą otworów po obu stronach złącza, a nie dolnej pary.

eprasa.pl ba02d99ec4



Płytka Arduino Nano jest montowana za pomocą gniazd, dzięki czemu można uzyskać dostęp do otworów na śruby pod nią, chociaż w tym przypadku nie są one używane. Żółta naklejka zakrywa otwór kalibracyjny TCXO

Arduino Nano należy zamontować na spodniej stronie płytki i dołączyć do gniazda. Nie należy lutować go bezpośrednio, ponieważ uniemożliwia to dostęp do otworów na śruby wyświetlacza! Ważne jest, aby używać niskoprofilowych gniazd szpilkowych, w przeciwnym razie pod spodem nie będzie wystarczająco dużo miejsca na baterię.

Następnie zamontuj pozostałe elementy na odwrotnej stronie, tj. złącza, TCXO i dodatkowy kondensator 100 nF. Złącze wejściowe to złącze SMA montowane krawędziowo. Upewnij się, że TCXO jest zamontowany w prawidłowej orientacji, a jego spiczasty róg (wskazujący pin 1) jest skierowany w stronę górnej części płytki. 3-pinowe złącze jest potrzebne tylko w przypadku korzystania z interfejsu debugowania.

Chociaż przełączniki mają oczka lutownicze, są one montowane na płytce drukowanej jak elementy przewlekane. Przed ich przylutowaniem upewnij się, że są prostopadłe do powierzchni płytki i całkowicie wciśnięte. S2, typ center-off, znajduje się po prawej stronie (patrząc od góry).

Po wyczyszczeniu płytki, sprawdź ją pod kątem brakujących lub źle uformowanych połączeń i zwarć między pinami. Następnie można przejść do programowania mikrokontrolera.

Programowanie mikrokontrolerów

Chociaż używamy modułu Arduino Nano z wbudowanym układem ATmega328, nie programujemy go za pomocą Arduino IDE. Oprogramowanie jest napisane w BASCOM i skompilowane do pliku HEX. Możesz załadować ten plik HEX za pomocą programatora AVR ISP, jeśli go posiadasz, poprzez 6-pinowy złącze w Nano, ale istnieje też inna metoda, która nie wymaga programatora.

Jeśli używasz sześciopinowego złącza do programowania, występuje konflikt z pinami I/O na płytce, więc konieczne jest odłączenie Nano i podłączenie go za pomocą kabla USB w celu zasilania przed flashowaniem układu. Nie trzeba zmieniać żadnych bezpieczników, ustawienia domyślne są prawidłowe, więc układ jest gotowy natychmiast po przesłaniu pliku HEX.

Alternatywnie, podłącz Nano do komputera za pomocą kabla USB. Następnie zainstaluj i załaduj program na przykład taki jak AVRDUDESS dla systemu Windows. W systemie Linux lub macOS możesz użyć programu AVRDUDE z wierszem poleceń.

Ustaw programator na Arduino, wybierz port szeregowy USB Nano, szybkość transmisji na 115200 lub 57600 (w zależności od Nano) i kliknij „Detect". Jeśli układ nie zostanie znaleziony, zmień ustawienia i spróbuj ponownie. Gdy to nastąpi, przejdź do okna Flash, otwórz plik HEX dla tego projektu (dostępny do pobrania ze strony internetowej Silicon Chip) i kliknij przycisk Program.

Montaż końcowy

Podłącz Nano z powrotem do PCB, a następnie można go przymocować do panelu przedniego (kod CSE230102) za pomocą tulei dystansowych 12 mm i śrub M3. Dodaj podkładkę między dystans a panel przedni, aby nieco zwiększyć odległość. Panel przedni to kolejna płytka drukowana o grubości 1 mm, z czarną maską lutowniczą i białym nadrukiem. Jest on utrzymywany na miejscu przez dwie nakrętki przełącznika. Użycie tutaj płytki drukowanej oszczędza kłopotów z drukowaniem etykiety i wykonywaniem wycięć.

Zasilanie zapewniają trzy ogniwa AA. Napięcie jest podwyższane do nominalnej wartości 5 V przez układ REG6, chociaż przy pokazanych wartościach rezystorów jest to raczej 4,4 V. Jest to zamierzone, ponieważ dzięki temu zmniejsza się nieco pobór prądu.

Jak wspomniano wcześniej, przymocuj uchwyt baterii do obudowy za pomocą śrub, ponieważ bateria może być dość ciężka i nie chcemy, aby się poluzowała.

Podłącz baterię do wtyczki, pasującej do złącza CON2, uważając, aby ujemne wyjście baterii trafiło na pin masy najbliżej rogu płytki drukowanej. Na płytce nie ma zabezpieczenia przed odwrotną polaryzacją, więc jeśli się pomylisz, możesz spalić układy! Po upewnieniu się, że wszystko jest w porządku, podłącz zasilanie, włącz S1 i sprawdź, czy wyświetlacz wyświetla oczekiwane informacje.

Układ będzie działał nawet wtedy, gdy ogniwa rozładują się do około 0,8 V każde. Przy zastosowaniu nowych baterii pobór prądu wynosi 75 mA. Przy każdym ogniwie o napięciu 1,2 V (łącznie 3,6 V), pobór prądu wynosi 100 mA i rośnie wraz z dalszym spadkiem napięcia akumulatora. Można również użyć akumulatorków wielokrotnego ładowania (na przykład Eneloop).

Jeśli wolisz użyć zewnętrznego zasilacza, użyj ładowarki do telefonu 5 V i pomiń elementy: REG6, D1, L1 oraz rezystory 150 kΩ i 390 kΩ, a także zewrzyj D1 i L1. Spowoduje to doprowadzenie napięcia 5 V z CON1 bezpośrednio do układu. ■

Charles Kosina

Materiały dodatkowe dostępne są na stronie Silicon Chip:
https://www.siliconchip.com.au/Shop/8/6740

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

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

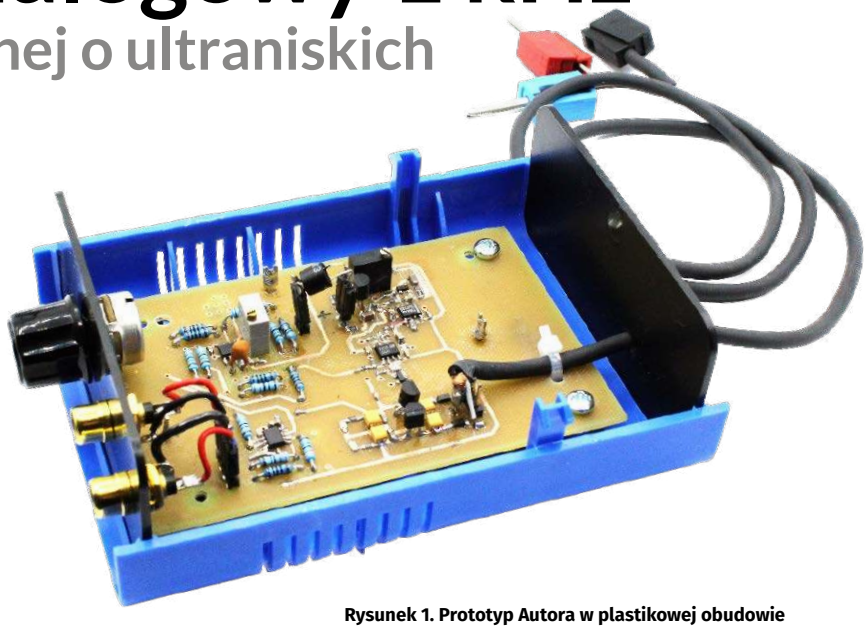
REKLAMA

eprasa.pl ba02d99ec4

Generator analogowy 1 kHz

Źródło fali sinusoidalnej o ultraniskich zniekształceniach

Rzeczą absolutnie niezbędną przy pomiarach elektroniki audio jest wysokiej jakości sygnał sinusoidalny o częstotliwości 1 kHz. Sprzęt cyfrowy nadal nie jest w stanie zbliżyć się do jakości najlepszych analogowych generatorów fali sinusoidalnej. Fabryczne przyrządy analogowe należą jednak do sektora „high-end" i nie są bynajmniej tanie. Dzięki przedstawionemu tutaj układowi można jednakże zaoszczędzić znaczne koszty bez pójścia na zbytni kompromis z jakością sygnału.



Rysunek 1. Prototyp Autora w plastikowej obudowie

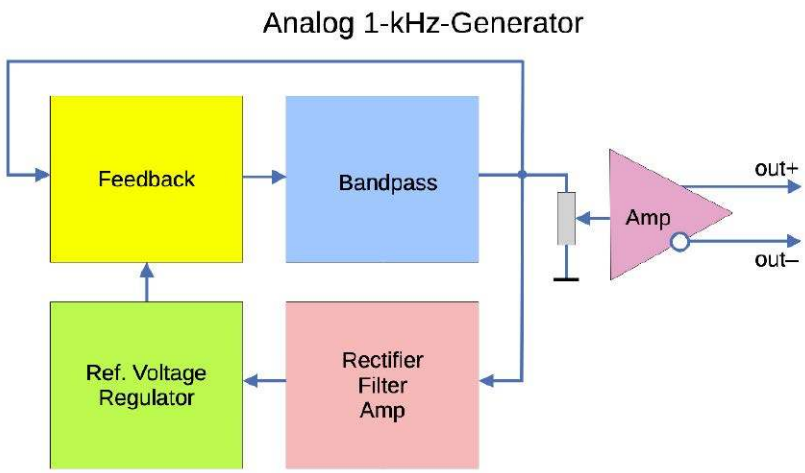
Moja recenzja analizatora audio QA403 firmy QuantAsylum [1] wykazała, że cyfrowe generatory fali sinusoidalnej potrafią być całkiem niezłe. Firma ta wycofała niestety z oferty swój model analogowy QA480 – uzupełnienie QA403 (patrz blog pod adresem [2]). Model ten był połączeniem analogowego generatora 1 kHz z odpowiednim filtrem wycinającym i wysokiej jakości wzmacniaczem o wzmocnieniu 12 dB. Amplituda sygnału i parametry filtra były ustawiane przez USB z komputera PC. Ale to już historia. Według wspomnianego bloga zaprzestanie produkcji tego urządzenia było częściowo spowodowane dużym nakładem pracy wymaganym przy kalibracji.

Układ był oparty na projekcie innej firmy [3], a jego schemat na szczęście został na blogu opublikowany. Urządzeń tego typu nie da się obecnie kupić. W tej sytuacji poprawiłem nieznacznie schemat układu i zaprojektowałem do niego płytkę drukowaną. Prototyp można zobaczyć na **rysunku 1**. Zasilanie pochodzi z zewnętrznego symetrycznego zasilacza ±15 V. Regulację amplitudy dla uproszczenia zrealizowałem potencjometrem. Nie ma więc ani USB, ani programowania, a zatem układ jest całkowicie wolny od zakłóceń pochodzących z elektroniki cyfrowej.

Układ

Schemat blokowy na **rysunku 2** przedstawia pięć jednostek funkcjonalnych. Sam oscylator składa się z filtra pasmowoprzepustowego, który wytwarza drgania dzięki dodatniemu sprzężeniu zwrotnemu. Amplituda drgań jest stabilizowana przez obwód sterujący, a jej wartość jest uzyskiwana z sygnału wyjściowego poprzez prostowanie i filtrowanie. W celu uzyskania stabilnego sygnału zostało użyte źródło napięcia odniesienia. Wzmacniacz wyjściowy wytwarza sygnał różnicowy o regulowanej amplitudzie.

Schemat na **rysunku 3** pokazuje, w jaki sposób bloki te zostały zrealizowane.



Rysunek 2. Schemat blokowy generatora

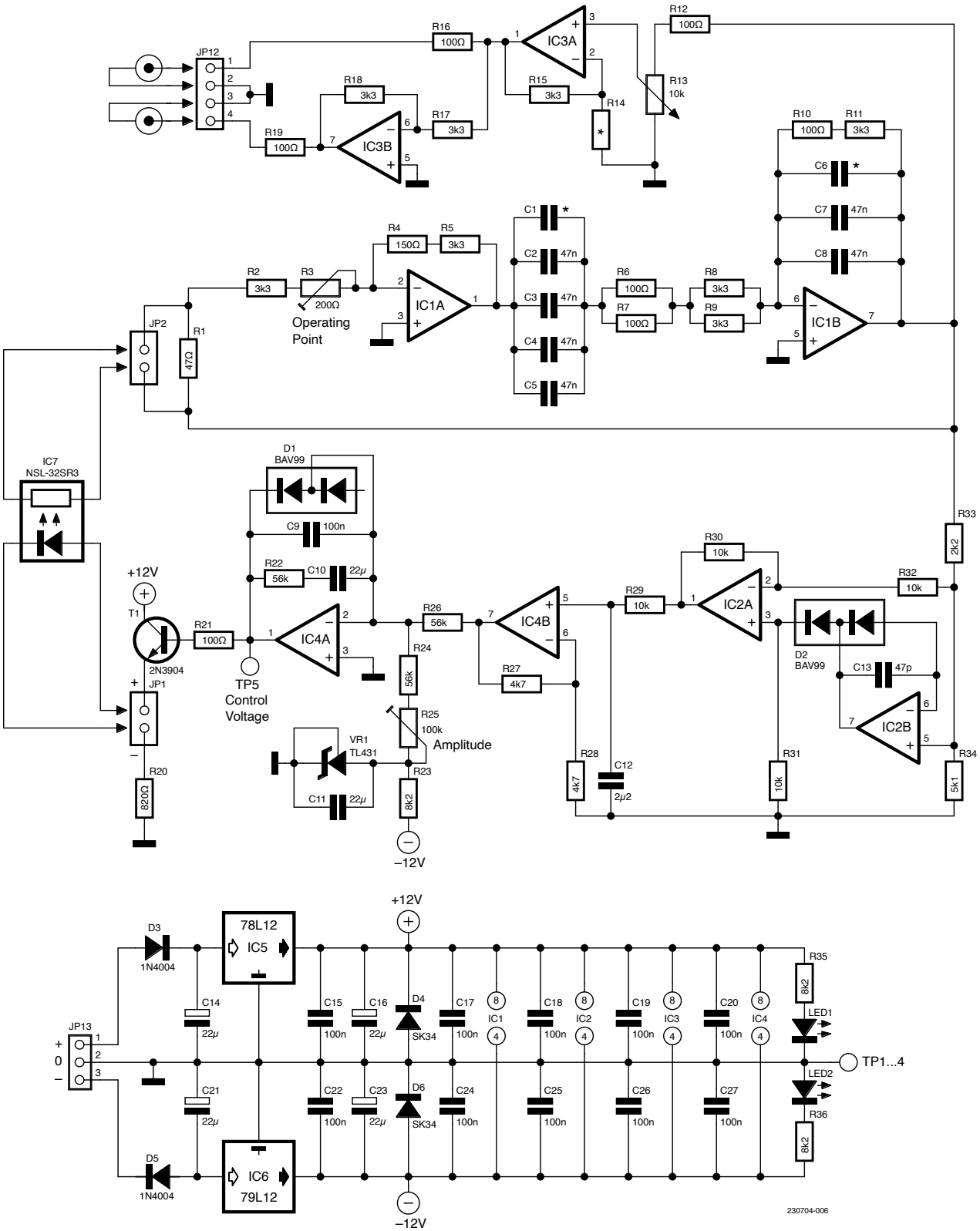
Filtr pasmowoprzepustowy

Filtr pasmowy jest oparty na wzmacniaczu IC1B wraz z siecią rezystorów i kondensatorów. Częstotliwość środkowa filtra określa częstotliwość oscylacji. Na zniekształcenia generowanego sygnału sinusoidalnego ma duży wpływ jakość zastosowanych elementów biernych. Można użyć ceramicznych kondensatorów COG w obudowach SMD lub, alternatywnie, przewlekanych kondensatorów foliowych. Na schemat naniesiono obie opcje, a więc widać na nim podwójną liczbę kondensatorów. Montowana musi być tylko połowa z nich – albo SMD albo przewlekane. Na zdjęciu płytki drukowanej (**rysunek 5**) widzimy, że na wejściu IC1B są faktycznie tylko dwa kondensatory połączone równolegle – plus ewentualnie trzeci (C1), którym możemy dostroić częstotliwość. W torze sprzężenia zwrotnego IC1B znajduje się tylko jeden kondensator (plus ewentualnie C6 do ustawienia częstotliwości). Pola lutownicze rezystorów SMD mają stosunkowo spory rozmiar – 1206, co ułatwia lutowanie ręczne. Do tych pól pasują również rezystory MELF204, odpowiadające jakością przewlekanym rezystorom

eprasa.pl ba02d99ec4

metalizowanym. Zamiast MELF mogą być używane typy cienkowarstwowe.

Pojemność kondensatorów na wejściu wzmacniacza IC1B jest dwukrotnie większa niż w jego torze sprzężenia zwrotnego. Z kolei rezystory są dwukrotnie większe na wejściu niż w sprzężeniu zwrotnym. Takie rozwiązanie powinno prowadzić do niższego poziomu szumów – tak przynajmniej twierdzi matematyka. Zaleca się dokładne zmierzenie kondensatorów przed montażem i połączenie równolegle identycznych egzemplarzy. Ułatwia to późniejsze dostrojenie częstotliwości za pomocą C1 i C6 lub R6/R7 i R10. Człon pasmowoprzepustowy



Rysunek 3. Cały układ zawiera tylko cztery podwójne wzmacniacze operacyjne, dwa stabilizatory napięcia i jeden transoptor

eprasa.pl ba02d99ec4

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

na IC1B ma przy częstotliwości środkowej wzmocnienie około –1.

Dodatnie sprzężenie zwrotne

Aby utrzymywały się stabilne, kontrolowane oscylacje, niezbędne jest dodatnie sprzężenie zwrotne. Realizuje je układ na wzmacniaczu IC1A i rezystorach R1...R5. Układ musi mieć wzmocnienie około –1. Jeśli wzmocnienie będzie zbyt niskie, filtr nie będzie oscylował, a jeśli zbyt wysokie – sygnał będzie tak duży, że zacznie być ograniczany (obcinany) przez wzmacniacze operacyjne. Stałą amplitudę sygnału i jego czysty, nieobcięty sinusoidalny kształt można osiągnąć tylko poprzez staranne kontrolowanie poziomu dodatniego sprzężenia zwrotnego.

Jako element sterujący posłużył tu łatwo dostępny transoptor NSL-32SR3 firmy Advanced Photonix [4]. Prąd płynący na wejściu przez diodę LED steruje rezystancją fotorezystora na wyjściu. Transoptor zapewnia też separację elektryczną wejścia od wyjścia.

Pomiar amplitudy

Wyjście filtra dochodzi do wejścia wzmacniacza IC2B poprzez dzielnik napięcia R33/R34, osłabiający sygnał do około 70%. Tłumienie to zapobiega stanom przejściowym po włączeniu zasilania, gdy oscylator jest szybko „rozpędzany" aż do limitu amplitudy.

Układ z IC2 to precyzyjny prostownik dwupołówkowy, doskonale opisany we wskazówkach projektowych Texas Instruments [5]. Sygnał wyprostowany jest „całkowany" (uśredniany) przez filtr dolnoprzepustowy R29/C12, a następnie wzmacniany × 2 przez IC4B. Dla tych, którzy chcą sami obliczyć wartości elementów, pomocny będzie kalkulator online [6]. Właściwą stabilizację amplitudy zapewnia układ ze wzmacniaczem IC4A.

Stabilizacja amplitudy

Jako źródło napięcia odniesienia został użyty powszechnie dostępny układ scalony TL431 (VR1). Wytwarza on stabilizowane napięcie –2,5 V względem masy. C11 redukuje tętnienia tego napięcia. Prąd płynący przez R26 z układu prostownika IC4B jest kompensowany przez prąd odniesienia płynący przez R24 i R25. R25 służy do nastawienia amplitudy wytwarzanego sygnału. D1 zapobiega pojawieniu się ujemnego napięcia sterującego na wyjściu IC4A. Z tego wyjścia przez rezystor R21 jest sterowany tranzystor T1, a z jego emitera zasilana jest dioda LED transoptora. Rezystancja fotorezystora na wyjściu transoptora zmienia poziom dodatniego sprzężenia zwrotnego filtra. Stałą czasową pętli sterowania wyznaczają elementy R26, R22, C9 i C10.

Stopień wyjściowy

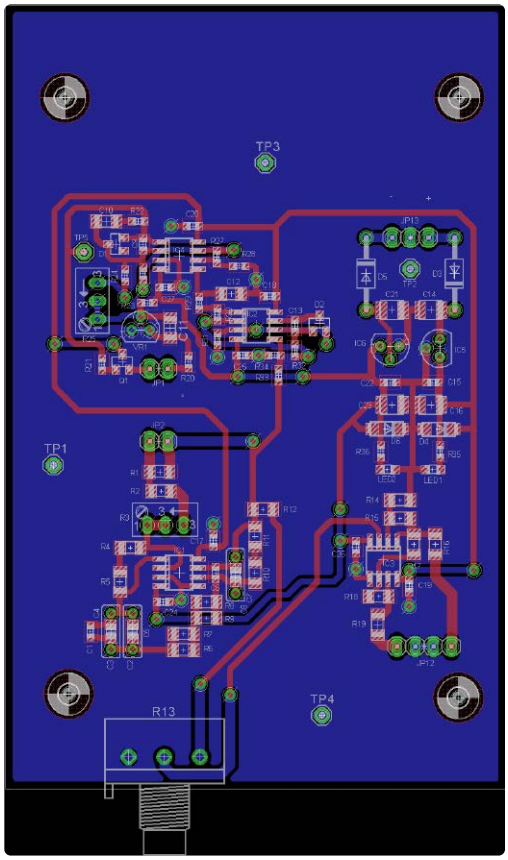
Sygnał sinusoidalny dociera przez R12 do potencjometru R13, który służy do regulacji amplitudy sygnału wyjściowego w zakresie od 0 do wartości maksymalnej nastawionej przez R25. Jako wzmacniacz wyjściowy służy układ IC3A. Jeśli jest wymagane nieco wyższe wzmocnienie, można dać rezystor R14. IC3B odwraca fazę sygnału. W ten sposób na wyjściu jest wytwarzany sygnał symetryczny. Gniazda sygnałowe mogą być typu RCA, BNC, jack lub XLR.

Zasilanie

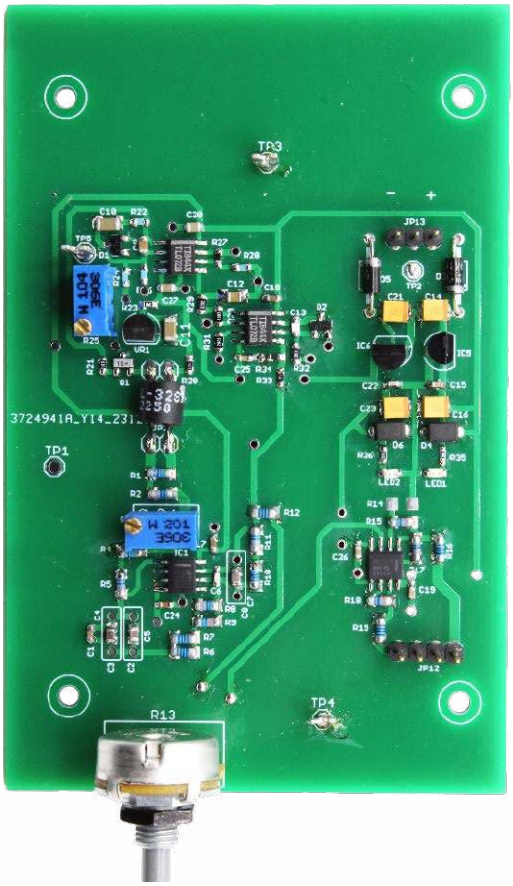
Układ jest zasilany napięciem ±15 V. Dwa scalone stabilizatory napięcia wytwarzają napięcie symetryczne ±12 V. Diody D3 i D5 zapobiegają uszkodzeniu spowodowanym odwrotną polaryzacją, a diody D4 i D6 chronią układy IC5 i IC6 przed zatrzaśnięciem podczas załączania zasilania. Gdy zasilanie jest załączone, świecą się diody LED.

Wybór elementów

Na jakość sygnału mają duży wpływ wzmacniacze operacyjne IC1 i IC3.



Rysunek 4. Płytka drukowana. Pliki można pobrać w formacie Eagle'a spod adresu [7]

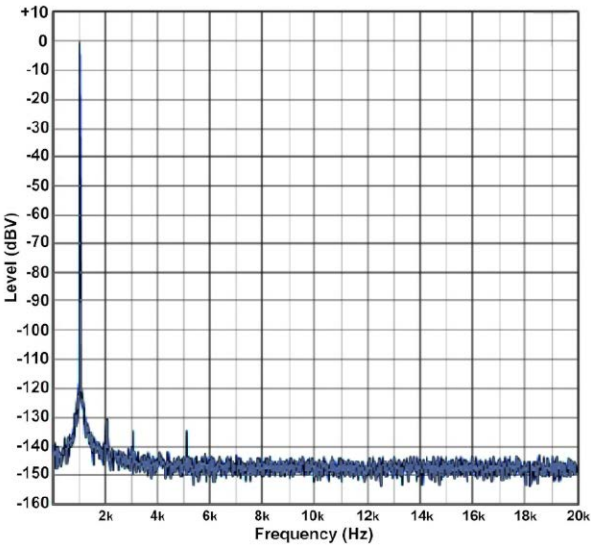


Rysunek 5. W pełni zmontowana płytka prototypu Autora

eprasa.pl ba02d99ec4

Z tego powodu użyłem tutaj nieco droższych typów OPA2211. Oczywiście układ zadziała również z innymi podwójnymi wzmacniaczami o takim samym układzie wyprowadzeń. Jako IC2 i IC4 można użyć prawie każdego typu podwójnego wzmacniacza operacyjnego. Mój prototyp wykorzystuje TL072.

Na zniekształcenia wpływają również kondensatory C1....C8. Jak wspomniałem, należy tu stosować typy COG w obudowach SMD lub przewlekane kondensatory foliowe. Jeden zły kondensator – „zły" według kryteriów audiofilskich, tzn. z dielektrykiem X7R lub podobnym – jest w stanie zniweczyć całą jakość sygnału! Rezystory w torze sygnałowym powinny być cienkowarstwowe 1206 lub MiniMELF204.



Rysunek 6. Widmo sygnału wyjściowego; poziom 0 dBV

Montaż i uruchomienie

Transoptor IC7 nie powinien być początkowo montowany (**rysunek 1** pokazuje, że przewidziałem dla niego gniazda 2-pinowe). Ułatwia to testowanie obwodu – po zwarciu pinów przeznaczonych dla fotorezystora, przy określonym ustawieniu potencjometru R3 oscylator powinien zacząć generować przebieg o poziomie około 20 VPP. Pozwoli to sprawdzić działanie filtra i jego wzmacniacza, prostownika oraz stopnia wyjściowego. Częstotliwość powinna być zbliżona do 1 kHz (dokładne jej ustawienie jest przeprowadzane później, przy kontrolowanej, stabilnej amplitudzie).

W tym stanie układu częstotliwość zmienia się nieznacznie, kiedy wzmacniacze operacyjne wchodzą w nasycenie. Wyjście IC4A powinno wówczas dostarczać 0 V. Kiedy drgania oscylatora zanikają, napięcie na tym wyjściu powinno powoli wzrastać do około +10 V.

Wzmocnienie transoptora może się znacznie różnić w zależności od egzemplarza. Kupiłem cztery i każdy zachowywał się inaczej. Przy użyciu zasilacza laboratoryjnego i rezystora szeregowego należy przez diodę LED transoptora przepuścić prąd 3...5 mA i zmierzyć multimetrem rezystancję fotorezystora. Rezystor o takiej samej wartości należy podłączyć równolegle do R1, a następnie ustawić R3 tak, aby oscylator zaczął oscylować. W razie potrzeby należy nieco zmienić wartość R4. Po usunięciu rezystora i włożeniu transoptora układ powinien dostarczać sygnał sinusoidalny o stałej i stabilnej amplitudzie. Potencjometrem R25 należy nastawić wartość amplitudy sygnału 1...3 V_{PP}. Przy większej amplitudzie pojawią się większe zniekształcenia.

Stała czasowa sterowania jest celowo dość duża. Czas ustalania amplitudy jest długi, ale później poziom sygnału jest bardzo stabilny. Punkt pracy sterowania jest ustawiany potencjometrem R3.

Częstotliwość i inne

Na tym etapie można precyzyjnie dostroić częstotliwość. Można zmienić pojemność, dopasowując C1 i C6 (C1 = 2 × C6) lub dopasować wartości R6/R7 i R10. Częstotliwość jest obliczana ze zwykłego wzoru $f=1/(2\pi RC)$. Po wyregulowaniu częstotliwości może być konieczne ponowne skorygowanie punktu pracy. Jeśli przy pomiarach zniekształceń będziemy stosować filtr wycinający, częstotliwość generatora powinna być dokładnie taka sama jak częstotliwość środkowa tego filtra.

Dla układu opracowałem płytkę drukowaną. **Rysunek 4** przedstawia projekt, a **rysunek 5** zmontowaną płytkę. Na **rysunku 6** widzimy widmo sygnału przy nominalnym poziomie 0 dBV, zmierzone analizatorem Audio Precision APx555. Wszystkie harmoniczne leżą na poziomie poniżej –130 dBV. Sygnał wyjściowy ma zatem wyjątkowo niskie zniekształcenia. Jak widać, jakość naszego amatorskiego generatora jest całkiem przyzwoita!

Wartości elementów podane w artykule całkiem dobrze się sprawdziły w prototypie. Każdą rzecz można jednak jeszcze bardziej zoptymalizować. ■

Alfred Rosenkränzer (Niemcy)

Wykaz elementów:

Rezystory
O ile nie określono inaczej: MELF 0204 lub cienkowarstwowe SMD 1206, 1%
R1 = 47 Ω
R2, R5, R8, R9, R11, R15, R17, R18 = 3,3 kΩ
R3 = 200 Ω, potencjometr wieloobrotowy, pionowy, RM 1/10"
R4 = 150 Ω
R6, R7, R10, R12, R16, R19 = 100 Ω*
R12, R16, R19 = 100 Ω
R13 = 10 kΩ, potencjometr, liniowy
R14 = opcjonalnie*
R20 = 820 Ω, SMD 0603
R21 = 100 Ω, SMD 0603
R22, R24, R26 = 56 kΩ, SMD 0603
R23, R35, R36 = 8,2 kΩ, SMD 0603
R25 = 100 kΩ, potencjometr wieloobrotowy, pionowy, RM 1/10"
R27, R28 = 4,7 kΩ, SMD 0603
R29, R30, R31, R32 = 10 kΩ, SMD 0603
R33 = 2,2 kΩ, SMD 0603
R34 = 5,1 kΩ, SMD 0603

Kondensatory
C1, C6 = opcjonalne*, COG, SMD 0603
C2, C3, C8= 47 nF, foliowy, raster 5,08 mm (alternatywa dla C4, C5, C7)*
C4, C5, C7 = 47 nF, COG, SMD0805 (alternatywa dla C2, C3, C8)*
C9, C15, C17...C20, C22, C24...C27 = 100 nF, X7R, SMD 0603
C10, C11 = 22 µF/16 V, SMD 1206
C12 = 2,2 µF/16 V, SMD 1206
C13 = 47 pF, COG, SMD 0603
C14, C16, C21, C23 = 22 µF/25 V, tantalowe, SMC-B

Półprzewodniki
LED1, LED2 = LED, SMD 0805
D1, D2 = BAV199, SOT23
D3, D5 = 1N4004
D4, D6 = SK34, DO214AC
T1 = 2N3904, SOT23
IC1, IC3 = OPA2211*, SOIC8
IC2, IC4 = TL072, SOIC8
IC5 = 78L12, TO92
IC6 = 79L12, TO92
IC7 = NSL-32SR3*
VR1 = TL431, TO92

Pozostałe
JP1, JP2 = złącze 2-pinowe, niskoprofilowe, raster 2,54 mm
JP12 = złącze 4-pinowe, niskoprofilowe, raster 2,54 mm
JP13 = złącze 3-pinowe, niskoprofilowe, raster 2,54 mm
Płytka drukowana 230704-01
Pokrętło potencjometru R13
Gniazda audio*

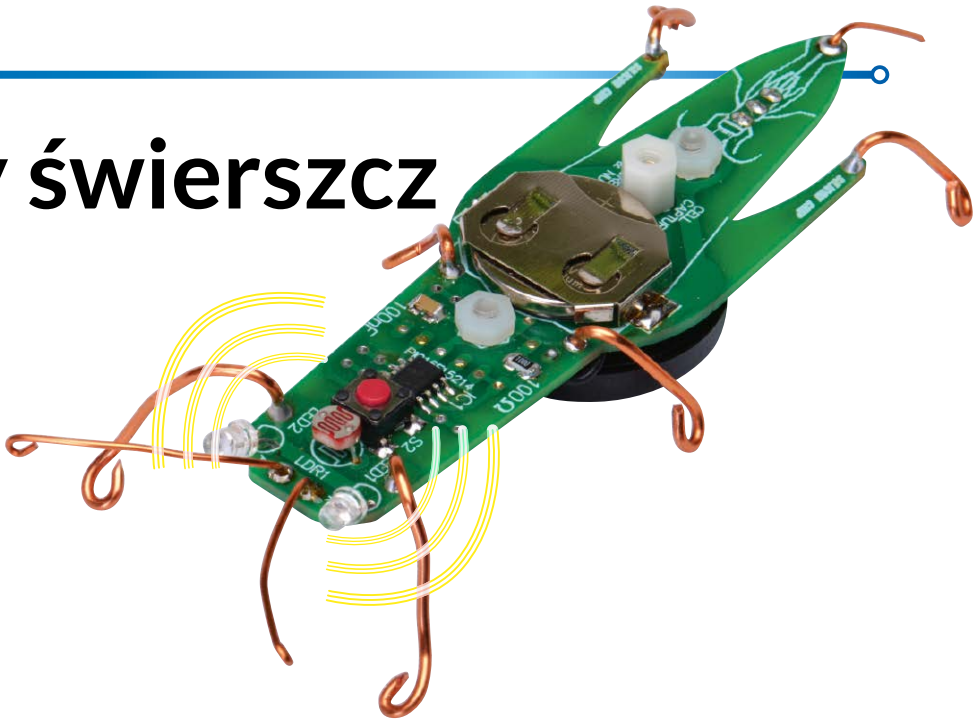
* patrz tekst

Linki
[1] A. Rosenkränzer, „Comparing the QuantAsylum QA403 to Gold Standard", 2023: https://tinyurl.com/yudmy5sk
[2] Blog QA480 (retired): https://tinyurl.com/yckdwe8e
[3] Strona internetowa JanasCard: http://www.janascard.cz/aHome.html
[4] Optocoupler NSL-32SR3 (Mouser): https://tinyurl.com/4c5c8nss
[5] Prostownik precyzyjny (TI): http://www.ti.com/lit/ug/tidu030/tidu030.pdf.
[6] Oblicz parametry napięcia AC: https://tinyurl.com/vsrbpzbf
[7] Strona artykułu: https://www.elektormagazine.com/230704-01

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

eprasa.pl ba02d99ec4

Krzemowy świerszcz



Opisywany w artykule świerszcz domowy będzie dotrzymywał Ci towarzystwa. Nie ucieknie; trzeba go jedynie od czasu do czasu nakarmić. Trzymaj go dla siebie albo zrób psikusa członkowi rodziny lub przyjacielowi, podrzucając świerszcza do jego pokoju. Kiedy przyjaciel zgasi światło, czeka go niespodzianka!

Przypis redaktora: oryginalny tytuł artykułu – „Silicon Chirp, the Pet Cricket" – zawiera grę słów nawiązującą do tytułu czasopisma „Silicon Chip", z którego artykuł ten pochodzi. Projekt jest ściśle powiązany z układami „Pipek dręczyciel" i ich odmianami, rozprowadzanymi od wielu lat jako zestawy AVT do samodzielnego montażu.

Świerszcze, żaby i kanarki to na ogół istoty organiczne, zbudowane z wypróbowanych i przetestowanych materiałów konstrukcyjnych jak DNA i białka. Tak było aż do teraz. Opisywany świerszcz jest elektroniczny, choć brzmi jak prawdziwy. Ten zabawny układ łudząco naśladuje również dźwięki żaby i kanarka (czego nikt nie spodziewałby się po świerszczu). Składa się z niewielu elementów, a jego zbudowanie jest łatwe i przyjemne.

Krzemowy świerszcz uwielbia śpiewać w ciemności. Ćwierka radośnie – ku irytacji innych. Gdy przeszkadza mu światło, przestaje śpiewać, ukrywając w ten sposób swoje miejsce pobytu aż do ponownego zapadnięcia zmroku. Gdy znów zapadnie ciemność, wznawia ćwierkanie, ale nie od razu. Czasem czeka nawet 40 sekund. I kiedy zaczynasz cieszyć się spokojem, a wszystkie myśli o irytującym świerszczu odpływają... ćwierkanie znów się pojawia. I rozpoczyna się polowanie na to nieznośne stworzenie. Widząc w ciemności jego błyszczące oczy, stajesz przed trudnym wyborem: pozostać skamieniałym i niezdolnym do ruchu lub stawić czoła temu przerażającemu widokowi!

Gdy dźwięk świerszcza już spowszednieje, można go zmienić na głos żaby rechoczącej w ciemności. Lub na coś zupełnie innego – dźwięk śpiewającego kanarka, ożywiający dzień.

Nazwa projektu bardzo przypomina tytuł naszego czasopisma, ale zapewniamy, że to czysty przypadek. Pochodzi ona stąd, że mechanizm generowania dźwięku świerszcza opiera się na DNA krzemowym (ang. „silicon"). Świerszcz wydaje z siebie ćwierkanie (ang. „chirp"). Stąd nazwa „Silicon Chirp".

Jak wspominaliśmy, krzemowy świerszcz może również wydawać dźwięki żaby czy kanarka, a kształt świerszcza oczywiście nie bardzo pasuje do tych alternatywnych dźwięków. Rozważaliśmy zrealizowanie trzech oddzielnych płytek drukowanych o różnych kształtach, ale wymiana jednej na drugą wydała się nam niepraktyczna.

Z drugiej strony – jest taki ptak altannik (gatunek występujący w Australii; przypis redaktora), który wygląda wprawdzie jak ptak, ale wydaje dźwięki przypominające odgłos piły łańcuchowej czy alarm samochodowy.

Nasz świerszcz jest zdeklarowanym brzuchomówcą i naśladuje dźwięki innych zwierząt, nie zmieniając swego kształtu. Jest tak utalentowany, że jego usta i nogi wcale się nie poruszają podczas wydawania dźwięków! W jego pobliżu można umieścić figurkę żaby albo ptaka, aby brzuchomówstwo wywoływało jeszcze bardziej realistyczny efekt.

Większość elementów świerszcza jest zamontowana na jego plecach. Oczy to trzymilimetrowe czerwone diody LED. Pod płytką drukowaną „odwłoku" znajduje się głośnik piezoelektryczny (dalej: głośnik piezo) odtwarzający dźwięki. Jest również sześć nóg z drutu miedzianego o średnicy 1,25 mm oraz dwa czułki i ogon, wykonane z cieńszego drutu.

Odgłos świerszcza

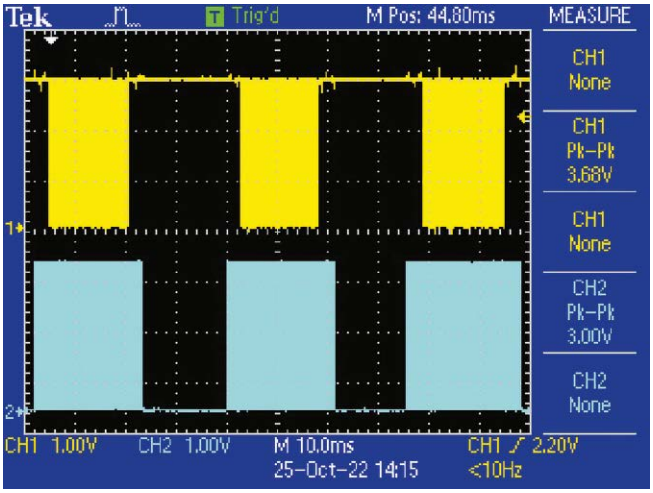
Świerszcze wydają ćwierkające dźwięki pocierając szorstką częścią jednego skrzydła o „skrobak" na drugim skrzydle. Proces ten zwany jest strydulacją. Podobnym procesem jest na przykład przesuwanie patykiem wzdłuż drewnianego płotu lub granie na staromodnej tarce do prania.

Dźwięk wydawany przez świerszcza składa się zazwyczaj z trzech ćwierknięć rozmieszczonych blisko siebie (trypletu). Następuje po nich dłuższa przerwa, a potem są kolejne trzy ćwierknięcia – i tak dalej. Występuje zatem określony wzór (kadencja).

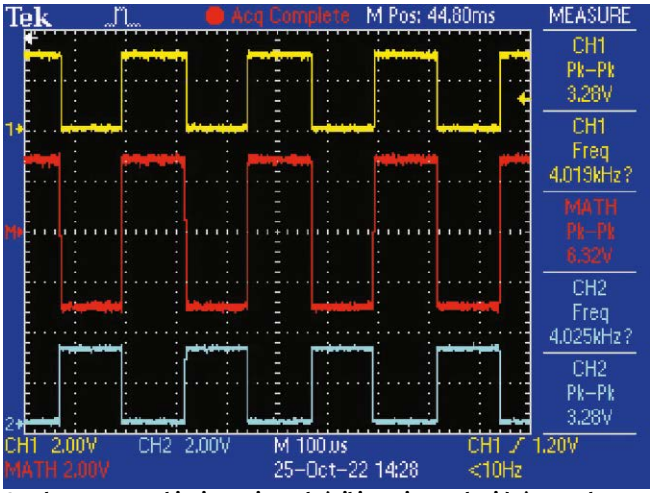
Typowe ćwierknięcie składa się z czterech grup impulsów o częstotliwości 4 kHz, trwających po około 50 ms. Odstęp między ćwierknięciami wynosi również około 50 ms. Odstęp między tryletami wynosi około 250 ms. Czasy te nie są dokładne i nieco się różnią. Sam dźwięk ćwierkania świerszczy nie wydaje się jednak zróżnicowany w zauważalnym stopniu.

Cechy
- Wygląda i brzmi jak świerszcz
- Potrafi również wydawać dźwięki żaby lub kanarka
- Migające czerwone oczy
- Aktywowanie się tylko w ciemności (w trybie kanarka – tylko przy świetle)
- Zasilanie z ogniwa litowego 3 V, mały pobór prądu
- Pobór prądu: 0,4 µA w stanie uśpienia, 0,48...1,7 mA podczas ćwierkania

eprasa.pl ba02d99ec4



Oscylogram 1. Cykanie świerszcza jest symulowane poprzez sterowanie głośnikiem piezo grupami po trzy paczki sygnału odległe od siebie o około 20 ms. Pomiędzy tymi grupami występują znacznie dłuższe okresy ciszy



Oscylogram 2. Przebiegi sterujące głośnikiem piezo. Jak widać, sygnały prostokątne o wartości międzyszczytowej 3 V z wyjść RA0 i RA1 (kanały żółty i niebieski) dają w rezultacie na głośniku falę prostokątną o wartości międzyszczytowej 6 V (kanał czerwony)

Krzemowy świerszcz naśladuje ten wzorzec. Wytwarza po trzy grupy impulsów 4 kHz, a trójki te są rozdzielone dłuższymi przerwami. Grupy trwają jednak po 20 ms, a odstępy między nimi wynoszą również po 20 ms, a więc różnią się od występujących w odgłosie prawdziwego świerszcza. Stwierdziliśmy jednak, że tak wytworzony dźwięk jest bardziej autentyczny.

Przebiegi sterujące głośnikiem piezo przedstawia **oscylogram 1**.

Aby efekt jak najbardziej przypominał odgłos prawdziwego świerszcza, odstępy czasowe ćwierkania zmieniają się nieznacznie w niewielkim zakresie. Innymi słowy, nie zawsze mają one dokładnie 20 ms długości i nie są oddalone od siebie dokładnie o 20 ms. Różnice w czasach zapewniają bardziej naturalną kadencję i zapobiegają sztucznemu brzmieniu ćwierkania.

W podobny sposób są w elektronicznym świerszczu wytwarzane dźwięki żab, ale z inną kadencją niż w przypadku odgłosu świerszcza. Dźwięk żaby składa się z zestawu 10 ćwierknięć o czasie trwania po 10 ms, z przerwami po 2 ms. Potem następuje przerwa 30 ms, a następnie kolejny zestaw sygnałów, tym razem trzech. Grupy dziesięciu i trzech ćwierknięć są rozdzielone opóźnieniem 200...1200 ms, które nieregularnie się zmienia. Częstotliwość ćwierkania wynosi około 2 kHz.

Dźwięki kanarków zostały podzielone na trzy rodzaje – A, B i C. Trel A brzmi jak u typowego kanarka. Melodia B symuluje odgłos kanarka rasy Fife. Sekwencja C obejmuje różne pojedyncze frazy wytwarzane przez te ptaki. Kanarek śpiewa w sposób losowy. Każda melodia jest powtarzana od dwóch do 27 razy, z przerwą między nimi wynoszącą od 2,4 do 17 sekund. Pomiędzy każdą serią powtarzanych melodii występuje dłuższa przerwa, trwająca od 80 sekund do dziewięciu minut. Podobnie jak w przypadku dźwięków świerszcza i żaby, ptasie pieśni powstają w układzie krzemowego świerszcza poprzez zmianę częstotliwości, głośności i szerokości impulsów podawanych do głośnika piezo.

Głośność dźwięku jest zmieniana poprzez regulację szerokości impulsu sygnałów sterujących głośnikiem piezo. Impulsy wąskie dają małą głośność, a szersze – dźwięk głośniejszy. Maksymalna szerokość impulsu odpowiada współczynnikowi wypełnienia 50%.

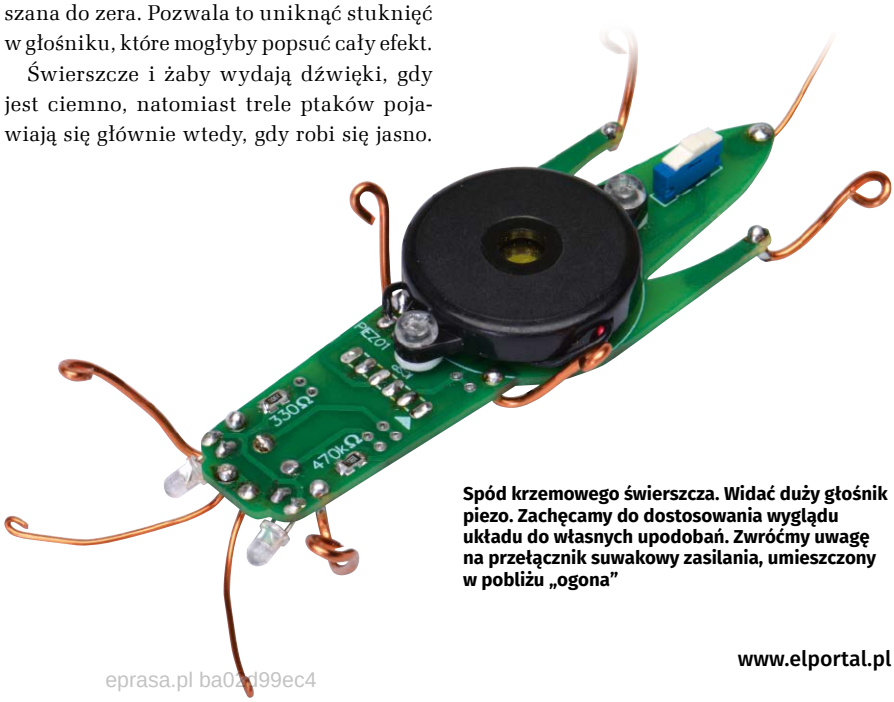
Każde ćwierknięcie rozpoczyna się od impulsów o minimalnej szerokości, zwiększanej z biegiem czasu aż do osiągnięcia wymaganego poziomu głośności. Gdy ćwierkanie ma się zakończyć, szerokość impulsu jest w krótkim odstępie czasu zmniejszana do zera. Pozwala to uniknąć stuknięć w głośniku, które mogłyby popsuć cały efekt.

Świerszcze i żaby wydają dźwięki, gdy jest ciemno, natomiast trele ptaków pojawiają się głównie wtedy, gdy robi się jasno. W opisywanym układzie reakcja na światło i ciemność jest inna w trybach świerszcza i żaby, a inna w trybie kanarka.

Opis układu

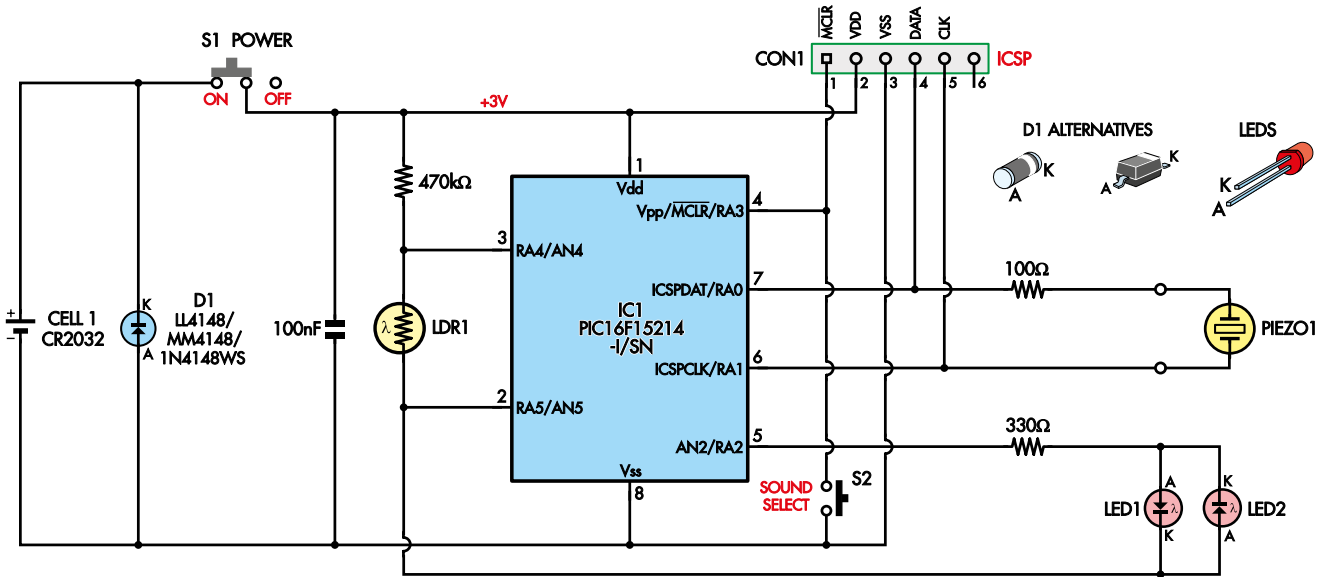
Kompletny schemat krzemowego świerszcza widzimy na **rysunku 1**. Układ opiera się na mikrokontrolerze PIC16F15214-I/SN (IC1), zasilanym z ogniwa litowego 3 V, załączanym przełącznikiem S1. Mikrokontroler, gdy jest uśpiony, nie pobiera dużo prądu – zwykle zaledwie około 400 nA. Podczas wytwarzania dźwięku prąd wzrasta do około 480 µA...1,7 mA.

Dioda D1 służy jako zabezpieczenie zapobiegające uszkodzeniu IC1 w przypadku nieprawidłowego włożenia ogniwa. Prawidłowa polaryzacja ogniwa to „plus" do góry, ale gniazdo pozwala na włożenie ogniwa w obu pozycjach. Gdyby włożono je odwrotnie,



Spód krzemowego świerszcza. Widać duży głośnik piezo. Zachęcamy do dostosowania wyglądu układu do własnych upodobań. Zwróćmy uwagę na przełącznik suwakowy zasilania, umieszczony w pobliżu „ogona"

eprasa.pl ba02d99ec4



Rysunek 1. Krzemowy świerszcz jest sterowany przez 8-bitowy mikrokontroler z serii PIC16 (IC1). Przełącznik suwakowy S1 doprowadza zasilanie z ogniwa pastylkowego. Do wykrywania poziomu światła użyty jest fotorezystor (LDR1). Przy odpowiednim poziomie oświetlenia świerszcz generuje dźwięki, sterując głośnik piezo z wyjść cyfrowych (piny 6 i 7) i jednocześnie migając „oczami" (diody LED) sterowanymi przez cyfrowe wyjścia (piny 2 i 5)

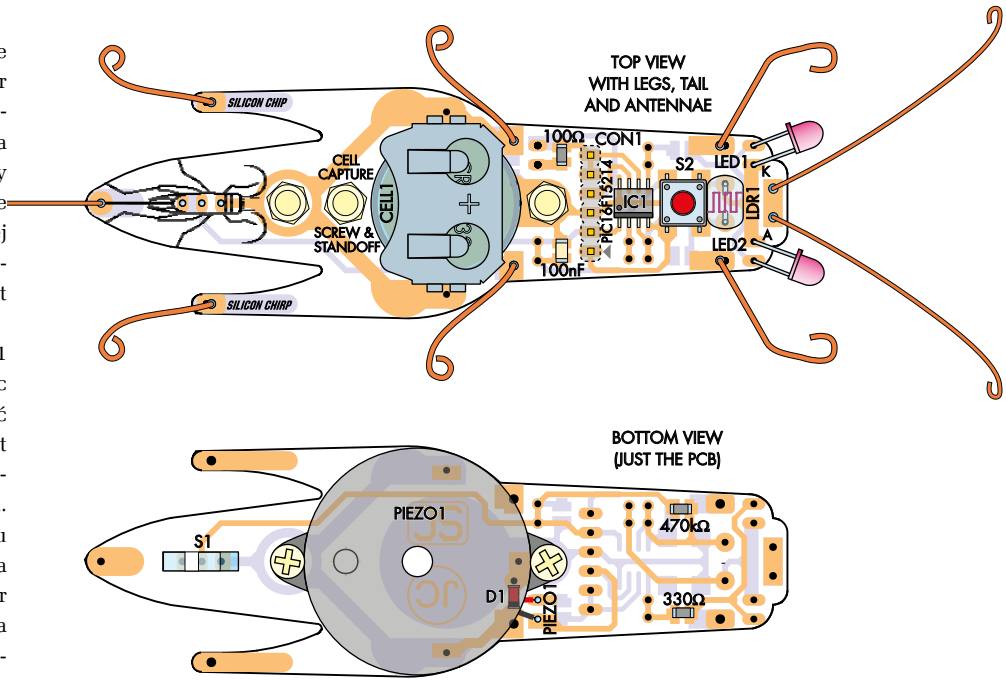
zostałoby zwarte przez kontakt ze stykami bocznymi i górnymi. Podczas wkładania może jednak wystąpić krótki moment, w którym nie ma kontaktu ze stykami bocznymi, a wtedy do układu mogłoby dojść napięcie o odwrotnej polaryzacji, mogące uszkodzić mikrokontroler. W takim przypadku dioda D1 ogranicza napięcie wsteczne do poziomu spadku napięcia na diodzie. Ogniwo, jeśli będzie podłączone odwrotnie dłużej niż przez kilka sekund, straci nieco pojemności, ale jest to zło mniejsze niż uszkodzenie układu scalonego.

Zasilanie mikrokontrolera jest filtrowane kondensatorem 100 nF. Mikrokontroler jest podczas pracy taktowany z wewnętrznego generatora 4 MHz. W stanie uśpienia („sleep mode") generator ten jest wyłączony w celu oszczędzania energii. Działa jedynie układ „watchdog" i okresowo (w mniej więcej czterosekundowych odstępach) wybudza mikrokontroler. W tym trybie pobór prądu jest zwykle mniejszy niż 1 μA.

Po wybudzeniu mikrokontroler IC1 sprawdza natężenie oświetlenia, mierząc je fotorezystorem LDR1. Przez większość czasu wyjście RA5 (pin 2) układu IC1 jest w stanie wysokim (3 V), więc przez rezystor 470 kΩ i fotorezystor nie płynie prąd. Minimalizuje to całkowity pobór prądu układu. Gdy IC1 zostaje wybudzony, ustawia wyjście RA5 w stan niski (0 V), a fotorezystor z rezystorem 470 kΩ tworzą dzielnik napięcia na zasilaniu 3 V. Napięcie na fotorezystorze steruje wejściem cyfrowym RA4 (pin 3).

W ciemności rezystancja fotorezystora jest duża (powyżej 5 MΩ), więc napięcie na wejściu RA4 wynosi ponad 2,7 V. Napięcie to jest wykrywane przez mikrokontroler jako stan wysoki. Przy wystarczającej ilości światła rezystancja fotorezystora spada poniżej 10 kΩ, więc dzielnik podaje na wejście RA4 niskie napięcie – nie więcej niż 63 mV.

Progi napięciowe cyfrowego wejścia RA4 wynoszą 20% napięcia zasilania dla stanu niskiego i 80% napięcia zasilania dla stanu wysokiego. Jest to wejście Schmitta, więc jeśli został osiągnięty próg stanu wysokiego, to, aby nastąpiło przełączenie na stan niski, napięcie musi spaść poniżej 20% zasilania. I analogicznie – gdy został osiągnięty stan niski, napięcie musi wzrosnąć powyżej 80% zasilania, aby doszło do przełączenia na poziom wysoki. Układ Schmitta gwarantuje, że gdy napięcie na wejściu znajduje się między progami, to nie wystąpi szybkie, oscylacyjne przełączanie się między stanami logicznymi.



Rysunek 2 i 3. Krzemowy świerszcz jest dość prosty do zbudowania. Wystarczy zmontować elementy jak na rysunkach. Należy pamiętać, że głośnik piezo jest łączony z płytką przewodami i zamontowany nad diodą D1, zabezpieczającą przed skutkami błędnej polaryzacji ogniwa zasilającego. Dioda ta, układ IC1 i diody LED muszą być przylutowane we właściwym kierunku. Pozostałe elementy nie są polaryzowane

eprasa.pl ba02d99ec4

Sterowanie głośnikiem piezo

Wyjścia cyfrowe RA0 i RA1 (piny 7 i 6) układu IC1 sterują głośnikiem piezo odtwarzającym dźwięki ćwierkania. Przetwornik jest podłączony do dwóch wyjść i sterowany w trybie mostkowym, co zwiększa napięcie międzyszczytowe i umożliwia wytworzenie głośniejszego dźwięku. Gdy RA0 jest w stanie wysokim, RA1 jest w stanie niskim i odwrotnie. W jednym przypadku na głośniku występuje napięcie +3 V, a w drugim –3 V. Powstaje więc fala prostokątna o wartości międzyszczytowej 6 V, jak widać na **oscylogramie 2**. Pokazano na nim przebiegi sterujące 4 kHz podawane do głośnika piezo. Kanały 1 i 2 (żółty i niebieski) to sygnały na obu końcach głośnika piezo, a kanał czerwony pokazuje ich różnicę. Każdy z zacisków głośnika piezo jest sterowany przebiegiem o wartości międzyszczytowej 3,28 V, a napięcie między zaciskami jest dwukrotnie wyższe.

Szeregowy rezystor 100 Ω ogranicza prąd szczytowy głośnika piezo (stanowiącego obciążenie pojemnościowe), występujący po każdym przełączeniu wyjść.

Diody elektroluminescencyjne LED1 i LED2 są sterowane z wyjść cyfrowych RA2 (pin 5) i RA5 poprzez rezystor 330 Ω ograniczający prąd. LED-y są naprzemiennie załączane i wyłączane, gdy sterowany jest głośnik piezo. Gdy RA5 jest w stanie niskim, a RA2 w wysokim, świeci dioda LED1, a gdy RA5 jest w stanie wysokim, a RA2 w niskim – świeci LED2.

Zwróćmy uwagę, że wyjście RA5 jest używane również w stanie uśpienia przez obwód odczytu fotorezystora (LDR1) monitorującego poziom oświetlenia otoczenia. Gdy podczas wybudzenia odbywa się pomiar natężenia światła, oba wyjścia RA5 i RA2 są w stanie niskim. Diody LED są zatem wyłączone. Gdy fotorezystor zostaje wyłączony (RA5 w stanie wysokim), RA2 również przechodzi w stan wysoki, aby diody LED pozostawały wyłączone.

Przycisk S2 zmienia rodzaj wytwarzanego dźwięku ze świerszcza na żabę lub kanarka. Mikrokontroler wykrywa zamknięcie S2, monitorując wejście cyfrowe RA3 (pin 4). Gdy S2 jest wciśnięty, napięcie na pinie spada do 0 V. Gdy przycisk jest otwarty, wewnętrzny rezystor „pull-up" wejścia RA3 wymusza na nim stan wysoki. Wciskanie S2 jest sprawdzane tylko podczas załączania zasilania, zatem tylko wtedy można dokonać zmiany dźwięku.

Wykaz elementów:

1 dwustronna, metalizowana płytka drukowana; kod Silicon Chip 08101231, 94 × 30,5 mm
1 gniazdo na ogniwo CR2032, do montażu powierzchniowego (CELL1) [BAT-HLD-001]
1 ogniwo litowe 3 V CR2032
1 mikroprzełącznik suwakowy SPDT (S1) [Jaycar SS0834]
1 przycisk SPST do montażu powierzchniowego (S2) [Altronics S1112 A, Jaycar SP0610]
1 głośnik piezo, średnica 30 mm, częstotliwość rezonansowa 4 kHz, z przewodami (PIEZO1) [Altronics S6140, Jaycar AB3442]
1 fotorezystor 45...140 kΩ (LDR1) [Altronics Z1619, Jaycar RD3480]
3 śruby z łbem walcowym, M3 × 10 mm, metalowe lub plastikowe
1 nylonowy element dystansowy, gwintowany, M3 × 6,3 mm (lub dwie sześciokątne nakrętki M3)
2 nylonowe lub poliwęglanowe nakrętki sześciokątne M3
2 tuleje izolacyjne TO-220 (na przykład z zestawów izolacyjnych TO-220) [Altronics H7110, Jaycar HP1142]
1 6-pinowe złącze „goldpin", rozstaw 2,54 mm (CON1) (opcjonalne; do programowania IC1)
200 mm emaliowanego drutu miedzianego, średnica 1,25 mm („nóżki")
100 mm emaliowanego drutu miedzianego, średnica 1 mm („czułki" i „ogon")

Półprzewodniki

1 mikrokontroler 8-bitowy PIC16F15214-I/SN, obudowa SOIC-8 (IC1), zaprogramowany wsadem 01810123A.hex
2 czerwone diody LED 3 mm (LED1, LED2)
1 dioda LL4148, MM4148 lub 1N4148WS (ew. 1N4148; patrz tekst), obudowa Mini-MELF (SOD-80) lub SOD-323 [Altronics Y0161/Y0164 A]

Kondensatory

1 szt. 100 nF 50 V X7R, SMD M3216/1206

Rezystory (wszystkie SMD M3216/1206, 1%)

1 szt. 470 kΩ
1 szt. 330 Ω
1 szt. 100 Ω

Konstrukcja

Rysunki 2 i **3** przedstawiają nóżki i inne elementy konstrukcyjne umieszczonego na dwustronnej, metalizowanej płytce drukowanej (kod Silicon Chip 08101231) krzemowego świerszcza o wymiarach 94 × 30,5 mm. Do płytki są przylutowane druciane nóżki, dzięki czemu całość stoi jak prawdziwy świerszcz.

Złącze do programowania mikrokontrolera w układzie (CON1) zazwyczaj nie jest montowane. Jeśli kupicie mikrokontroler w Silicon Chip – czy sam czy jako część zestawu – będzie on już zaprogramowany. Złącze CON1 zaleca się zamontować, jeśli konieczne będzie samodzielne programowanie mikrokontrolera. Złącze to należy montować po stronie górnej, ponieważ tylko strona spodnia płytki ma odsłonięte pady do lutowania. Pady na stronie górnej są ze względów estetycznych pokryte maską. Po zaprogramowaniu mikrokontrolera idealnie byłoby złącze usunąć. Prawdziwe świerszcze nie mają przecież złącz do programowania...

Montaż elementów rozpoczynamy od mikrokontrolera IC1. Potrzebna będzie lutownica z cienkim grotem, lupa i dobre oświetlenie. Podczas lutowania zaleca się stosowanie topnika w postaci pasty. W przypadku jej użycia grot lutownicy niekoniecznie musi być bardzo cienki.

Lutujemy IC1 do padów na płytce, umieszczając go zgodnie z kropką oznaczającą pin 1 i pozycjonując wyprowadzenia dokładnie nad odpowiadającymi im padami. Następnie lutujemy jeden z pinów narożnych i sprawdzamy, czy układ scalony wciąż równo leży na padach. Jeśli konieczne jest wyrównanie, należy podgrzać lutowane połączenie i delikatnie przemieścić układ. Lutujemy pozostałe piny układu i poprawiamy lutowanie pierwszego pinu. Ewentualne zwarcia między pinami można usunąć przy pomocy plecionki lutowniczej i pasty lutowniczej.

Kontynuujemy montaż, przylutowując rezystory. Mają one nadrukowane kody oznaczające wartość. Będą to prawdopodobnie „1000" lub „101" dla rezystora 100 Ω, „3300" lub „331" dla 330 Ω i „4703" lub „474" dla 470 kΩ. Kody są wyrażone w „zapisie naukowym": ostatnia cyfra oznacza liczbę zer, które należy dopisać do pozostałych cyfr, uzyskując wartość w omach.

Następnie można przylutować diodę D1, zwracając uwagę na jej prawidłową orientację – pasek katody ma być skierowany w stronę krawędzi płytki, zgodnie z rysunkiem 2. Geometria padów umożliwia wlutowanie diody w obudowie Mini-MELF (SOD-80) lub SOD-323. Można również użyć osiowej diody przewlekanej 1N4148 z wyprowadzeniami na każdym końcu wygiętymi w dół o 180°.

Dalej montujemy kondensator 100 nF. Nie jest polaryzowany, więc można go umieścić w dowolny sposób.

Przełącznik zasilania S1 umieściliśmy na spodzie płytki drukowanej. Jeśli chcecie, możecie dać go na górze. Przełącznik jest załączony, gdy jego suwak jest skierowany do przodu świerszcza. Po zamontowaniu S1 można przylutować przycisk S2.

Gniazdo baterii litowej (CELL1) jest typu półpłaszczowego, a jego korpus styka się z biegunem dodatnim ogniwa. Połączenie z biegunem ujemnym zapewnia wąski obszar miedzi na płytce. Gniazdo należy zamontować tak, aby wejście baterii znajdowało się z tyłu świerszcza, a śruba mocująca gniazdo uniemożliwiała wyjęcie baterii przez małe dzieci. Australijska norma AS/NZS ISO 8124.1:2002 wymaga, aby w zabawkach dla dzieci poniżej trzech lat ogniwa i baterie zasilające były zabezpieczone śrubą przed wyjęciem. Jeśli śruby nie ma, to wyjęcie baterii musi wymagać dwóch jednoczesnych i niezależnych od siebie czynności.

Krzemowy świerszcz nie jest zabawką dla małych dzieci. Tym niemniej może się zdarzyć, że będzie używany w domu, w którym są maluchy. Zachodzi wtedy niebezpieczeństwo połknięcia przez dziecko ogniwa, które jest wielkości monety. Szczegółowe

eprasa.pl ba02d99ec4

informacje na temat bezpieczeństwa znajdują się w ramce *Uwaga: mała bateria*.

W niniejszym projekcie wyjęcie ogniwa jest blokowane 10-milimetrową śrubą M3, włożoną od spodu płytki drukowanej i zabezpieczoną na górze nylonowym elementem dystansowym z gwintem M3. Po dokręceniu elementu dystansowego nie można go usunąć ręcznie. Skutecznie uniemożliwia on wyjęcie ogniwa. Innym rozwiązaniem może być użycie dwóch nakrętek M3, z których górna, wkręcona na drugą, służy jako przeciwnakrętka zabezpieczająca.

Instalujemy diody LED1 i LED2, tak aby górna część kopuły każdej diody znajdowała się o około 10 mm ponad płytką drukowaną. Przewody należy wygiąć pod kątem około 30° powyżej płaszczyzny płytki drukowanej i o około 10° na zewnątrz od linii środkowej. Widać to na rysunku 2 i na zdjęciach. Dłuższy przewód (anoda) każdego LED-a wchodzi w otwór „A" na płytce.

Fotorezystor montujemy około 5 mm ponad powierzchnią płytki drukowanej. Powierzchnia czołowa fotorezystora musi leżeć poziomo. Element ten nie jest polaryzowany i może być montowany w dowolny sposób.

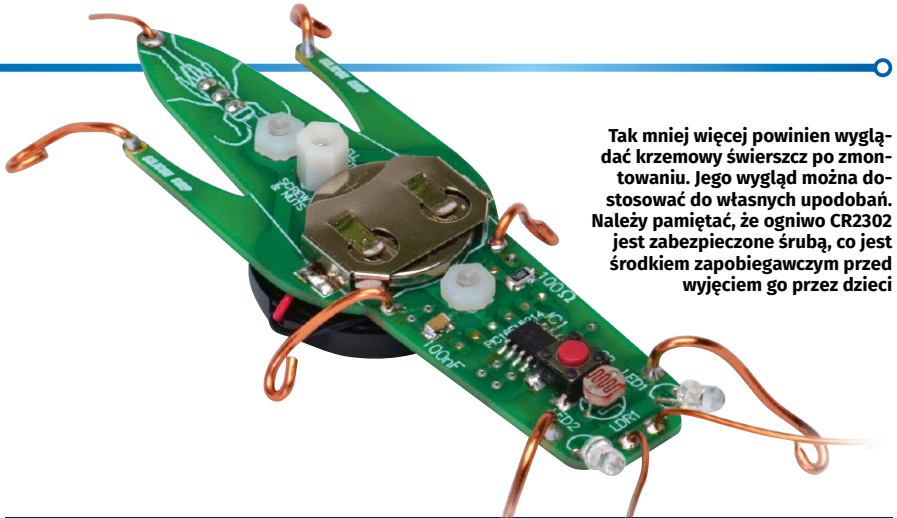
Głośnik piezo jest zamontowany na spodzie płytki drukowanej. Wspiera się na tulejach izolacyjnych TO-220, użytych jako elementy dystansowe dla podniesienia go ponad płytkę. Pozostawia to miejsce na śruby mocujące ogniwo i na diodę, które leżą między płytką drukowaną a głośnikiem piezo. Sam głośnik piezo jest mocowany dwiema śrubami M3 10 mm i dwoma nakrętkami nylonowymi lub poliwęglanowymi. Otwory montażowe głośnika piezo trzeba będzie rozwiercić do średnicy 3 mm, aby pasowały do śrub M3.

Nakrętki śrub nie zmieszczą się w miejscu uchwytów montażowych głośnika piezo, więc w uchwyty te muszą wejść łby śrub. Następnie na śruby wsuwamy tuleje izolacyjne, a na końcu przykręcamy nakrętki nylonowe lub poliwęglanowe. Użyto nakrętki plastikowe, ponieważ metalowe spowodowałyby zwarcie ogniwa od strony IC1 – otwór w płytce drukowanej i otaczająca go ścieżka są dołączone do masy, a metal uchwytu ogniwa łączy się z biegunem dodatnim. Aby uniknąć nieporozumień i zapobiec użyciu niewłaściwej nakrętki, wybraliśmy jako plastikowe obie z nich.

Gdy ogniwo zasilające będzie wymagało wymiany, usuwamy odpowiednią śrubę mocującą głośnik piezo i odchylamy go.

Przewody głośnika piezo lutujemy do spodu płytki drukowanej w miejscach oznaczonych „PIEZO1". Można również przenieść je na górę płytki drukowanej i przylutować je przez odpowiednie otwory górne, aczkolwiek będzie to wyglądać nieco niechlujnie. Przewody będą musiały być skrócone, ale należy pozostawić im wystarczającą długość, aby można było odchylić głośnik piezo uzyskując dostęp do śruby blokującej ogniwo.

Przewody głośnika piezo będą miały prawdopodobnie różne kolory, na przykład czerwony i czarny, chociaż głośnik piezo nie jest elementem polaryzowanym. Nie ma znaczenia, który przewód zostanie dołączony do którego padu.



Tak mniej więcej powinien wyglądać krzemowy świerszcz po zmontowaniu. Jego wygląd można dostosować do własnych upodobań. Należy pamiętać, że ogniwo CR2302 jest zabezpieczone śrubą, co jest środkiem zapobiegawczym przed wyjęciem go przez dzieci

Uwaga: mała bateria
W projekcie użyto małego ogniwa litowego, które w przypadku połknięcia może spowodować poważne problemy, w tym oparzenia, perforację przełyku, żołądka lub jelit. Najbardziej zagrożone są małe dzieci. Na temat zagrożeń związanych z ogniwami pastylkowymi można się zapoznać na stronie www.schn.health.nsw.gov.au/fact-sheets/button-batteries.
Należy się upewnić, że w układzie ogniwo jest według opisu zabezpieczone śrubą mocującą i nylonową podkładką dystansową, dokręconą wystarczająco mocno, aby nie można jej było odkręcić ręcznie. Ogniwa nieużywane należy przechowywać w bezpiecznym miejscu, z dala od dzieci, na przykład w zamkniętej apteczce. Ogniwa nowe powinny być przechowywane w oryginalnym, bezpiecznym opakowaniu aż do momentu użycia.
Istnieją urządzenia zasilane ogniwami pastylkowymi, nieprzeznaczone dla dzieci poniżej trzeciego roku życia, z łatwym dostępem do ogniw zasilających. Takie urządzenia należy trzymać z dala od dzieci lub opracować sposób utrudniający dostęp do ogniw (na przykład zaklejając taśmą komorę baterii).

Nogi i czułki

Nogi można wykonać z emaliowanego drutu miedzianego o średnicy 1,25 mm. Przednie nóżki mają po 40 mm długości, a środkowe i tylne – po 30 mm. Mogą być one proste lub mieć tak wymyślny kształt, jaki tylko przyjdzie Wam do głowy. Sylwetka świerszcza wydrukowana z tyłu płytki drukowanej pokazuje ogólnie kształty nóżek, jakich użyliśmy. Kształty te widać też na rysunku 2 i zdjęciach.

Nóżki wyginamy tak, aby płytka drukowana świerszcza znajdowała się w pewnej odległości od podstawy, na której świerszcz stoi. Na końcu nóżek formujemy pętelki, aby zasłonić ostre końce drutów. Na końcach nóżek, które mają być przylutowane do płytki, należy zeskrobać emalię ostrym nożem lub drobnym papierem ściernym.

Czułki o długości po 40 mm wykonujemy z emaliowanego drutu miedzianego o średnicy 1 mm. Z tego samego drutu robimy ogon o długości 20 mm. Czułki po przylutowaniu podkręcamy, przesuwając paznokciem kciuka wzdłuż wewnętrznego promienia, z palcem wskazującym skierowanym na zewnątrz.

Teraz do gniazda wkładamy ogniwo CR2032 i załączamy zasilanie przełącznikiem S1. Jeśli wszystko jest w porządku, to po około trzech sekundach zaczną migać diody LED, co potwierdza, że do mikrokontrolera dochodzi zasilanie.

Potwierdzenie w postaci krótkiego mignięcia diod LED pojawia się również, gdy w trybach świerszcza i żaby wykryty zostanie niski, a w trybie kanarka – wysoki poziom oświetlenia. Niski poziom oświetlenia można zasymulować poprzez zakrycie fotorezystora, a wysoki – poprzez poświecenie na niego. Krzemowy świerszcz zacznie ćwierkać po około 10 sekundach, pod warunkiem, że poziom oświetlenia utrzyma się przez cały ten czas.

eprasa.pl ba02d99ec4

Jeśli chcecie samodzielnie zaprogramować mikrokontroler, oprogramowanie 01810123A.hex możecie pobrać ze strony internetowej Silicon Chip. Uprzednio, jak już wspominaliśmy, należy zamontować złącze CON1 służące do programowania w układzie. Aby programowanie było możliwe, może być niezbędne odłączenie jednego z przewodów głośnika piezo lub wylutowanie rezystora 100 Ω.

Przełączanie dźwięków

Zmiana dźwięku ze świerszcza na żabę, kanarka i z powrotem na świerszcza odbywa się poprzez przytrzymanie przycisku S2 podczas załączania zasilania wyłącznikiem S1. S2 trzymamy tak długo, aż zaczną migać oczy. Oczy migną raz dla świerszcza, dwa razy dla żaby i trzy razy dla kanarka. Aby przejść do następnego dźwięku, przytrzymujemy S2 przez dwie sekundy, aż oczy znów migną, wskazując kolejny wybór.

Po tym, jak dźwięk zostanie potwierdzony miganiem, należy zwolnić S2. Wybrany rodzaj dźwięku jest przechowywany w pamięci FLASH, więc jest pamiętany nawet po wyłączeniu i ponownym załączeniu zasilania. Zmienia się on dopiero wskutek przyciśnięcia S2 podczas załączania zasilania.

Pamiętajmy, że dźwięki żaby są słyszalne najlepiej, gdy głośnik piezo znajduje się blisko płaskiej powierzchni, dzięki czemu uwypuklone zostają niższe częstotliwości. Dźwięki kanarka są zawsze odtwarzane pełnym zestawem, więc po wykryciu przez świerszcza ciemności nie ustają natychmiast.

Modyfikacje

Świerszcz krzemowy ćwierka dość głośno. Jeśli nam na tym nie zależy, może to być dość irytujące! Aby głośność zmniejszyć, zwiększamy wartość rezystora 100 Ω dołączonego w szereg z głośnikiem piezo. Zwiększenie go do, powiedzmy, 10 kΩ zredukuje odczuwalną głośność o około 50%. Większe wartości rezystora mogą zmniejszyć głośność jeszcze bardziej, aż do momentu, w którym ćwierkania nie będzie w ogóle.

Zmienić można również wrażliwość na oświetlenie, zmieniając wartość rezystora 470 kΩ między plusem zasilania a wejściem RA4 mikrokontrolera. Zwiększenie wartości rezystora (powiedzmy do 1 MΩ) sprawi, że poziom progowy światła będzie odpowiadał słabszemu oświetleniu. Z kolei zmniejszenie wartości tej rezystancji spowoduje, że wykrycie dnia będzie wymagało więcej światła. ■

John Clarke

Materiały dodatkowe dostępne są na stronie Silicon Chip:
https://www.siliconchip.com.au/Shop/8/4492

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

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

REKLAMA

eprasa.pl ba02d99ec4

Cyfrowy potencjometr regulacji głośności

Potencjometry głośności, które po kilku latach zaczynają trzeszczeć i dają bardzo słabą regulację przy niskich poziomach sygnału już nam się znudziły. W proponowanym zamienniku został zastosowany cyfrowy układ scalony, który wyjątkowo dobrze analizuje sygnał i zapewnia najwyższą wydajność przez dziesiątki lat. Wersja SMD zajmuje tyle miejsca, co większość zwykłych potencjometrów, natomiast pełniąca tę samą funkcję wersja z elementami przewlekanymi, jest nieco łatwiejsza w montażu, ale jest też nieco większa.

Bardzo często musieliśmy wymieniać regulatory głośności w naszym cennym sprzęcie, ponieważ „szumiały". W wydaniu Silikon Chip z września 2022 r. Czytelnik napisał dokładnie o tym samym problemie. Wiemy, że dotyczy on wielu użytkowników sprzętu audio.

Podczas jednej ze spektakularnych awarii, zawiodło wyprowadzenie masy potencjometru głośności mojego służbowego zestawu stereo. W wyniku tej awarii kanał ten działał przez całą noc, by następnego ranka przywitać współpracowników z pełną mocą!

Niedawno, podczas budowy zdalnego regulatora głośności, stanęliśmy przed konkretnym wyzwaniem. Potencjometr z silniczkiem zawiódł dosłownie po wyjęciu z pudełka. prawdopodobną przyczyną były luźne, zaciśnięte styki (wiemy, że inni użytkownicy również mieli z tym problem).

Musi istnieć lepsze rozwiązanie! Dlaczego nie ma cyfrowych potencjometrów wykorzystujących sprawdzone układy scalone do elektronicznej regulacji poziomu dźwięku, sterowane cyfrowym enkoderem obrotowym? Ha! Teraz już są!

Pierwotną koncepcją dla tego projektu był bezpośredni zamiennik dla potencjometru głośności. Nasz znakomity redaktor zadał pozornie niewinne pytanie: skoro w układzie pracuje mikrokontroler PIC sterujący regulacją głośności, dlaczego nie dodać także obsługi pilota na podczerwień? Jak się okazało, realizacja tego pomysłu nie była wcale trudna.

W rezultacie opracowana konstrukcja SMD charakteryzuje się bardzo małymi wymiarami, zaledwie 25 mm szerokości i 36 mm głębokości. Jest niewiele większy od standardowego podwójnego potencjometru, co pokazano na fotografiach.

Chociaż tak małe rozmiary są w wielu przypadkach idealne, wiedzieliśmy, że niektórzy Czytelnicy będą wzbraniać się przed budową układu w takiej wersji. Upakowanie

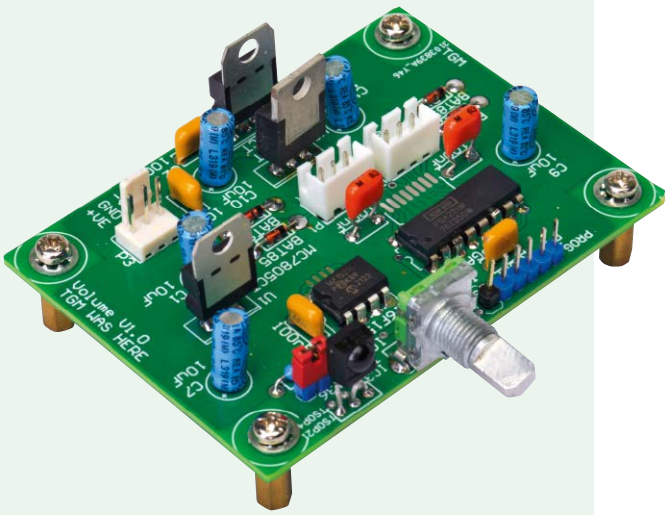
Cechy

- Oparty na stereofonicznym układzie scalonym cyfrowej regulacji głośności PGA2311UA
- Dwa niezależne kanały (z możliwością rozszerzenia do czterech, sześciu lub więcej)
- Automatycznie zapamiętuje ostatnie ustawienie głośności
- Głośność regulowana za pomocą pokrętła na panelu przednim lub uniwersalnego pilota na podczerwień
- Funkcja wyciszenia (tylko pilot zdalnego sterowania)
- Miękki start po włączeniu zasilania
- Konstrukcja bez kliknięć
- Sterowanie przez mikrokontroler PIC16F15214 i odbiornik podczerwieni TSOP4136
- Działa z zasilaniem przedwzmacniacza od ±8 V do ±30 V
- Opcjonalny wskaźnik LED pokazujący aktywność podczerwieni i zmiany głośności

Wersja SMD potencjometru cyfrowego jest nieco większa niż moneta dolarowa i wystarczająco szeroka, aby zmieścił się enkoder obrotowy i odbiornik podczerwieni. A dla tych, którzy nie chcą mrużyć oczu podczas budowy, dostępna jest większa wersja z elementami przewlekanymi

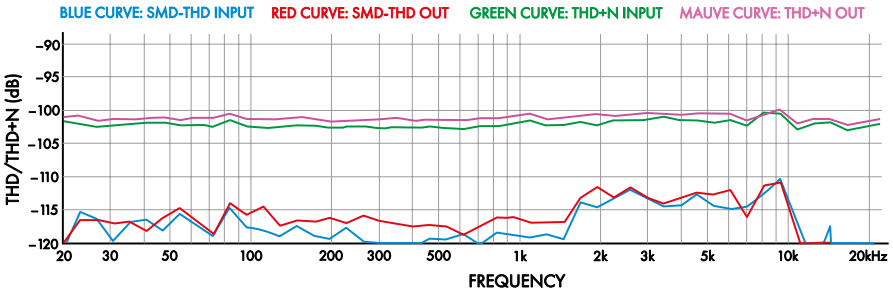
Specyfikacja

- Zakres wzmocnienia i tłumienia: +31,5 dB do –95,5 dB w krokach co 0,5 dB
- Nierównomierność charakterystyki wzmocnienia kanału typowo ±0,05 dB
- Zniekształcenia 0,0002% przy 1 kHz (przy użyciu układu scalonego w wersji UA) – patrz rysunek 1
- Pasmo przenoszenia: zasadniczo płaskie od 20 Hz do 20 kHz
- Możliwość sterowania obciążeń 600 Ω
- Rezystancja wejściowa: 10 kΩ
- Maksymalny poziom wejściowy sygnału: 2,5 V RMS
- Poziom wyjściowy: do 2,5 V RMS (7,5 V peak-to-peak)

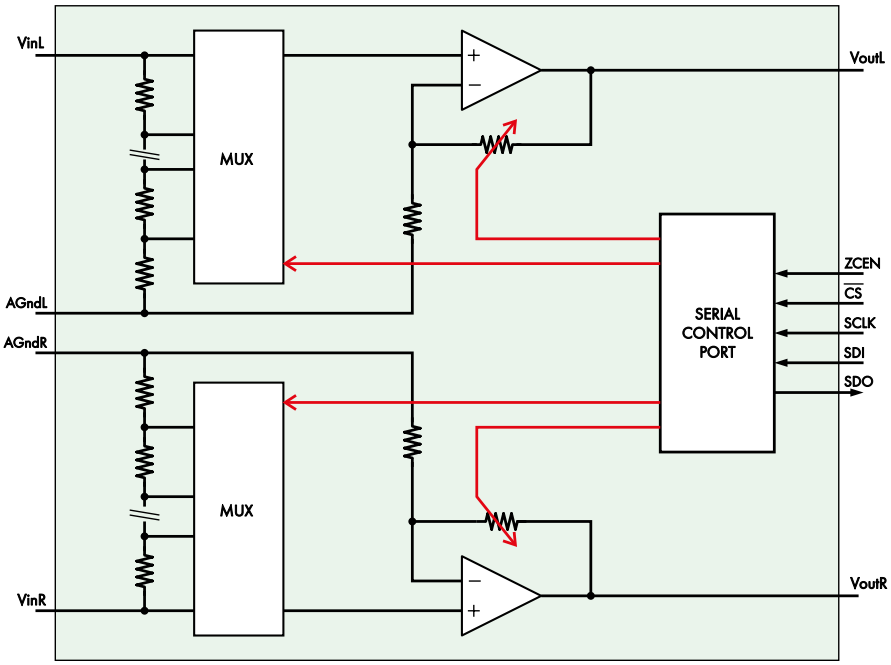


W tym prototypie użyto TSOP2136 zamiast zalecanego TSOP4136, dlatego odbiornik podczerwieni jest podłączony do zewnętrznych otworów

eprasa.pl ba02d99ec4



Rysunek 1. Wykresy zniekształceń THD i THD+N w funkcji częstotliwości dla potencjometru cyfrowego dla obu kanałów – nie ma tu nic do oglądania! Idziemy dalej! Uzyskasz podobną lub lepszą charakterystykę z tego projektu w porównaniu do zwykłego, pasywnego potencjometru



Rysunek 2. Wnętrze układów scalonych PGA2311 (i PGA2310, PGA2320). Przełączany tłumik rezystancyjny i przełączane sprzężenie zwrotne we wzmacniaczu wyjściowym pozwalają na szeroki zakres ustawień wzmocnienia i tłumienia

elementów na płytce jest dość duże, ale ich rozmiary nie są bardzo małe. Opracowanie wersji z elementami przewlekanymi nie było jednak szczególnie pracochłonne, więc taką również przygotowaliśmy.

Sprawdziłem jego parametry i okazało się, że jest na tyle zbliżony do wersji SMD, że nikt nie usłyszy różnic. Jeśli więc masz miejsce na zamontowanie większej płytki, z pewnością jest to dobra opcja. Jego schemat jest identyczny względem wersji SMD, a ponieważ zastosowane elementy są większe, całość zajmuje nieco więcej miejsca. Płytka w tej wersji ma wymiary: szerokość 79 mm i głębokość 57 mm.

Parametry i wybór układów scalonych

Parametry prototypu zostały przedstawione w ramce „Specyfikacja" i na **rysunku 1**. Szumy i zniekształcenia są tak małe, że z pewnością nie będą słyszalne i nie wpłyną na jakość dźwięku nawet najlepszych wzmacniaczy.

Zmierzyliśmy zniekształcenia pięciu prototypów i wszystkie mieściły się w zakresie 0,0002...0,0003%, co jest bliskie możliwościom pomiarowym naszego sprzętu pomiarowego.

Sercem projektu jest układ scalony kontroli głośności PGA2311 firmy Texas Instruments. Można również użyć PGA2320 lub PGA2310 o identycznych parametrach, ale te wersje są znacznie droższe z powodów, których nie potrafimy wyjaśnić. Może dlatego, że mogą działać z wyższymi napięciami zasilającymi ±15 V w porównaniu do ±5 V.

Aby uzyskać określoną efektywność, należy użyć jednego z układów PGA2311 z przyrostkiem UA. Przestarzałe układy CS3310 również będą działać dobrze i nadal można je dość łatwo znaleźć w Internecie (eBay, AliExpress itp.).

Mimo to, wszystkie te opcje zapewnią akceptowalne parametry. Krótko mówiąc, jesteśmy przekonani, że znajdziesz taki czy inny układ scalony, który zmieści się na Twojej płytce, nawet w czasach niedoboru układów scalonych.

PGA2311 zawiera sieć rezystorów i przełącznik analogowy wraz z przełączanymi rezystorami w obwodzie sprzężenia zwrotnego buforowego wzmacniacza wyjściowego, jak pokazano na **rysunku 2**. Dzięki temu możliwa jest praca zarówno z tłumieniem, a także ze wzmocnieniem 31,5 dB. Zwróć na to uwagę, bo zbyt wysokie wzmocnienie, gdy nie masz sygnału wejściowego, prowadzi do głośnej niespodzianki!

Zastosowany układ scalony prawie nie szumi, więc nie oczekuj, że usłyszysz syk lub szum ostrzegający, że poziom głośności jest wysoki.

Chociaż wymienione układy scalone mogą zapewnić wzmocnienie do 31,5 dB, to wzmocnienie elektronicznego regulatora głośności ograniczyliśmy do +10 dB. Alternatywne oprogramowanie układowe pozwala na wzmocnienie do +31,5 dB, ale należy pamiętać, że jest to wartość bardzo duża.

Szczegóły schematu

Schemat cyfrowego potencjometru pokazano na **rysunku 3**. Jest on stosunkowo prosty, nie zawiera wielu elementów. Na płytce znajduje się kilka elementów poza IC2, PGA2311 (lub odpowiednik), mikrokontroler PIC IC1, enkoder obrotowy RE1, odbiornik podczerwieni IRR1 i niektóre elementy zasilające.

Jakość dźwięku tego projektu jest prawie całkowicie określona przez układ PGA2311, ponieważ w ścieżce sygnału nie występują inne elementy. Sygnał z lewego kanału jest doprowadzany przez pin 1 złącza CON2, i jest kierowany bezpośrednio do wejścia IC2 na nóżce 16, a następnie do pinu 2 złącza CON2, skąd trafia do wzmacniacza (lub innego układu). Drugi kanał jest kierowany podobnie, przez CON1.

Zastosowaliśmy zabezpieczenie wejścia za pomocą podwójnej diody Schottky'ego BAT54S (lub pary BAT85 w wersji przewlekanej) dołączonych od każdego pinu wejściowego do szyn zasilających. W ten sposób, jeśli wejście zostanie nadmiernie wysterowane, diody zaczną przewodzić chroniąc przed uszkodzeniem układ PGA2311.

Zdecydowaliśmy się nie umieszczać ani wejściowych, ani wyjściowych kondensatorów sprzęgających. Powodem jest to, że cztery kondensatory bipolarne zwiększyłyby rozmiar płytki drukowanej o około 20%. Spodziewamy się, że będą one już w łańcuchu sygnałowym (ostatecznie, jeśli zastępujesz potencjometr mechaniczny, nie będziesz przykładał do niego składowej stałej), a napięcie offsetu wyjściowego PGA2311 wynosi tylko 0,25 mV przy wzmocnieniu 0 dB.

eprasa.pl ba02d99ec4

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

Jeśli w łańcuchu sygnałowym występuje składowa stała, konieczne będzie dołączenie kondensatora blokującego szeregowo z potencjometrem cyfrowym – zalecamy bipolarny kondensator elektrolityczny 10 µF/25 V. Można również użyć dwóch zwykłych kondensatorów elektrolitycznych 10 µF/25 V połączonych szeregowo, ujemny-ujemny lub dodatni-dodatni. Obie opcje nie będą miały zauważalnego wpływu na dźwięk.

W przypadku wyjść zakładamy, że Cyfrowy potencjometr będzie sterował wzmacniaczem lub innymi układami za pośrednictwem krótkich kabelków. PGA2311 może obsługiwać obciążenia o rezystancji 600 Ω i ma prąd zwarciowy 50 mA, jest więc mało prawdopodobne, aby zachowywał się nieprawidłowo w przypadku nietypowego obciążenia.

Jeśli jednak zamierzasz zastosować długie przewody, dodaj rezystor 100 Ω szeregowo z każdym wyjściem. Wygodnym miejscem do tego będzie gniazdo wyjściowe.

Sterownik

Jeśli układ PGA2311 jest sercem projektu, to 8-pinowy PIC16F15214 jest mózgiem. Możliwości tego układu omówiliśmy w kwietniu 2022 roku (siliconchip.au/Article/15277).

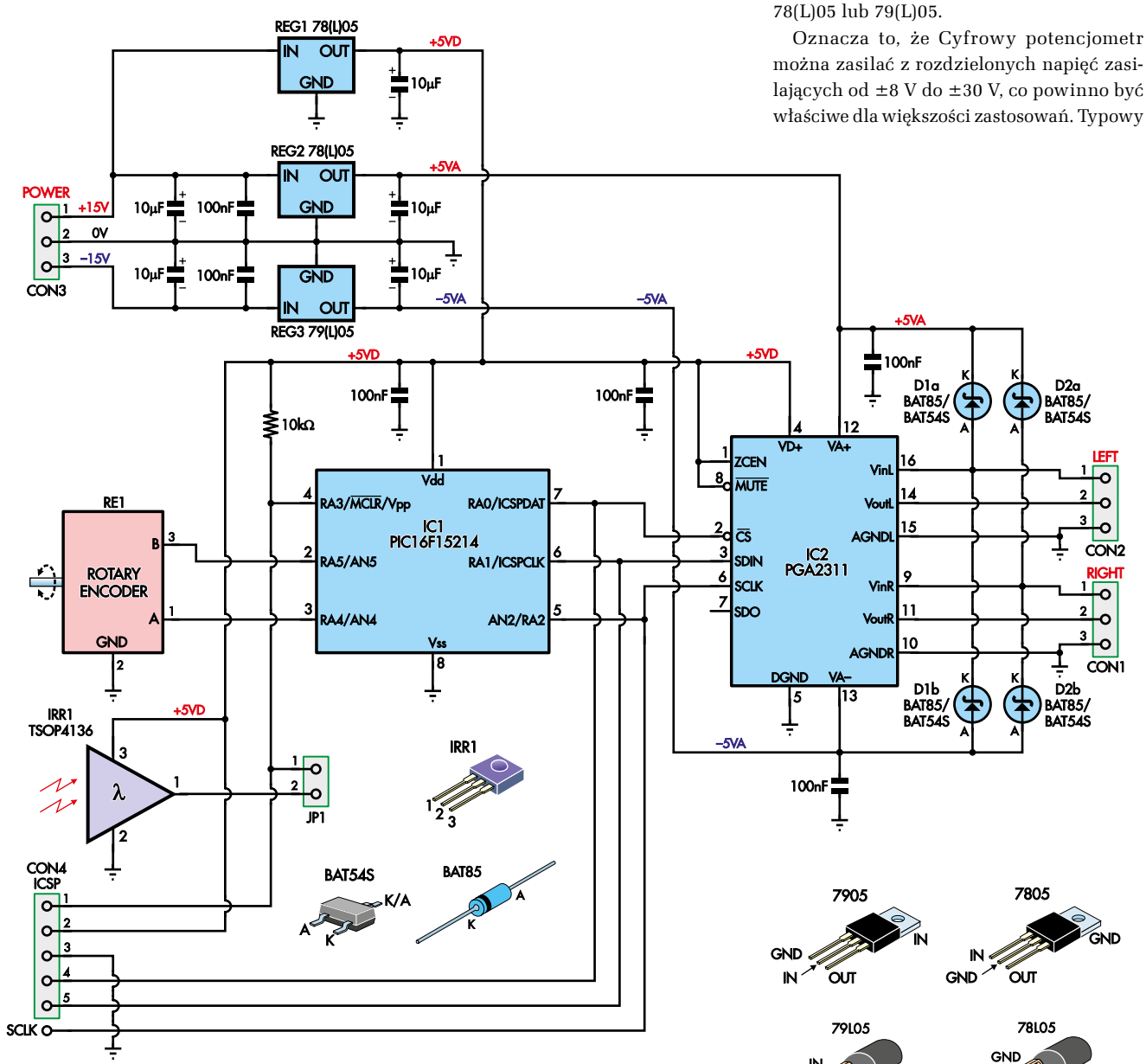
Głównym zadaniem oprogramowania tego mikrokontrolera jest monitorowanie enkodera obrotowego i, jeśli jest on obrócony, wysyłanie sygnału do IC2 w celu odpowiedniej regulacji głośności.

Mikrokontroler analizuje również sygnały z odbiornika podczerwieni, i jeśli otrzyma prawidłowy sygnał z pilota zdalnego sterowania, ustala również, jakie polecenie wysłać do IC2 w odpowiedzi. Więcej szczegółów na temat działania oprogramowania podamy w dalszej części artykułu.

Zasilanie

Układ IC2 jest zasilany napięciami ±5 V. Aby umożliwić wykorzystanie szerokiej gamy napięć zasilających wzmacniacza/przedwzmacniacza do uruchomienia tej płytki, mamy wbudowane stabilizatory 78(L)05 lub 79(L)05.

Oznacza to, że Cyfrowy potencjometr można zasilać z rozdzielonych napięć zasilających od ±8 V do ±30 V, co powinno być właściwe dla większości zastosowań. Typowy

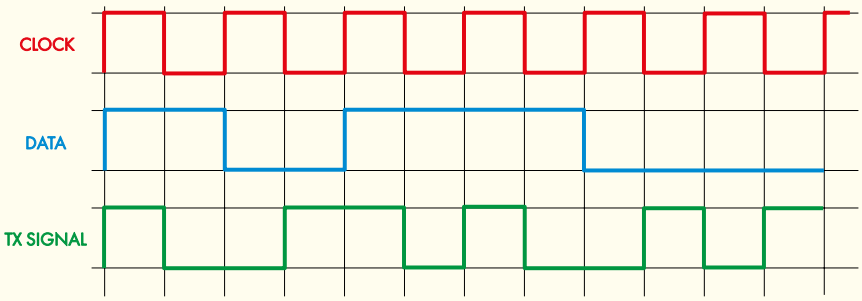


Rysunek 3. Kompletny schemat potencjometru cyfrowego obowiązujący zarówno dla wersji SMD, jak i przewlekanej. Zwróć uwagę, że D1a/D1b i D2a/D2b to dwie podwójne diody w wersji SMD lub cztery pojedyncze diody w wersji przewlekanej. Jedynym dodatkowym elementem, którego nie pokazano, jest opcjonalny wskaźnik LED podłączany do złącza CON4

eprasa.pl ba02d99ec4

Dekodowanie sygnału IR

W kodowaniu Manchester logiczna jedynka jest transmitowana jako przejście ze stanu wysokiego do niskiego, natomiast „0" jest przejściem z niskiego do wysokiego (**rysunek 4**). Ponieważ transmisja rozpoczyna się od jednego bitu, wiemy, że na początku każdej transmisji występuje poziom wysoki, a następnie niski.



Rysunek 4. Kodowanie Manchester stosowane w systemie zdalnego sterowania RC-5. Kodowanie to nie wprowadza składowej stałej, charakteryzuje się ponadto dobrze zdefiniowanym zakresem częstotliwości i zdolnością odbiornika do odtwarzania częstotliwości taktowania na podstawie strumienia danych szeregowych

Opisany tutaj dekoder działa prawidłowo i jest dobrym przykładem prostej maszyny stanów. Zacznijmy od wymienienia tego, co wiemy:

- Jedynka jest kodowana przez 890 µs (nominalnie) jako okres bez sygnału podczerwieni, po którym następuje sygnał podczerwieni przez ten sam czas. Zero jest kodowane odwrotnie. Musimy uwzględnić pewne wahania zegara nadajnika, a tym samym okresów (powiedzmy ±10%).
- Jeśli zero następuje po jedynce lub jedynka po zerze, poziom sygnału IR nigdy nie pozostanie taki sam przez okres znacznie krótszy niż nominalnie 890 µs lub znacznie dłuższy niż 1780 µs.
- Szukamy 14 bitów danych.

Stany maszyny stanów pokazane na rysunku 5, są następujące.

A. Wyczyść zapisaną wartość i poczekaj na sygnał IR. Ustaw pierwszy bit na jeden (wiemy, że jest to prawda, jeśli jest to prawidłowy sygnał) i przejdź do stanu B.

B. Odbieramy jedynkę. Zmierz czas do ustania sygnału podczerwieni. Jeśli był on zbyt krótki (powiedzmy, mniej niż 890 µs minus 10%), jest to szum, przejdź do stanu A.
- jeśli czas był krótki (bliżej 890 µs niż 1780 µs), właśnie otrzymaliśmy kolejny. Zapisz to i przejdź do stanu C.
- jeśli czas był długi (bliżej 1780 µs niż 890 µs), zostało odebrane zero. Zapisujemy to i przechodzimy do stanu D.
- jeśli czas był zbyt długi (ponad 1780 µs plus 10%), jest to szum, więc przejdź do stanu A.

C. Właśnie odebraliśmy impuls IR zaczynający się od jedynki po wcześniejszym odebraniu jedynki (w tej chwili nie ma sygnału IR). Zmierz czas do ponownego pojawienia się sygnału IR.
- jeśli sygnał pojawi się zbyt wcześnie, jest to szum, przejdź do stanu A.
- jeśli czas był krótki, należy się tego spodziewać, zapisz bit i przejdź do stanu B.
- Jeśli czas był dłuższy, jest to szum; przejdź do stanu A.

D. Właśnie otrzymaliśmy zero, nie ma teraz sygnału IR. Poczekaj, aż sygnał podczerwieni ponownie się pojawi.
- jeśli nie widzimy sygnału IR przez zbyt krótki czas, jest to szum, przejdź do stanu A.
- jeśli przez krótki czas nie widzimy sygnału IR, właśnie otrzymaliśmy kolejne zero. Zapisz to i przejdź do stanu E.
- jeśli nie widzimy sygnału IR przez długi czas, otrzymujemy jedynkę. Zapisz to i przejdź do stanu C.
- jeśli nie było sygnału IR przez dłuższy czas, jest to szum, przejdź do stanu A.

E. Właśnie otrzymaliśmy impuls podczerwieni dla zera po zerze (sygnał IR jest obecny). Zmierz czas do momentu ponownego braku sygnału IR.
- jeśli jest to impuls krótszy niż impuls krótki, jest to szum, przejdź do stanu A.
- jeśli nie widzimy IR przez krótki czas, tego oczekujemy, przejdź do stanu D.
- jeśli nie widzimy podczerwieni przez dłuższy czas, jest to szum, przejdź do stanu A.

Jeśli przy użyciu powyższej metody oprogramowanie odbierze 14 prawidłowych bitów (a więc wszystkie), zostanie to uznane za prawidłowe polecenie i przetworzone, a następnie nastąpi powrót do stanu A – gotowość do odebrania kolejnego polecenia. W przeciwnym razie dane są odrzucane, ponieważ są uważane za szum. Na **rysunku 5** powyższy opis został przedstawiony jako graf stanów.

przedwzmacniacz będzie miał dostępne takie napięcia, podobnie jak a niektóre mniejsze wzmacniacze bez przedwzmacniaczy.

Zgodnie z koncepcją projektu, zasilacz jest bardzo prosty. PGA2311 ma typowy współczynnik tłumienia zasilania (PSRR) na poziomie 100 dB przy 250 Hz, więc wszelkie zakłócenia, które przepuszczają podstawowe stabilizatory liniowe, nie będą miały realnego wpływu na osiągi. Oczywiście, w ramach modernizacji można zbudować własny zasilacz o niskim poziomie szumów ±5 V DC i usunąć stabilizatory.

Załóżmy, że chcesz zamontować Cyfrowy potencjometr we wzmacniaczu mocy tylko z dwoma napięciami zasilającymi powyżej ±30 V. W takim przypadku, aby obniżyć je do akceptowalnego zakresu Cyfrowy potencjometr, można dołączyć diody Zenera o mocy 5 W szeregowo z dwiema szynami zasilającymi. Układ pobiera tylko kilkadziesiąt miliamperów, więc powinien działać poprawnie z większością wzmacniaczy. Upewnij się tylko, że polaryzacja diod Zenera jest prawidłowa (anoda do pinu 1 CON3, druga katoda do pinu 3).

Jeśli korzystasz z układów PGA2310 lub PGA2320, masz również możliwość zwiększenia zasilania układów analogowych nawet do ±15 V. W zdecydowanej większości zastosowań nie będzie to miało znaczenia, ale wybór jest możliwy. Najprostszym rozwiązaniem jest dodanie stabilizatorów 78(L)15 i 79(L)15 odpowiednio dla REG2 i REG3. Nie zmieniaj REG1 na typ o wyższym napięciu.

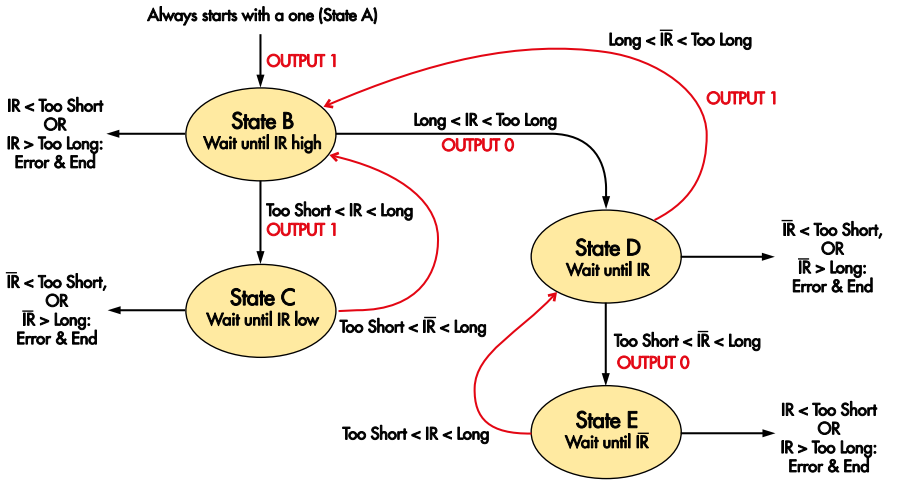
Oprogramowanie układowe

Kod źródłowy i plik HEX dla tego projektu są dostępne do pobrania ze strony internetowej Silicon Chip. Możemy również dostarczyć mikrokontrolery już zaprogramowane odpowiednim plikiem HEX.

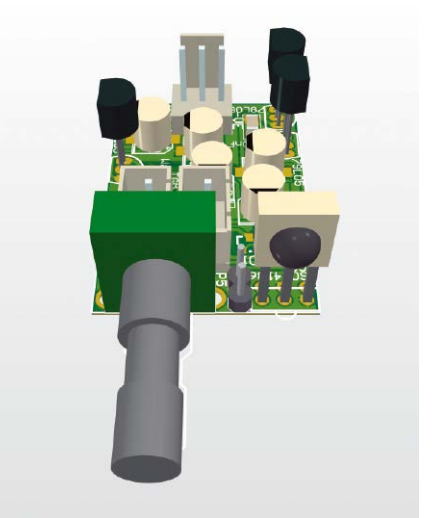
Po uruchomieniu oprogramowanie konfiguruje kilka rejestrów, aby ustawić prędkość zegara procesora na 4 MHz, znacznie niższą niż maksymalna, i uruchamia timer do pomiaru sygnałów podczerwieni. Następnie ładuje zapisany poziom głośności i konfigurację pilota z pamięci Flash, sprawdza, czy użytkownik chce zmienić kod pilota, a jeśli nie, w ciągu kilku sekund zwiększa głośność od zera do ostatnio używanej wartości.

Następnie monitoruje działanie enkodera obrotowego i wejściowego portu podczerwieni. Jeśli zostaną wykryte jakiekolwiek sygnały, decyduje czy enkoder obrotowy jest obracany w górę czy w dół, lub odczytuje strumień IR, w celu sprawdzenia, jaki kod został przesłany.

eprasa.pl ba02d99ec4



Rysunek 5. Maszyna stanów dekodera podczerwieni wbudowana w oprogramowanie. Graf pokazuje, jak złożoną logikę można rozłożyć na (stosunkowo) prosty schemat blokowy, a następnie zaimplementować w logice lub oprogramowaniu. Pisanie oprogramowania może stać się trudne bez rozbicia logiki w ten sposób



Rysunek 6. Wygenerowany model 3D płytki, który stworzyliśmy przy użyciu Altium, aby sprawdzić, czy wszystko będzie do siebie dopasowane. Jak się okazuje, efekt końcowy wygląda bardzo podobnie

W razie potrzeby oprogramowanie zapisuje nową wartość poziomu głośności w układzie scalonym PGA2311. Następnie, jeśli przez około 10 sekund nie zostaną wprowadzone żadne zmiany, nowy poziom głośności zostanie zapisany w pamięci Flash.

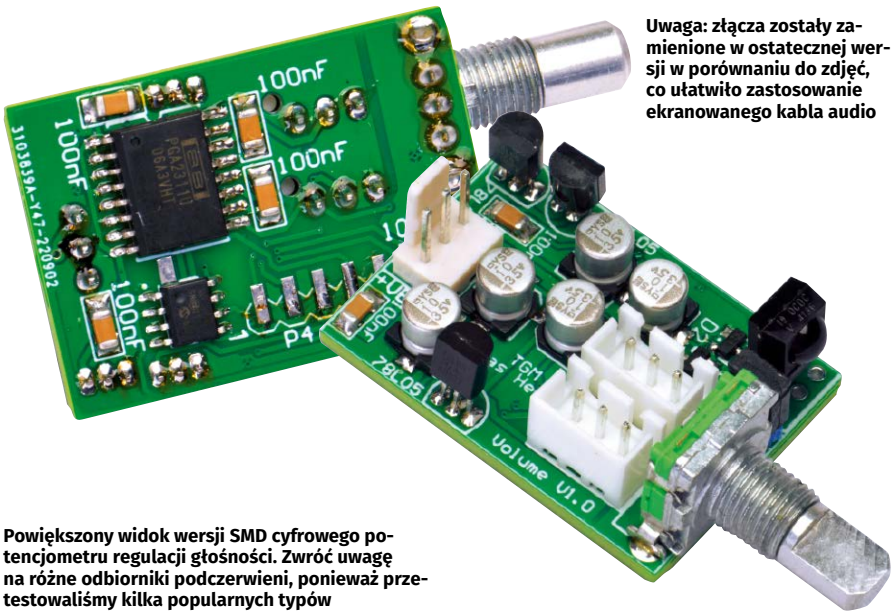
Modulowane sygnały IR są odbierane przez układ TSOP4136, który zawiera detektor podczerwieni, filtr pasmowoprzepustowy 36 kHz i bufor wyjściowy. W rezultacie tworzony jest cyfrowy strumień szeregowy zawierający sygnały kodujące komendy z pilota zdalnego sterowania, a także szum pochodzący od oświetlenia otoczenia.

Szumy są generowane przez lampy znajdujące się w pobliżu, słońce i inne piloty na podczerwień w pomieszczeniu. Wewnętrzny filtr pasmowoprzepustowy odbiornika podczerwieni nie jest w 100 procentach skuteczny w eliminacji takiego szumu, ale redukuje go do rozsądnego poziomu.

Chociaż kody Philips RC-5 IR są już nieco przestarzałe, nadal są one używane na tyle powszechnie, że praktycznie wszystkie uniwersalne piloty zdalnego sterowania mogą je generować. Transmisja RC-5 IR zawiera 14 bitów danych. Są one podzielone na pięć bitów adresu (32 możliwe wartości dla TV, VCR, DVD, odbiornika itp.) i sześć bitów poleceń (64 możliwe wartości).

Strumień rozpoczyna się od dwóch bitów startowych i bitu przełączenia („toggle"), który odwraca się z każdym kolejnym poleceniem. Dane są kodowane z użyciem kodu „Manchester". Jest to sprytny sposób wysyłania ciągu jedynek i zer na linii szeregowej przy jednoczesnym osadzeniu w nim sygnału zegarowego. Nasz PIC odwraca ten schemat, i w ten sposób dekoduje szeregowy strumień danych z TSOP4136. Więcej szczegółów na ten temat znajduje się w ramce „Dekodowanie sygnału IR".

Mikrokontroler PIC rozkodowuje wszystkie kierowane do niego dane i wyodrębnia polecenia z naszego pilota, a w rezultacie zmienia głośność lub przełącza tor akustyczny stan wyciszenia.



Uwaga: złącza zostały zamienione w ostatecznej wersji w porównaniu do zdjęć, co ułatwiło zastosowanie ekranowanego kabla audio

Powiększony widok wersji SMD cyfrowego potencjometru regulacji głośności. Zwróć uwagę na różne odbiorniki podczerwieni, ponieważ przetestowaliśmy kilka popularnych typów

Metoda projektowania PCB

Pomyśleliśmy, że interesujące może być pokazanie, co robimy podczas projektowania tak gęsto upakowanej płytki i jak upewniamy się, że wszystko się zmieści. Na **rysunku 6** przedstawiono wygenerowany w trakcie projektowania w Altium model 3D płytki PCB. Porównaj to z rzeczywistym prototypem – podobieństwo jest uderzające.

Wynik zależy od wprowadzenia odpowiednich modeli dla każdego komponentu, ale wystarczy to zrobić tylko raz. Następnie możemy uruchomić kontrolę interferencji, a nawet uzyskać rendering pokazujący, jak płytka będzie wyglądać po złożeniu. Możemy go obrócić, aby upewnić się, czy nie ma kolizji między elementami (Altium może nas ostrzec, jeśli wystąpi takie zagrożenie).

Budowa

Najpierw musisz wybrać, którą wersję płytkę chcesz zbudować. Wersja SMD nadaje się dla względnie początkujących, ponieważ zawiera tylko kilka elementów do montażu powierzchniowego i nie obejmuje elementów o bardzo małym rastrze. Jeśli jednak masz miejsce na pełnowymiarową płytkę, możesz zdecydować się na nią,

eprasa.pl ba02d99ec4

co pozwoli zaoszczędzić Ci trochę czasu i wysiłku.

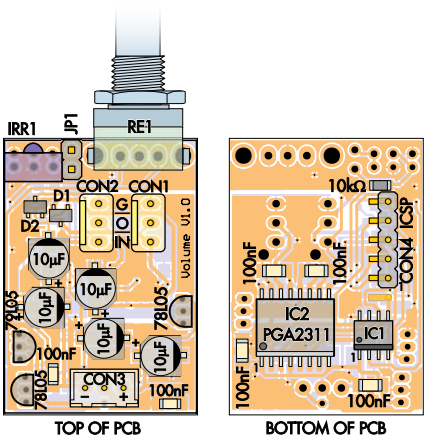
Wersja SMD

Wersja SMD jest zbudowana na dwustronnej płytce drukowanej z kodem 01101231 o wymiarach 25,5 mm × 36,5 mm, z elementami umieszczonymi tak jak to pokazano na **rysunku 7**. Są one montowane po obu stronach, aby utrzymać kompaktowy efekt końcowy. Aby zapobiec ślizganiu się płytki drukowanej na stole podczas pracy, możesz użyć małego imadła lub Blu-Tack'a.

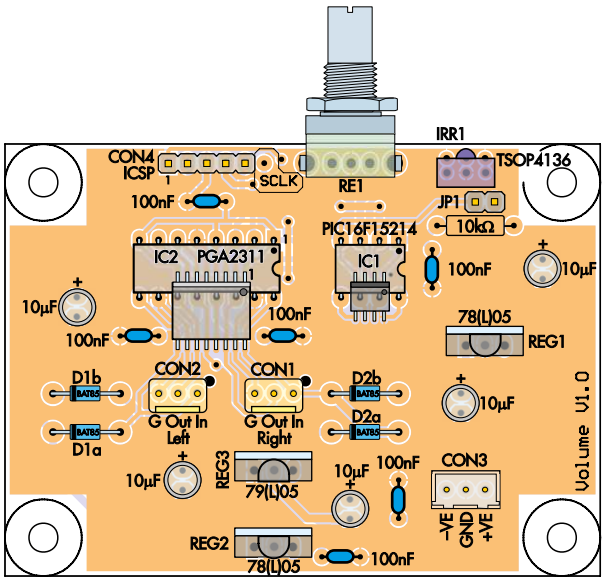
Zacznij od przylutowania rezystora 10 kΩ z tyłu płytki. Następnie zamontuj kondensatory 100 nF. Cztery znajdują się z tyłu płytki, a dwa z przodu.

Następnie zamontuj układ scalony PGA2311 (lub podobny) i mikrokontroler PIC16F15124. W obu przypadkach, przed przylutowaniem jednej nóżki upewnij się, że zidentyfikowałeś pin 1 i zorientowałeś go zgodnie z rysunkiem 7 i opisami na PCB. Następnie sprawdź wyrównanie pozostałych pinów przed ich przylutowaniem. Jeśli są one ułożone nierówno, należy ponownie podgrzać pierwsze połączenie lutowane i delikatnie skorygować położenie układu scalonego.

Przed nałożeniem lutu zaleca się dodanie odrobiny topnika wzdłuż rzędów pinów, ponieważ sprawia to, że lut jest znacznie lepiej rozprowadzany, tworząc dobre połączenia. Po nałożeniu topnika na piny, wystarczy nałożyć odrobinę lutowia na grot, a następnie dotknąć nim jednocześnie pinu i pola lutowniczego. Lut powinien spłynąć na nie i utworzyć dobre połączenie.



Rysunek 8. Płytka PCB w wersji dla komponentów przewlekanych jest elektrycznie identyczna z wersją SMD, ale nieco większa. Zarówno dla IC1, jak i IC2, można zamontować element w obudowie DIP (przewlekany) lub SOIC SMD. Należy uważać, w którą stronę montujesz stabilizatory i układy scalone, zwróć także uwagę na dodatkowy pad obok CON4, dzięki któremu wiele jednostek można „połączyć" w cztery lub więcej kanałów



Rysunek 7. Wersja SMD jest bardzo kompaktowa, ale pod względem osiągów i funkcji jest identyczna z większą wersją dla komponentów przewlekanych. W przypadku użycia kondensatorów ceramicznych 10 µF zamiast elektrolitycznych (co zalecamy), będą one pasować do tych samych padów, ale nie będą spolaryzowane. Możesz użyć tego samego typu złącza dla CON3, co CON1 i CON2, ale wtedy istnieje ryzyko przypadkowego podłączenia kabla zasilającego do niewłaściwego złącza i spowodowania uszkodzeń

Po nabraniu wprawy można nawet przeciągać grot po pinach, aby lutować je jeden po drugim.

Po lutowaniu należy dokładnie sprawdzić, czy wszystkie połączenia zostały wykonane prawidłowo i czy żaden pin nie jest zmostkowany z sąsiednimi pinami nadmiarem lutu. Jeśli tak, dodaj więcej topnika, a następnie przyłóż plecionkę lutowniczą, aby pochłonęła nadmiar lutu i usuń mostek.

Teraz odwróć płytkę i przylutuj dwie podwójne diody Schottky'ego BAT54S. Są to elementy w obudowie SOT-23, a więc będą to najmniejsze części, z którymi będziesz musiał sobie poradzić. Na szczęście piny są stosunkowo szeroko rozstawione. Gdy już umieścisz je na płytce, wszystko pójdzie z górki.

Następnie zamontuj pięć kondensatorów elektrolitycznych SMD 10 µF 35 V (lub, jeszcze lepiej, kondensatory ceramiczne SMD 10 µF 35 V/50 V). Jeśli używasz kondensatorów elektrolitycznych, ustaw je zgodnie z rysunkiem. Podstawka kondensatorów ma fazę na dodatnim wyprowadzeniu. Montaż kondensatora w odpowiedniej pozycji wymaga przylutowania najpierw jednego wyprowadzenia, sprawdzenia i ewentualnie skorygowania pozycji i przylutowania drugiego wyprowadzenia. Należy przy tym dość obficie zwilżać pady topnikiem.

Na potrzeby dalszego montażu pozostaw w lutownicy cienki grot, ponieważ wiele elementów przewlekanych ma niewielkie pady lutownicze, co wynika z gęstego prowadzenia ścieżek na płytce.

Wlutuj teraz trzy stabilizatory napięcia. Uważaj, aby układy 78(L)05 i 79(L)05 znalazły się we właściwych miejscach.

Następnie zamontuj złącza zasilania i wyjścia. Wybraliśmy dla nich różne typy, aby zmniejszyć prawdopodobieństwo przypadkowego podłączenia zasilania do złącza audio. Możliwe jest też przylutowanie przewodów bezpośrednio do płytki drukowanej, ale złącza zapewniają bardziej profesjonalne wykończenie i ułatwiają montaż i konserwację.

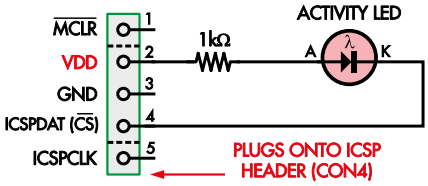
Dwupinowe złącze szpilkowe jest używane dla zworki do odizolowania odbiornika podczerwieni w przypadku konieczności przeprogramowania IC1. Jeśli musisz zaprogramować mikrokontroler PIC, zamontuj to złącze, ale nie zakładaj zworki, dopóki mikrokontroler nie zostanie zaprogramowany. Jeśli używasz wstępnie zaprogramowanego mikrokontrolera, możesz założyć zworkę przed lub bezpośrednio po jego przylutowaniu.

Wybór pilota na podczerwień

Podczas prac testowaliśmy kilka pilotów, w tym Altronics A1012A. Zaprogramowaliśmy go dla kodów TV 0088, 0154, 0169 i innych oraz kodów AUX 0734, 0846, 0727 i innych. Przetestowaliśmy również pilota „One For All" i okazało się, że działa z kodem TV 0556 i kodem RCVR/AMP 1269.

Najprostszym sposobem na skonfigurowanie naszego układu dla pilota jest podłączenie diody LED aktywności IR do portu programu i obserwowanie, czy dioda LED świeci się po naciśnięciu przycisków na pilocie. Miganie wskazuje, że odbierane są prawidłowe kody IR. Następnie wystarczy wypróbować różne kody (zaczynając od telewizorów Philips), aż znajdziesz taki, który działa. Prawidłowe muszą być tylko kody przycisków zwiększania/zmniejszania głośności i wyciszania.

eprasa.pl ba02d99ec4



Rysunek 9. Schemat wyjaśniający, jak podłączyć diodę LED sygnalizującą aktywność podczerwieni. Odłączamy linię CS układu scalonego PG2311, który sam wykorzystuje linię danych programowania szeregowego w układzie. Może to być 3-, 4– lub 5-pinowe złącze, o ile jest podłączone do CON4, aby wykonać prawidłowe połączenia. Warto dobrać rezystor o wartości właściwej dla koloru użytej diody LED

Ostatnim elementem do zamontowania jest odbiornik podczerwieni. Na rynku dostępnych jest wiele podobnych do siebie typów, ale mają one irytujące różnice w wyprowadzeniach. Niektóre mają zamienione piny zasilania + i –! Sprawdź dokładnie, jak wygląda sytuacja w zakupionych egzemplarzach. Układy TSOP4136 mają masę na środkowym pinie i pasują do wewnętrznego zestawu otworów na płytce drukowanej. Tymczasem układy TSOP2136 mają masę na zewnętrznym pinie, i pasują do otworów znajdujących się najbliżej krawędzi PCB.

Wersja z elementami przewlekanymi

Wersja z elementami przewlekanymi jest zbudowana na dwustronnej płytce drukowanej o kodzie 01101232 i wymiarach 78,5 mm × 57 mm. Rozmieszczenie elementów na tej płytce pokazano na **rysunku 8**.

W tej wersji płytki możliwe jest zastosowanie elementów przewlekanych, przy czym mikrokontroler PIC i/lub układ scalony PGA2311 można zastosować także w wersji do montażu SMT. Ułatwia to skompletowanie elementów. Wszystkie pozostałe komponenty przewlekane są powszechnie dostępne, więc nie przewidujemy żadnych trudności z ich nabyciem.

Kolejność montażu jest zasadniczo taka sama jak w wersji SMD opisanej powyżej, z kilkoma drobnymi różnicami wynikającymi z odmiennych obudów elementów. Główną z nich jest to, że dwie podwójne diody SMD zostały zastąpione czterema diodami pojedynczymi. Należy również zauważyć, że dodatnie wyprowadzenia kondensatorów elektrolitycznych przewlekanych mają dłuższe wyprowadzenia, które są skierowane w stronę symboli + na płytce.

W przypadku stabilizatorów, równie dobrze można użyć tych samych układów 78L05 i 79L05, które zostały zastosowane w wersji SMD. Zorientuj je zgodnie z mniejszymi półcylindrycznymi liniami pokazanymi na rysunku 8. Można jednak również użyć stabilizatorów 7805/7905 lub równoważnych w obudowach TO-220, jeśli akurat masz je pod ręką. Wymagana orientacja tych układów jest również pokazana na rysunku 8.

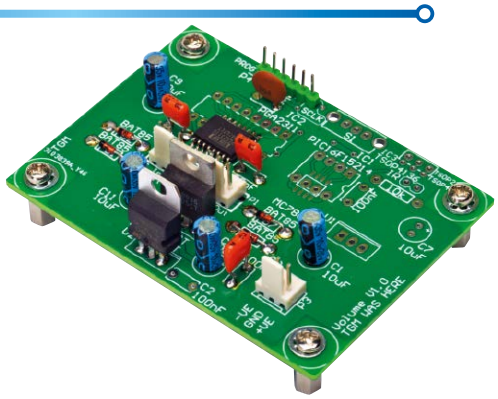
W przeciwnym razie należy postępować zgodnie z tą samą kolejnością montażu, co w przypadku wersji SMD. Następnie w czterech narożnych otworach można zamontować „nóżki" w postaci gwintowanych tulei dystansowych. Używamy do tego wkrętów maszynowych. Są one przydatne nie tylko podczas testowania, można ich użyć do późniejszego zamontowania bardziej masywnej płytki z komponentami przewlekanymi do obudowy.

Wskaźnik aktywności

Podczas użytkowania układu regulacji głośności przydatna jest dioda LED sygnalizująca aktywność, która miga po włączeniu zasilania, po odebraniu prawidłowych poleceń z pilota IR i po obróceniu enkodera. Aby to zapewnić, oprogramowanie układowe zwiększa czas trwania sygnału CS (chip selekt) dla układu scalonego PGA2311. Podłączając wspomnianą diodę LED i rezystor między tą linią a szyną 5 V, dioda będzie się świecić za każdym razem, gdy polecenia zostaną wysłane do tego układu scalonego.

Jest to pewne nadużycie, ponieważ używamy linii wyboru układu do dwóch celów. W stanie, w którym napięcie na linii CS przyjmuje niski poziom, włączany jest interfejs cyfrowy PGA2311, ale jednocześnie możliwy jest przepływ prądu przez diodę LED wskaźnika aktywności powodujący jej świecenie. Aby mignięcie było widoczne, musimy wydłużyć te impulsy z wymaganych (zaledwie kilku mikrosekund) do dziesiątek milisekund.

Okablowanie dla opcjonalnej diody LED wskaźnika aktywności pokazano na **rysunku 9**. Cienki przewód należy przylutować do odpowiednich pinów żeńskiego złącza trzy-, cztero– lub pięciopinowego. Można go wyciąć z dłuższego paska taśmy. Następnie wtyk ten podłącza się do złącza CON4, co umożliwia zamontowanie diody LED w widocznym miejscu, np. na przednim panelu wzmacniacza. Staraj się, aby przewód nie był zbyt długi (około 10 cm), dzięki czemu można uniknąć przedostawania się zakłóceń do linii CS.



Do użytku wielokanałowego można zbudować wersję „slave" wersji przewlekanej lub SMD przy użyciu mniejszej liczby elementów. Więcej szczegółów w ramce „Łączenie wielu kart dla więcej niż dwóch kanałów"

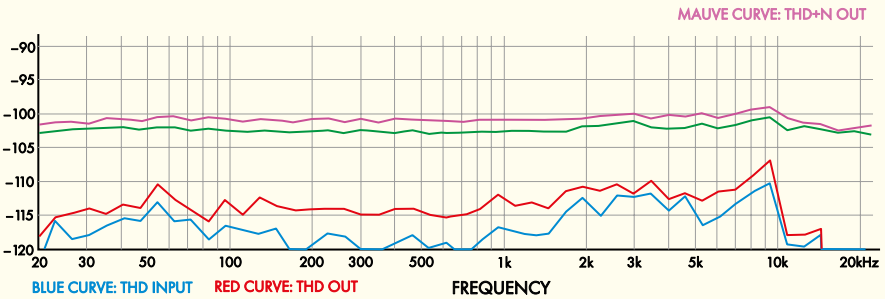
Programowanie IC1

Jeśli otrzymałeś IC1 od Silicon Chip, powinien być wstępnie zaprogramowany i gotowy do pracy. Jeśli używasz niezaprogramowanego mikrokontrolera, będziesz musiał zaprogramować go w układzie dla wersji SMD (chyba że masz gniazdo programowania SOIC). W przypadku wersji przewlekanej mikrokontroler może być programowany w układzie lub poza płytką przed zamontowaniem (lub nawet później, jeśli zamontowałeś podstawkę).

Jeśli mikrokontroler ma być programowany w układzie, usuń JP1 i podłącz programator, np. PICkit 4 lub programator

Czy warto kupować układy scalone PGA2311 na AliExpress?

Kupiliśmy kilka układów PGA2311 z AliExpress (www.aliexpress.com/item/1005003043805799.html). Zbudowaliśmy i zmierzyliśmy efektywność potencjometru cyfrowego przy użyciu jednego z nich i jak się okazało działał on poprawnie – patrz **rysunek 10**. Koszt 20,73 USD za pięć układów scalonych to dość atrakcyjna opcja!



Rysunek 10. Pomimo kosztu nieco ponad 4 USD za sztukę, płytka zbudowana z PGA2311UA którą otrzymaliśmy z AliExpress charakteryzowała się wyjątkowo niskimi zniekształceniami THD, podobnie jak płytki zbudowane z chipów od bardziej renomowanych dostawców

eprasa.pl ba02d99ec4

Wykaz elementów:
1 uniwersalny pilot zdalnego sterowania [Altronics A1012A]
1 enkoder obrotowy (RE1) [Altronics S3350 lub EN11-VNM1BF15 (Mouser)]
2 3-stykowe złącza z polaryzacją pionową, raster 2,54 mm (CON1, CON2) [Altronics P5493]
2 3-drożne spolaryzowane wtyczki z bolcami (dla sygnałów audio przez CON1, CON2) [Altronics P5473 + 3 × P5470A]
1 3-stykowe złącze JST, raster 2,54 mm (CON3) [Altronics P5743]
1 3-stykowa wtyczka typu JST, raster 2,54 mm (do zasilania przez CON3) [2 × Altronics P5743 + 6 × Altronics P5750]
1 2-stykowe złącze pionowe o rastrze 2,54 mm plus zworka (JP1)
1 TSOP4136 lub podobny odbiornik podczerwieni, SIL-3 (IRR1) [Altronics Z1611A, Jaycar ZD1953, Mouser 782-TSOP4136]

Dodatkowe elementy dla wersji SMD
1 dwustronna płytka z kodem 01101231, 25,5 mm × 36,5 mm
1 6-pinowe pionowe złącze SMD, raster 2,54 mm (CON4) (opcjonalnie; do ICSP, dioda LED sygnalizująca aktywność i/lub pracę wielokanałową) [Altronics P5435]*
1 8-bitowy mikrokontroler PIC16F15214-I/SN zaprogramowany kodem 0110123A.HEX, SOIC-8 (IC1)
1 Układ scalony cyfrowej regulacji głośności PGA2311, PGA2310, PGA2320 lub CS3310, szeroki SOIC-16 (IC2)
2 stabilizatory liniowe 78L05 +5 V 100 mA, TO-92 (REG1, REG2)
1 79L05 -5 V 100 mA stabilizator liniowy, TO-92 (REG3)
2 BAT54S 25 V 200 mA podwójne diody SMD Schottky, SOT-23 (D1, D2) [Altronics Y0075]
5 kondensatorów elektrolitycznych SMD 10 µF 35 V, 5,3 mm × 5,3 mm [Altronics R9442] lub
5 kondensatorów ceramicznych SMD 10 µF 35 V/50 V, X5R lub X7R, rozmiar M3216/1206
6 kondensatorów ceramicznych SMD 100 nF 50 V X7R, rozmiar M3216 [Altronics R9935]
1 rezystor SMD 10 kΩ, rozmiar M2012/0805 [Altronics R1148]

Dodatkowe elementy dla wersji przewlekanej
1 dwustronna płytka drukowana z kodem 01101232, 78,5 mm × 57 mm
1 6-stykowe złącze pionowe o rastrze 2,54 mm (CON4) (opcjonalnie; dla ICSP, diody LED sygnalizujące aktywność i/lub pracę wielokanałową)
1 8-pinowa podstawka DIL IC (opcjonalne; dla IC1, jeśli używana jest wersja DIP)
1 8-bitowy mikrokontroler PIC16F15214 zaprogramowany kodem 0110123A.HEX, DIP-8 lub SOIC-8 (IC1)
1 Układ scalony cyfrowego potencjometru PGA2311, PGA2310, PGA2320 lub CS3310, DIP-16 lub szeroki SOIC-16 (IC2)
2 stabilizatory liniowe 78L05 lub 7805 +5 V 100 mA/1A, TO-92 lub TO-220 (REG1, REG2)
1 79L05 lub 7905 -5 V 100 mA/1 A stabilizator liniowy, TO-92 lub TO-220 (REG3)
4 diody Schottky'ego BAT85 30 V 200 mA (D1a/b, D2a/b) [Altronics Z0044]
5 radialnych kondensatorów elektrolitycznych 10 µF 50 V o niskim ESR, 5 mm [Altronics R6067]
6 wielowarstwowych kondensatorów ceramicznych 100 nF 50 V X7R, 5 mm [Altronics R2931]
1 rezystor 10 kΩ ¼W
4 tuleje dystansowe z gwintem M3 (do montażu płytki drukowanej)
8 śrub z łbem walcowym M3 × 6 mm (do montażu płytki drukowanej)
4 podkładki przeciwwstrząsowe M3 (do montażu płytki drukowanej)

Opcjonalne elementy dla sygnalizacji aktywności (taka sama do każdej wersji)
1 dioda LED z ramką i szeregowym rezystorem ograniczającym prąd
1 cienki przewód ósemkowy, dostosowany do instalacji
1 3-stykowe, 4-stykowe lub 5-stykowe złącze żeńskie o rastrze 2,54 mm

* Większość złączy SMD, w tym Altronics Cat P5435, ma piny ułożone naprzemiennie po obu stronach złącza. Płytka PCB wymaga, aby wszystkie piny znajdowały się po jednej stronie. Zazwyczaj można to osiągnąć poprzez zatrzaśnięcie lub odcięcie 5-pinowej lub 6-pinowej odcinka złącza i obrócenie parzystych pinów o 180°

Snap, do CON4 z pinem 1 we właściwej pozycji. W przypadku PICkit 4 programator może zasilać mikrokontroler podczas programowania. W przypadku programatora Snap, prawdopodobnie podczas programowania najłatwiej jest dołączyć napięcie 12 V DC między pinami +VE i GND złącza zasilania CON3.

Korzystając z MPLAB IPE, wybierz właściwy układ (PIC16F15214), załaduj plik HEX (dostępny do pobrania ze strony internetowej Silicon Chip), włącz zasilanie z programatora, jeśli to konieczne, a następnie połącz się z układem i naciśnij przycisk programowania. Załadowanie oprogramowania układowego powinno zająć tylko kilka sekund, po czym pojawi się komunikat o powodzeniu (lub komunikat o błędzie, jeśli coś pójdzie nie tak).

Po odłączeniu programatora należy pamiętać o ponownym podłączeniu zworki JP1.

Zmiana kodu pilota zdalnego sterowania

Oprogramowanie może dekodować sygnały RC5 z dowolnym prawidłowym adresem telewizora lub „odbiornika". Oprogramowanie domyślnie ustawia telewizor przy pierwszym uruchomieniu i jeśli zmiana nie jest konieczna, nie trzeba nic robić.

Jeśli w pokoju znajduje się inny pilot do telewizora Philips i musisz użyć alternatywnego kodu, poniżej opisano jak ustawić Cyfrowy potencjometr, aby korzystał z kodów odbiornika Philips:

Ustawienie pilota za pomocą kodu TV:
1. Odłącz zasilanie od Cyfrowego potencjometru.
2. Zewrzyj styki 3 i 5 złącza CON4.
3. Podłącz zasilanie do Cyfrowego potencjometru.
4. Odczekaj kilka sekund
5. Odłącz zasilanie od Cyfrowego potencjometru.
6. Usuń połączenie między pinami 3 i 5 złącza CON4.

Aby skonfigurować pilota do obsługi kodu Philips Receiver (adres urządzenia „Receiver" w standardzie RC-5), wykonaj opisane wyżej czynności, z tą różnicą, że zworkę należy umieścić między pinami 3 i 4 złącza CON4.

W tym przypadku procedura jest taka sama dla wersji przewlekanej i SMD, ale jeśli nie zamontowałeś CON4, musisz to zrobić teraz. Należy pamiętać, że pin 1 tego złącza na płytce SMD znajduje się najbliżej mikrokontrolera PIC.

Rozwiązywanie problemów

Jeśli układ nie działa zgodnie z oczekiwaniami, sprawdź następujące elementy:
1. Czy na szynach +5 VD (styki IC2 1, 4 i 8) i +5 VA (styk IC2 12) występuje napięcie 5 V DC ±0,25 V?
   - Jeśli nie, sprawdź, czy nie nagrzewają się jakieś komponenty.
   - Upewnij się, że do wejścia dodatniego PCB dołączasz napięcie co najmniej 7 V DC.
   - Czy masz odpowiednie elementy dla REG1 i REG2, czy są prawidłowo zorientowane?
2. Czy układy IC1 i IC2 są prawidłowo przylutowane? Jeśli Twój telefon umożliwia wykonywanie zdjęć z bliska, zrób takie ujęcie. To zaskakujące, jak duże zbliżenie oferują niektóre smartfony.
3. Czy na liniach enkodera (styki 2 i 3 IC1) występują aktywne sygnały?
   - Jeśli masz oscyloskop, sprawdź piny 2 i 3 IC1 i zobacz, czy są utrzymywane na poziomie wyższym niż 3 V, pulsując do stanu niskiego podczas obracania enkodera. Jeśli nie, sprawdź, czy użyłeś odpowiedniego enkodera – istnieje oszałamiająca różnorodność enkoderów obrotowych. Zalecane części Altronics i Mouser zostały przetestowane pod kątem działania.
4. Włącz zasilanie płytki i monitoruj linię CS za pomocą oscyloskopu (IC1 pin 7). Po włączeniu mikrokontroler zapisuje dane do PGA2311 przez kilka sekund, aby zwiększyć głośność.
   - Jeśli obserwujesz ten sygnał, PIC działa i jest poprawnie zaprogramowany.
   - Jeśli nie masz oscyloskopu, uważnie obserwuj diodę LED w zaciemnionym pomieszczeniu po włączeniu zasilania. Po włączeniu zasilania dioda LED powinna świecić słabo przez sekundę lub dwie.
   - Jeśli linia CS pozostaje nieaktywna sprawdź zasilanie oraz to, czy mikrokontroler jest zaprogramowany. Można również monitorować linie SDI i SCLK (piny 5 i 6 IC1) pod kątem aktywności. Powinny być aktywne przez około pierwszą sekundę po włączeniu zasilania i po obróceniu enkodera.

eprasa.pl ba02d99ec4

Zestaw potencjometrów regulacji głośności

Dla tego projektu dostępne są dwa zestawy:
– Wersja SMD: SC6623 (60 USD)
– wersja z elementami przewlekanymi: SC6624 (70 USD)
Należy pamiętać, że ten drugi zestaw może być dostarczany z układem IC2 (PGA2311) w szerokiej obudowie SOIC-16 ze względu na ograniczoną dostępność odpowiedników przewlekanych.
Zestawy zawierają wszystkie istotne elementy z wykazu, z wyjątkiem uniwersalnego pilota zdalnego sterowania i dodatkowych elementów dla układu sygnalizującego aktywność.

5. Jeśli pilot na podczerwień nie działa:
   - Czy zainstalowałeś zworkę na JP1?
   - Czy umieściłeś TSOP4136 we właściwej lokalizacji?
   - Sprawdź za pomocą oscyloskopu sygnał na JP1 lub pinie 2 TSOP4136. Po naciśnięciu przycisków pilota powinna występować wyraźna aktywność.
   - Czy pilot został zaprogramowany odpowiednim kodem? Jeśli korzystasz z pilota uniwersalnego, prawdopodobnie będziesz musiał wypróbować kilka numerów konfiguracji pilota, aby działał. Zainstaluj diodę LED aktywności i obserwuj, czy miga. Oznacza to, że pilot przesyła działające kody.

Pamiętaj, że jeśli chcesz zaprogramować PIC na płytce, musisz zdjąć zworkę z JP1. Wiele układów TSOP4136 uniemożliwia zaprogramowanie PIC. Pamiętaj, aby ponownie założyć zworkę po zakończeniu programowania. ■

Phil Prosser

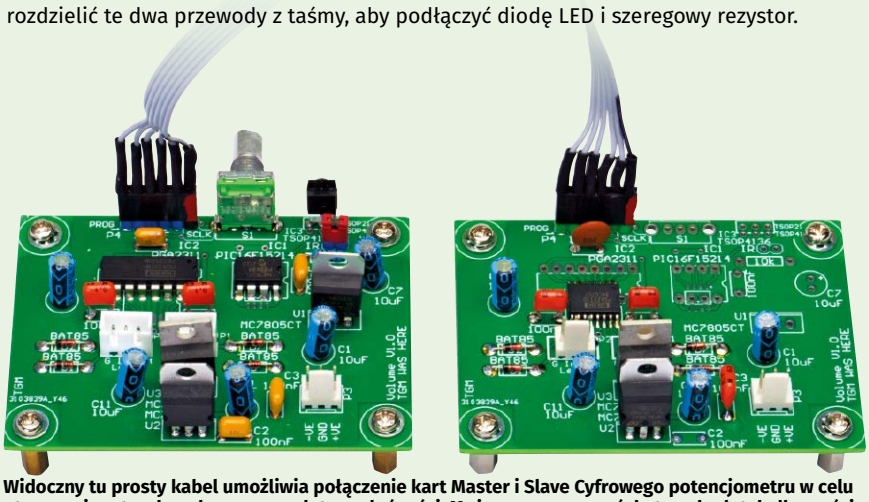
Materiały dodatkowe dostępne są na stronie Silicon Chip:
https://www.siliconchip.com.au/Shop/8/6621
https://www.siliconchip.com.au/Shop/8/6622

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

Łączenie wielu egzemplarzy dla więcej niż dwóch kanałów

Jedną z przydatnych cech tej konstrukcji Cyfrowego potencjometru jest możliwość uruchomienia jednej płytki jako master i jednej lub więcej jako slave. Pozwala to na ustawienie poziomu na czterech, sześciu lub więcej kanałach za pomocą jednego regulatora głośności lub pilota.
Jest to świetne rozwiązanie, jeśli tworzysz system kina domowego i chcesz korzystać z własnych wzmacniaczy. Jest to również wygodne, jeśli chcesz kontrolować poziomy wielu kanałów w systemie multiroom lub chcesz dostosować poziom wielu kanałów za pomocą jednego elementu sterującego.
Do tego zastosowania można użyć wersji przewlekanej lub SMD. Płytka nadrzędna (master) jest wyposażona we wszystkie elementy, natomiast na płytkach podrzędnych (slave) nie montuje się mikrokontrolera, enkodera obrotowego, odbiornika podczerwieni ani stabilizatora REG1 wraz z elementami towarzyszącymi.
Na wszystkich płytkach musi być zamontowane gniazdo do programowania, a co ważne, musi ono mieć sześć pinów zamiast pięciu. Złącze programowania należy przedłużyć o jeden pin, który trafia w pole lutownicze SCLK umieszczone na końcu gniazda CON4.
Następnie należy podłączyć równolegle kablem wszystkie sześciopinowe złącza programowania. To wszystko, co musisz zrobić! Należy jednak pamiętać o pominięciu mikrokontrolera PIC, REG1, odbiornika podczerwieni i enkodera na płytkach podrzędnych. W przeciwnym razie będą one kolidować z urządzeniem głównym.
Aby wykonać sześciożyłową taśmę łączącą płytki, można użyć dwóch gniazd szpilkowych Altronics P5380 (lub wyciąć dwie 6-pinowe sekcje z listwy P5390 lub podobnej). Połącz ze sobą piny od 1-1 do 6-6 za pomocą taśmy i zaizoluj połączenia lutowane za pomocą rurki termokurczliwej o średnicy 3 mm. Oznacz pin 1 na każdym końcu, aby przypadkowo ich nie zamienić! Mogłoby to spowodować uszkodzenie jednej lub więcej płytek.
Przetestowaliśmy takie połączenie przy użyciu 20 cm kabla taśmowego. Nie było żadnych problemów. Interfejs ten nie obsługuje szybkich danych, więc spodziewamy się, że w razie potrzeby można go nieco wydłużyć.
Można również użyć 12-żyłowej taśmy ze złączami IDC, pod warunkiem że 6-pinowe złącze zostanie podłączone do tych samych sześciu pinów w każdym 12-pinowym złączu. Może to być łatwiejsze, ponieważ zaciskanie wtyków IDC na taśmie zajmuje przy użyciu odpowiedniego narzędzia tylko kilka sekund.
Należy pamiętać, że nadal trzeba zapewnić zasilanie wszystkim płytkom (master i slave), ponieważ tylko cyfrowa szyna zasilająca 5 V jest przenoszona przez kabel połączeniowy. Będą one generować niezależne dzielone zasilanie analogowe.
Po wykonaniu połączeń zasilania i połączeniu gniazd programowania, wystarczy podłączyć wejścia i wyjścia audio do różnych kanałów, upewnić się, że zworka JP1 jest założona tylko na płycie głównej, a następnie włączyć zasilanie i przejść przez standardową procedurę testowania.
Należy pamiętać, że pin SCLK znajduje się na przeciwległych końcach gniazda programowania CON4 na płytkach w wersji dla komponentów SMD i przewlekanych, więc nie można mieszać różnych typów płytek (przynajmniej nie bez zmiany prowadzenia tego sygnału między nimi). Należy również pamiętać, że jeśli chcesz podłączyć diodę LED sygnalizującą aktywność IR do wielu połączonych potencjometrów cyfrowych, będziesz musiał rozdzielić te dwa przewody z taśmy, aby podłączyć diodę LED i szeregowy rezystor.



Widoczny tu prosty kabel umożliwia połączenie kart Master i Slave Cyfrowego potencjometru w celu utworzenia czterokanałowego regulatora głośności. Można go rozszerzyć do trzech płytek dla sześciu kanałów i tak dalej

eprasa.pl ba02d99ec4

Wynalazcy i ich wynalazki w elektronice, część 1

Kto kładł podwaliny współczesnej techniki? Dzisiejsze wynalazki, takie jak tranzystory, układy scalone i komunikacja bezprzewodowa, nie wzięły się z powietrza. W ciągu ostatnich kilkuset lat tysiące genialnych naukowców i wynalazców odkrywało najróżniejsze aspekty technologii elektronicznej, która umożliwiła powstanie cudów współczesnej techniki.

W ostatnich kilku latach na łamach Silicon Chip analizowaliśmy wiele aspektów historii współczesnej elektroniki, takich jak powstanie tranzystora, ewolucja baterii, produkcja układów scalonych, technologie wyświetlaczy i rozwój pamięci komputerowych (patrz *Inne artykuły na temat rozwoju elektroniki*).

Materiały te nie odzwierciedlają jednak pełnej historii, ponieważ zanim wszystkie te rzeczy powstały, trzeba było dokonać wielu ważnych odkryć. W niniejszej serii artykułów przyjrzymy się ludziom stojącym za tymi odkryciami. Przedstawieni tu wynalazcy i wynalazki tworzą bazę całej nowoczesnej elektroniki.

Możecie być, podobnie jak my, zaskoczeni, jak wcześnie niektóre zaawansowane koncepcje ujrzały światło dzienne. Wiele nowoczesnych urządzeń zostało wynalezionych zanim nadszedł na nie odpowiedni czas. W chwili wynalezienia nie znajdowały zwykle zastosowania. Dopiero później stawały się bardzo popularne.

Wielu z przedstawionych naukowców i inżynierów wniosło znacznie większy wkład niż jesteśmy tu w stanie opisać. W „tamtych czasach" powszechne było bycie polimatem (fachowcem multidyscyplinarnym). Skupimy się jedynie na tych obszarach odkryć i wynalazków, które są najbardziej istotne dla elektryczności i elektroniki.

Należy pamiętać, że często tę samą rzecz wynajdywało niezależnie kilka osób. Ci, którzy zdobyli największe uznanie, niekoniecznie byli tymi pierwszymi. Ponadto sporo wynalazków stanowi efekt pracy wielu ludzi. Autorstwa takich wynalazków nie da się przypisać jednej konkretnej osobie.

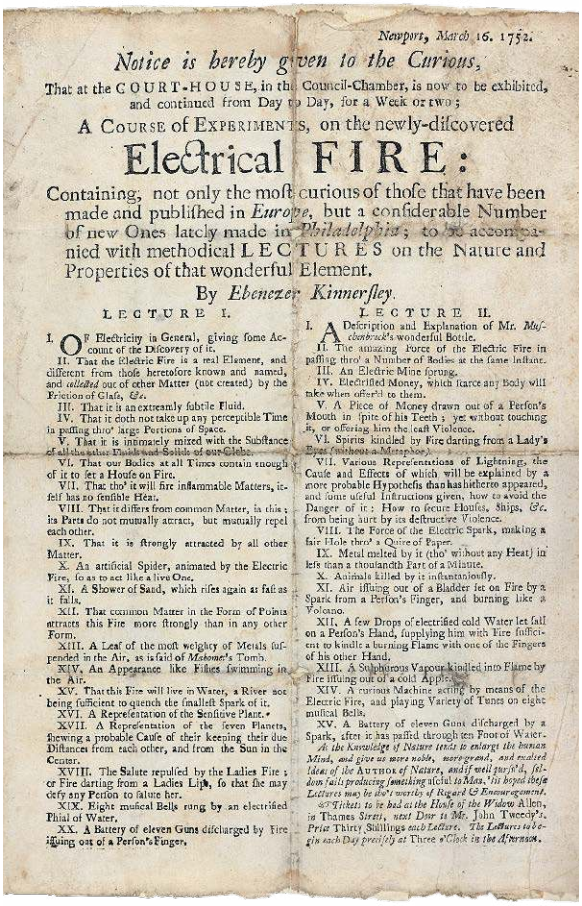
eprasa.pl ba02d99ec4

Staraliśmy się być tak wszechstronni, jak to tylko było możliwe. Są jednak wynalazki i wynalazcy, których nie byliśmy w stanie tutaj uwzględnić.

Niniejsza seria artykułów składa się z trzech części. W części pierwszej oraz w kolejnej, która ukaże się za miesiąc, zostaną szczegółowo omówieni, w kolejności dat urodzenia, różni wynalazcy indywidualni, będący zazwyczaj autorami wielu wynalazków w różnych momentach historycznych. Trzecia, ostatnia część obejmie głównie wynalazki przypisywane firmom lub innym organizacjom, na przykład uniwersytetom.

Staraliśmy się korzystać z wielu źródeł, aby daty były jak najdokładniejsze. W różnych źródłach daty często różnią się między sobą, czasem znacznie.

Przypis redaktora: w artykule terminami wynalazki i wynalazcy określa się również odkrycia i odkrywców.



Newport, March 16. 1752.

Notice is hereby given to the Curious,

That at the COURT-HOUSE, in the Council-Chamber, is now to be exhibited, and continued from Day to Day, for a Week or two;

A COURSE of EXPERIMENTS, on the newly-discovered

Electrical FIRE:

Containing; not only the most curious of those that have been made and published in *Europe*, but a considerable Number of new Ones lately made in *Philadelphia*; to be accompanied with methodical LECTURES on the Nature and Properties of that wonderful Element.

By *Ebenezer Kinnersley*.

LECTURE I.

I. OF Electricity in General, giving some Account of the Discovery of it.

II. That the Electric Fire is a real Element, and different from those heretofore known and named, and *collected* out of other Matter (not created) by the Friction of Glass, *&c.*

III. That it is an extreamly subtile Fluid.

IV. That it doth not take up any perceptible Time in passing thro' large Portions of Space.

V. That it is intimately mixed with the Substance of all the other Divided Solids of our Globe.

VI. That our Bodies at all Times contain enough of it to set a House on Fire.

VII. That tho' it will fire inflammable Matters, itself has no sensible Heat.

VIII. That it differs from common Matter, in this; its Parts do not mutually attract, but mutually repel each other.

IX. That it is strongly attracted by all other Matter.

X. An artificial Spider, animated by the Electric Fire, so as to act like a live One.

XI. A Shower of Sand, which rises again as fast as it falls.

XII. That common Matter in the Form of Points attracts this Fire more strongly than in any other Form.

XIII. A Leaf of the most weighty of Metals suspended in the Air, as is said of *Mahomet's* Tomb.

XIV. An Appearance like Fishes swimming in the Air.

XV. That this Fire will live in Water, a River not being sufficient to quench the smallest Spark of it.

XVI. A Representation of the Sensitive Plant.*

XVII. A Representation of the seven Planets, shewing a probable Cause of their keeping their due Distances from each other, and from the Sun in the Center.

XVIII. The Salute repulsed by the Ladies Fire; or Fire darting from a Ladies Lips, so that she may defy any Person to salute her.

XIX. Eight musical Bells rung by an electrified Phial of Water.

XX. A Battery of eleven Guns discharged by Fire issuing out of a Person's Finger.

LECTURE II.

I. A Description and Explanation of Mr. *Muschenbrock's* wonderful Bottle.

II. The amazing Force of the Electric Fire in passing thro' a Number of Bodies at the same Instant.

III. An Electric Mine forung.

IV. Electrified Money, which force any Body will take when offer'd to them.

V. A Piece of Money drawn out of a Person's Mouth in spite of his Teeth; yet without touching it, or offering him the least Violence.

VI. Spirits kindled by Fire darting from a Lady's Eyes (without a Metaphor).

VII. Various Representations of Lightnings, the Cause and Effects of which will be explained by a more probable Hypothesis than has hitherto appeared, and some useful Instructions given, how to avoid the Danger of it: How to secure Houses, Ships, *&c.* from being hurt by its destructive Violence.

VIII. The Force of the Electric Spark, making a fair Hole thro' a Quire of Paper.

IX. Metal melted by it (tho' without any Heat) in less than a thousandth Part of a Minute.

X. Animals killed by it instantaneously.

XI. Air issuing out of a Bladder let on Fire by a Spark from a Person's Finger, and burning like a Volcano.

XII. A few Drops of electrified cold Water let fall on a Person's Hand, supplying him with Fire sufficient to kindle a burning Flame with one of the Fingers of his other Hand.

XIII. A Sulphurous Vapour kindled into Flame by Fire issuing out of a cold Apple.

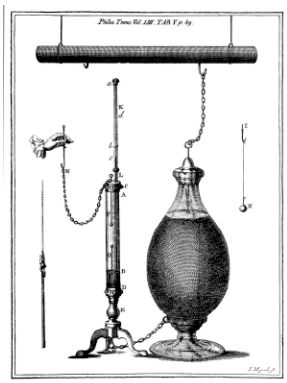
XIV. A curious Machine acting by means of the Electric Fire, and playing Variety of Tunes on eight musical Bells.

XV. A Battery of eleven Guns discharged by a Spark, after it has passed through ten Foot of Water.

As the Knowledge of Nature tends to enlarge the human Mind, and give us more noble, more grand, and exalted Ideas of the AUTHOR *of Nature, and if well pursu'd, seldom fails producing something useful to Mankind, 'tis hoped these Lectures may be tho't worthy of Regard & Encouragement.*

&c Tickets to be had at the House of the Widow Allen, in Thames Street, next Door to Mr. John Tweedy's. *Price* Thirty Shillings *each Lecture. The Lectures to begin each Day precisely at* Three *o'Clock in the Afternoon.*

Rysunek 1. Obwieszczenie o wykładzie Ebenezera Kinnersleya „Ogień elektryczny". Źródło: Biblioteka Uniwersytetu Browna (https://library.brown.edu/dps/curio/2013/05/)



Rysunek 2. „Elektryczny termometr powietrzny" Kinnersleya. Wykorzystywał wyładowania iskrowe do wypychania wody w górę rurki. Źródło: https://w.wiki/78sQ

Oto nasza lista wynalazców, uszeregowana według dat urodzenia (do 1847 r.):

Tales z Miletu, około 624 p.n.e. – około 546 p.n.e. elektryczność statyczna

Opisał wytwarzanie elektryczności statycznej poprzez pocieranie bursztynu, co powodowało przyciąganie piórek i innych lekkich materiałów. Zaobserwował również, że lodestone – rodzaj naturalnie namagnesowanego magnetytu – może przyciągać kawałki żelaza.

Teofrast, około 371 p.n.e. – około 287 p.n.e., piroelektryczność.

Mówi się o nim, że odkrył piroelektryczność – właściwość substancji sprawiająca, że po podgrzaniu staje się ona czasowo naładowana i przyciąga lekkie materiały, na przykład popiół, podobnie jak potarty bursztyn.

William Gilbert, 1544–1603, elektryczność

Ukuł termin „electricus", od którego pochodzi słowo elektryczność. Objaśniał również, iż działanie kompasu wynika z faktu, że Ziemia jest gigantycznym magnesem z żelaznym rdzeniem. W 1600 r. napisał książkę pod tytułem „De Magnete". Książkę tę można przeczytać na stronie www.gutenberg.org/ebooks/33810. Gilbert wynalazł również przyrząd, który wykrywał obecność ładunku elektrycznego – obecnie znany jako elektroskop.

Gilbert błędnie utrzymywał, że elektryczność i magnetyzm nie są ze sobą powiązane. Związek tych zjawisk wykazali później Hans Christian Ørsted i James Clerk Maxwell.

Otto von Guericke, 1602–1686, generator elektrostatyczny.

Wynalazł pierwszy generator elektrostatyczny – kulę z siarki, którą można było pocierać, nadając jej ładunek elektryczny umożliwiający przyciąganie i odpychanie ciał. Zainspirowało to innych badaczy do zbudowania kolejnych, bardziej zaawansowanych ciernych generatorów elektrostatycznych.

Christiaan Huygens. Wynalazł między innymi zegar wahadłowy. Źródło: https://w.wiki/7ATc

Christiaan Huygens, 1629–1695, falowa teoria światła.

W 1690 r. opracował falową teorię światła.

Francis Hauksbee Starszy, 1660–1713, zmodyfikowany generator elektrostatyczny

W 1705 r. zbudował zmodyfikowaną wersję generatora elektrostatycznego Ottona von Guericke – szklaną kulę z częściową próżnią, zawierającą rtęć. Wytwarzanie ładunku przez pocieranie powodowało świecenie w miejscu dotykania szkła. Wynalazek ten doprowadził znacznie później do powstania lampy wyładowczej, oświetlenia neonowego i lamp rtęciowych. Jego książkę „Eksperymenty fizyczno-mechaniczne" można przeczytać na stronie https://catalogue.nla.gov.au/catalog/3171279.

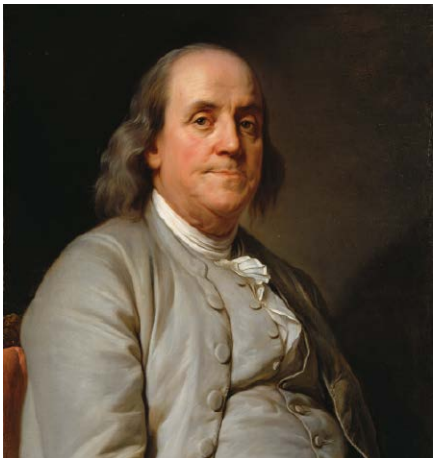
Johann George Schmidt, data nieznana, piroelektryczność.

Johann George Schmidt (data urodzenia i śmierci nieznana) w 1707 r. badał właściwości

Inne artykuły na temat rozwoju elektroniki

„All About Batteries"; styczeń-marzec 2022; www.siliconchip.au/Series/375
„The History of Transistors"; marzec-maj 2022; www.siliconchip.au/Series/378
„IC Fabrication"; czerwiec i lipiec 2022 r.; www.siliconchip.au/Series/382
„Display Technologies"; wrzesień i październik 2022 r.; www.siliconchip.au/Series/387
„Computer Memory"; styczeń i luty 2023 r.; www.siliconchip.au/Series/393

eprasa.pl ba02d99ec4



Benjamin Franklin. Był jednym z „Ojców Założycieli" Stanów Zjednoczonych Ameryki. Źródło: https://w.wiki/7ATw

minerału zwanego turmalinem, opisując zjawisko znane dziś jako piroelektryczność.

Stephen Gray, 1666–1736, przewodność elektryczna.

Odkrył zasady przewodnictwa elektrycznego. Wprowadził podział na przewodniki i izolatory. Dokonał również odkryć w dziedzinie indukcji elektrycznej – bezkontaktowego przekazywania ładunku elektrycznego z jednego obiektu do innego. Nie doczekał się wielkiego uznania za swoje odkrycia, choć niektórzy nazywają go dziś „ojcem elektryczności".

Pieter van Musschenbroek, 1692–1761, butelka lejdejska/kondensator.

Wraz ze swoim uczniem i współpracownikiem wynalazł w 1756 r. coś, co stało się znane jako „butelka lejdejska" – pierwszy kondensator. Służyła ona do przechowywania energii elektrycznej wytwarzanej przez cierne generatory elektrostatyczne. Składała się ze szklanego słoja wypełnionego wodą i mosiężnego pręta. Butelkę lejdejską można zrobić samemu: https://youtu.be/xjW-isgOijs oraz www.wikihow.com/Make-a-Leyden-Jar.

Ewald Georg von Kleist, 1700–1748, butelka Kleista.

W 1745 r. wynalazł odmianę butelki lejdejskiej.

Benjamin Franklin, 1706–1790, piorunochron, harmonika szklana i inne

W 1747 r. wprowadził podział ładunków na dodatnie i ujemne. W 1748 r. skonstruował wielopłytkowy kondensator z płytkami szklanymi i ołowianymi. W tym samym roku skonstruował „koło elektryczne" – rodzaj silnika elektrostatycznego, który kręcił się z prędkością 12–15 obrotów na minutę dzięki ładunkowi dostarczanemu przez butelkę lejdejską. W 1750 r. pokazał, że butelka lejdejska łatwiej się rozładowuje w obecności ostro zakończonego pręta, co doprowadziło do wynalezienia piorunochronów (patrz także: Kinnersley).

W 1752 r. podczas burzy wypuścił w niebo latawiec i poprzez przymocowany do niego mokry sznurek naładował butelkę lejdejską, udowadniając, że błyskawica jest zjawiskiem elektrycznym. Następni dwaj badacze, którzy próbowali tego dokonać, zostali porażeni prądem. W 1751 r. Franklin opublikował serię broszur na temat elektryczności (www.siliconchip.au/link/abnr).

Karol Linneusz, 1707–1778, piroelektryczność.

Był znany również jako Carl von Linné. W 1747 r. ustalił, że piroelektryczność to rodzaj elektryczności.

Ebenezer Kinnersley, 1711–1778, „ogień elektryczny"/elektryczność.

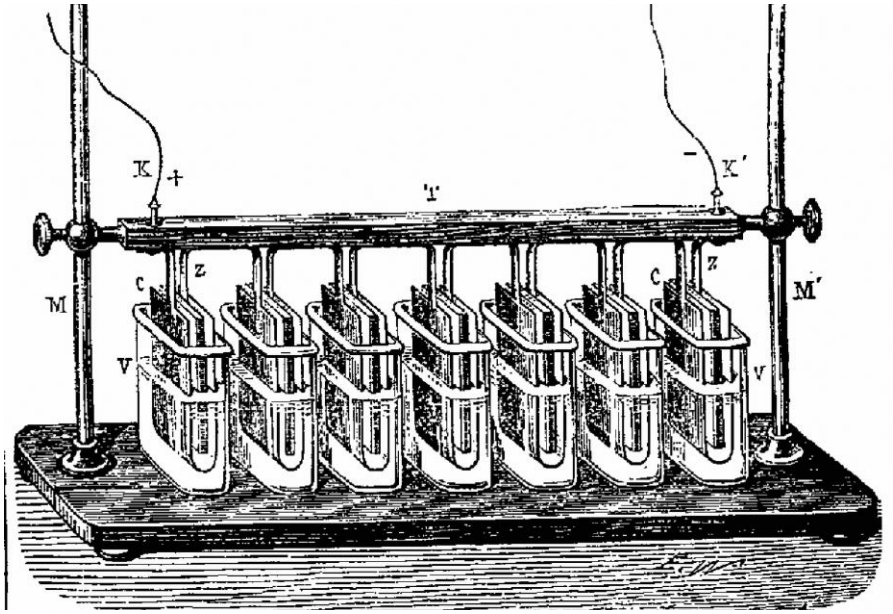
Przeprowadzał eksperymenty z „ogniem elektrycznym", jak wówczas nazywano elektryczność (**rysunek 1**). Benjamin Franklin opisywał go jako „genialnego sąsiada". W 1748 r. Kinnersley odkrył, że elektryczność przepływa przez wodę. W latach 1751-1752 prowadził wykłady na temat „ognia elektrycznego". W wykładzie z marca 1752 r. przedstawił konstrukcję piorunochronu do ochrony przed piorunami, jeszcze zanim Franklin przeprowadził swój eksperyment z latawcem. W 1761 r. napisał list do Franklina na temat „elektrycznego termometru powietrznego", a w 1763 r. opublikował jego szczegóły (**rysunek 2**).

Kinnersley wykazał, że elektryczność może wytwarzać ciepło. W 1761 r. wykorzystał energię elektryczną z butelki lejdejskiej do rozgrzania metalu, doprowadzając do jego rozżarzenia, czyli wytwarzania światła widzialnego. Eksperyment ten utorował drogę dla wynalazku żarówki. Zobacz „Expt. 11" w liście do Franklina (www.siliconchip.au/link/abp2). Instrukcje dotyczące wykonania „proof of concept" żarówki można znaleźć w serwisie Hackaday: www.siliconchip.au/link/abnk.

Andrew Gordon, 1712–1751, elektrostatyczny silnik odrzutowy.

Wynalazł „młynek elektryczny" (**rysunek 3**), opisany w 1745 r. (www.siliconchip.au/link/abnt). Był to elektrostatyczny silnik odrzutowy, demonstrowany również przez Benjamina Franklina w 1748 r. Silnik nie był w stanie wykonywać użytecznej pracy, lecz niektórzy uznają go za pierwszy silnik

Rysunek 3. „Młynek elektryczny" zbudowany na wzór wynalazku Andrew Gordona z 1745 r. Konstrukcja ta jest prezentowana na wydziale fizyki Uniwersytetu Washington and Lee. Źródło: http://physics.kenyon.edu/EarlyApparatus/Static_Electricity/Electric_Whirl/Electric_Whirl.html



Rysunek 4. Ulepszona bateria Wollastona z wymiennymi elektrodami. Źródło: https://w.wiki/78sR

eprasa.pl ba02d99ec4

elektryczny. Składał się ze swobodnie obracającego się krzyżaka o wygiętych pod kątem spiczastych końcach, ładowanego ze źródła napięcia. Zjonizowany gaz emitowany przez końcówki powodował obracanie się. Więcej szczegółów można znaleźć na stronie www.siliconchip.au/link/abn2.

Franz Aepinus, 1724–1802, elektryczność i magnetyzm.

Jako pierwszy opublikował traktat o elektryczności i magnetyzmie (zobacz jego książkę na stronie: www.siliconchip.au/link/abnu).

Johan Carl Wilcke, 1732–1796, elektrofor

W 1762 r. wynalazł „elektrofor" – przyrząd do wytwarzania elektryczności statycznej.

Luigi Galvani, 1737–1798, bioelektryczność

Zasłynął z odkrycia, że udka żaby drgają pod wpływem przepływu ładunku elektrycznego z naładowanej butelki lejdejskiej. Wywoływał również ruch żabich udek, używając dwóch różnych metali wytwarzających prąd (zasada działania baterii). Dla uhonorowania Galvaniego za pionierskie prace w dziedzinie bioelektryczności, wprowadzono na jego cześć terminy „galwaniczny" i „galwanizacja".

Charles Coulomb, 1737–1806, prawo Coulomba/ładunek elektryczny.

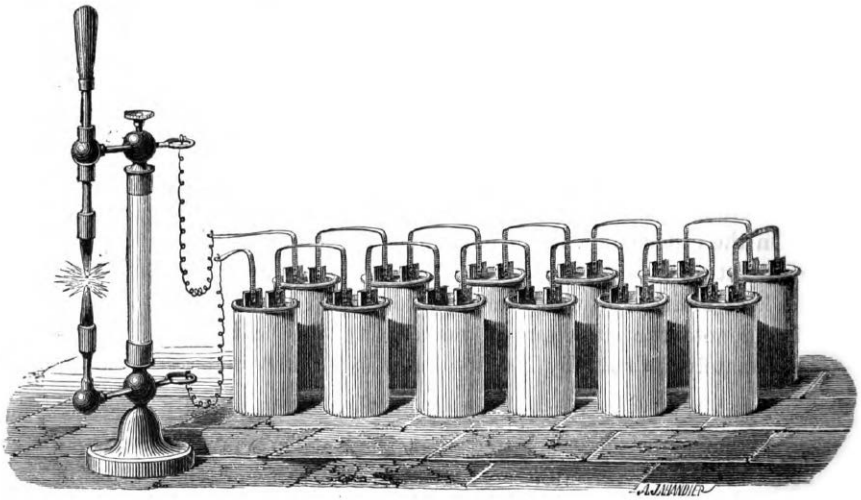
Wynalazł wagę skrętną umożliwiającą pomiar sił przyciągania/odpychania między naładowanymi lub namagnesowanymi ciałami. Prawo Coulomba mówi, że siła między dwoma naładowanymi elektrycznie ciałami jest proporcjonalna do wielkości ich ładunku elektrycznego i odwrotności kwadratu odległości między nimi. Prawo to było znane już wcześniej, ale jego nazwa pochodzi od nazwiska Coulomba, gdyż jako pierwszy opisał je w 1785 r. Innym hołdem dla uczonego jest kulomb (C) – nazwa jednostki ładunku elektrycznego.

Alessandro Volta, 1745–1827, bateria (stos woltaiczny).

W 1775 r. udoskonalił elektrofor. W 1800 r. wynalazł coś, co jest obecnie znane jako stos woltaiczny (bateria), wykonany z miedzi i cynku, wykorzystujący jako elektrolit słoną wodę lub kwas siarkowy. Uznawał wkład Williama Nicholsona, Tiberiusa Cavallo i Abrahama Benneta w swoje prace nad baterią. Na jego cześć nazwano jednostkę potencjału elektrycznego – wolt (V). Przez przypadek odkrył, że zwarcie stosu woltaicznego miedzianym drutem powoduje jego świecenie. Potwierdził tym samym zasadę działania żarówki.

Pierre-Simon Laplace, 1749–1827, Transformata Laplace'a.

W 1785 r. opracował tak zwaną transformatę Laplace'a. Jest ona używana do rozwiązywania równań różniczkowych, co czyni ją narzędziem niezbędnym do analizy obwodów elektrycznych.



Rysunek 5. Reprodukcja jednej z oryginalnych lamp łukowych Davy'ego. Autor: Augustin Privat Deschanel, 1878 r. Źródło: https://w.wiki/78sS

Wasilij Władimirowicz Pietrow, 1761–1834, spawanie łukiem elektrycznym.

W 1802 r. po zbudowaniu największego na świecie stosu woltaicznego, składającego się z 4200 dysków miedzianych i cynkowych, odkrył łuk elektryczny. W 1803 r. zaproponował kilka zastosowań łuku elektrycznego, takich jak oświetlenie, spawanie, obróbka metali itp.

William Hyde Wollaston, 1766–1828, elektryczność statyczna i indukcja elektromagnetyczna.

W 1801 r. wykazał, że elektryczność statyczna jest tym samym co elektryczność pochodząca ze stosów woltaicznych. Podobno „przypadkowo" odkrył indukcję elektromagnetyczną – na 10 lat przed Faradayem, który dokonał tego odkrycia w 1831 r. – i podejmował, co prawda nieudane, próby skonstruowania silnika elektrycznego. Zbudował ulepszony typ baterii miedziano-cynkowej, w której elektrody były wyjmowane z elektrolitu, gdy bateria nie była używana, co polepszało jej żywotność (**rysunek 4**).

John Dalton, 1766–1844, teoria atomistyczna – substancje.

Przyczynił się do rozwoju teorii atomistycznej, znacznie zwiększając wiedzę naukową na temat przewodników, izolatorów i półprzewodników.

Thomas Johann Seebeck, 1770–1831, termopara/stos termoelektryczny.

W 1822 r. odkrył, że w wyniku połączenia dwóch różnych metali powstaje prąd elektryczny. Jest to podstawa działania termopar, używanych do pomiaru temperatury, oraz stosów termoelektrycznych, które przekształcają ciepło w energię elektryczną (na przykład radioizotopowe generatory termoelektryczne w pojazdach kosmicznych).

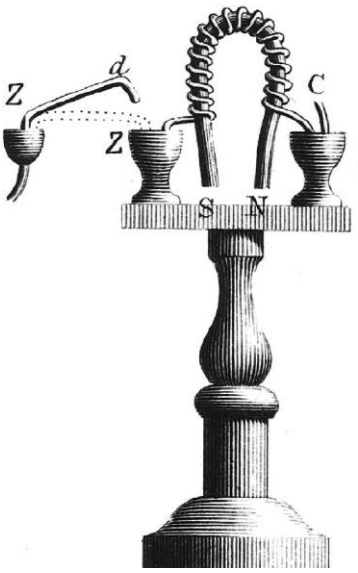
Thomas Young, 1773–1829, rozszerzona teoria falowa.

Rozwinął falową teorię światła (opisaną po raz pierwszy przez Huygensa), teorię widzenia i teorię kolorów.

André-Marie Ampère, 1775–1836, prawo Ampère'a, solenoid.

Postanowił znaleźć związek między elektrycznością a magnetyzmem. W 1820 r. Dominique François Jean Arago, przyjaciel Ampère'a, zademonstrował mu odkrycie Hansa Christiana Ørsteda: przewód przewodzący prąd odchyla igłę kompasu.

Ampère wykazał, że dwa równoległe przewody przewodzące prąd będą się przyciągać



Rysunek 6. Elektromagnes Williama Sturgeona. Źródło: https://w.wiki/78sT

eprasa.pl ba02d99ec4

lub odpychać w zależności od względnych kierunków prądu. Ustanowił również tak zwane prawo Ampère'a. Wynalazł solenoid. Wpadł też na pomysł telegrafu elektrycznego. Od jego nazwiska została nazwana jednostka prądu elektrycznego w układzie SI – amper (A). Zainspirowany przez Ørsteda, ustanowił również „regułę prawej ręki".

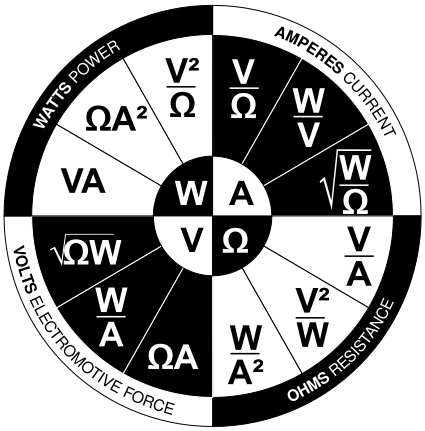
Carl Friedrich Gauss, 1777–1855, jonosfera, telegraf elektryczny.

W 1813 r. spopularyzował tak zwane „prawo Gaussa" (choć zostało ono odkryte przez Josepha Louisa Lagrange'a w 1762 r.). W 1839 r. postulował, że przewodzący elektryczność obszar atmosfery, znany obecnie jako jonosfera, odbija fale radiowe. Jego nazwiskiem została nazwana jednostka indukcji magnetycznej – gauss (G). Miał liczne osiągnięcia w wielu innych dziedzinach. Gauss jest uważany za największego matematyka wszech czasów; przypis redaktora. W 1833 r. współpracował z Wilhelmem Eduardem Weberem nad opracowaniem telegrafu elektrycznego.

Hans Christian Ørsted, 1777–1851, prawo Ørsteda i reguła prawej dłoni.

W 1820 r. odkrył, że igła kompasu odchyla się w pobliżu przewodu przewodzącego prąd. Ustalił tym samym, że prąd elektryczny wytwarza pole magnetyczne. Było to pierwsze odkrycie związku między elektrycznością a magnetyzmem. Ustanowił prawo Ørsteda, które mówi, że prąd elektryczny wytwarza wokół siebie pole magnetyczne. Doprowadziło to do powstania „reguły prawej dłoni", która opisuje związek między prądem elektrycznym a wytwarzanym przez niego polem magnetycznym. Na jego cześć nazwano jednostkę natężenia pola magnetycznego – ersted (Oe).

Sir Humphry Davy, 1778–1829, łukowa lampa węglowa.



Rysunek 7. Kalkulator kołowy do prawa Ohma. Źródło: https://w.wiki/78sV (CC-SA-3.0)

W roku 1802, 1805, 1807 albo 1809 (źródła różnie podają) wynalazł węglową lampę łukową (**rysunek 5**). Użył prętów węglowych i baterii o 2000 ogniwach do rozjarzenia łuku elektrycznego w szczelinie o szerokości 100 mm. Elektrody były pierwotnie poziome i łuk był wygięty, stąd wzięła się jego nazwa.

Lampy łukowe były szeroko stosowane w oświetleniu ulicznym i użytkowym od lat siedemdziesiątych XIX wieku aż do momentu ich zastąpienia na początku XX wieku przez oświetlenie żarowe (z wyjątkiem kilku obszarów zastosowań, jak reflektory i projektory filmowe).

Szpule filmowe miały zwykle długość 610 m, a czas trwania projekcji wynosił około 22 minut. Zbiegało się to w czasie z żywotnością prętów węglowych stosowanych w projektorach kinowych aż do lat 70. Operator kinowy wymieniał pręty węglowe w tym samym czasie, co szpulę.

W 1801 lub 1802 r. Davy podłączył kawałek platyny do baterii 2000 ogniw, co spowodowało jej świecenie. Było to podstawą późniejszych eksperymentów z oświetleniem żarowym.

Asystentem Davy'ego od 1813 do około 1815 r. był Michael Faraday. Później okazjonalnie mu pomagał, na przykład przy skonstruowaniu lampy bezpieczeństwa dla górników.

William Sturgeon, 1783–1850, elektromagnes.

W 1824 r. wynalazł elektromagnes (**rysunek 6**). Składał się on z 18 zwojów drutu miedzianego na lakierowanym żelaznym rdzeniu w kształcie litery U o długości 30 cm i średnicy 13 mm. Zasilany był baterią miedziano-cynkowo-kwasową. Kubki na rysunku zawierają rtęć realizującą połączenia elektryczne. Elektromagnes Sturgeona mógł utrzymać ciężar 4 kg.

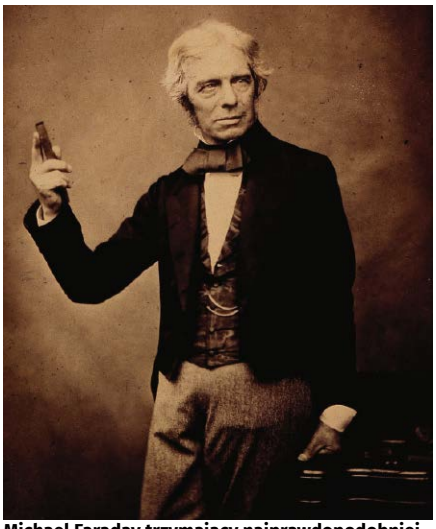
Samuel Hunter Christie, 1784–1865, „metoda diamentowa" (mostek Wheatstone'a).

W 1833 r. opublikował „diamentową metodę" porównywania rezystancji. Metoda ta stanowiła poprzedniczkę metody mostka Wheatstone'a.

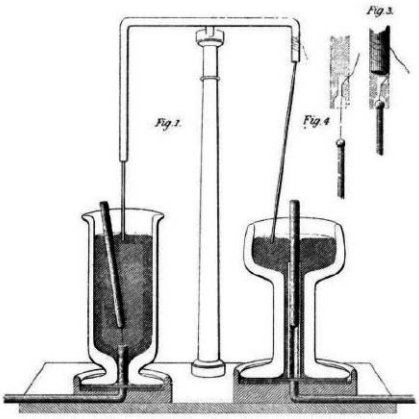
Baron Paweł Schilling, 1786–1837, telegraf Schillinga.

Przyczynił się do rozwoju telegrafii i kilku innych dziedzin. Jednym z jego wynalazków był rodzaj „telegrafu igłowego", który linią wieloprzewodową wysyłał dwójkowe kody liter.

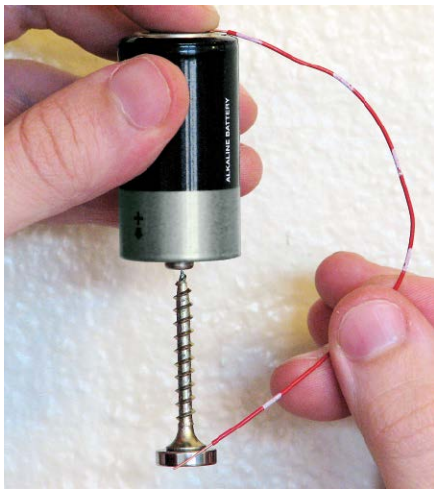
Pierwszy taki telegraf został zaprezentowany w 1828 r. Wykorzystywał on tylko dwa przewody, a do kodowania 40 liter używał innowacyjnego kodu binarnego o zmiennej długości. Kierunek przepływu prądu również dawał się zmieniać, więc dwa przewody mogły zadawać osiem różnych stanów. W 1832 r. Schilling zademonstrował kolejny przyrząd,



Michael Faraday trzymający najprawdopodobniej materiał ferromagnetyczny. Źródło: https://w.wiki/7AUi

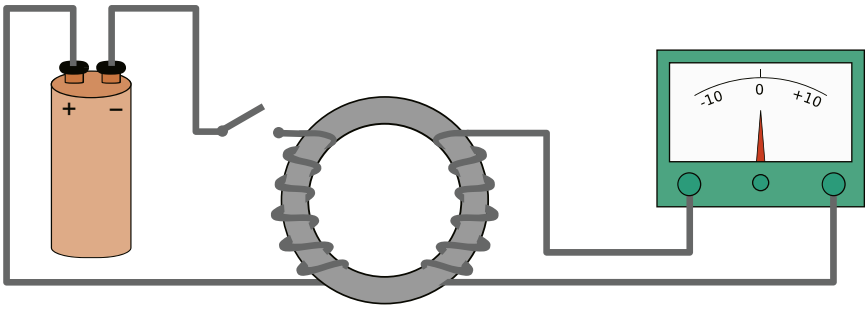


Rysunek 8. Dwie wersje „magnetycznego przyrządu rotującego" – pierwszego silnika. Po lewej: pręt magnetyczny na dole obraca się wokół środka naczynia. Po prawej: odcinek drutu na górze obraca się wokół magnesu umieszczonego w środku. Cieczą jest rtęć. Źródło: Michael Faraday

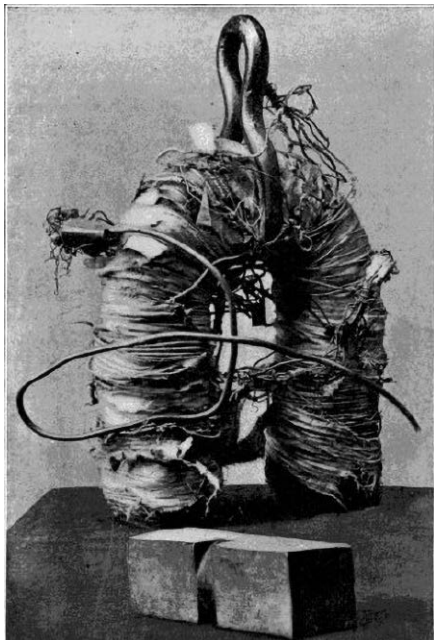


Rysunek 9. Prosty silnik homopolarny. Można go wykonać, używając baterii, kawałka drutu, magnesu neodymowego i stalowej śruby. Źródło: https://w.wiki/78sX (CC-BY-SA-2.5)

eprasa.pl ba02d99ec4



Rysunek 10. Urządzenie z żelaznym pierścieniem, używane przez Faradaya do badania indukcji elektromagnetycznej. Załączanie lewego obwodu powodowało chwilowy przepływ prądu w prawym obwodzie. Źródło: https://w.wiki/78sW



Rysunek 11. „Magnes siły" Josepha Henry'ego. Źródło: https://w.wiki/78sY

wykorzystujący do kodowania znaku sześć przewodów. Aby przesłać 40 różnych znaków, potrzebnych było sześć przewodów do kodu znaku, jeden do wywołania i jeden do informacji zwrotnej.

Schilling zarzucił prace nad projektem, ponieważ od 1825 r. car Rosji Mikołaj I sprzeciwiał się jakiejkolwiek formie masowej komunikacji i zakazał publicznego poruszania tematu telegrafii.

Dominique François Jean Arago, 1786–1853, prądy wirowe.

Prowadził eksperymenty z magnetyzmem, głównie w latach 1823-1826. W 1824 r. zaobserwował „prądy wirowe". „Wiry Arago" ukazywały interakcje między wirującym przewodnikiem niemagnetycznym, na przykład tarczą miedzianą, a ciałem namagnesowanym (igła kompasu czy magnes).

Sir Francis Ronalds, 1788–1873, telegraf elektryczny.

W 1816 r. zbudował pierwszy działający telegraf elektryczny. Praktyczne zastosowania nastąpiły dopiero dwie dekady później.

Georg Simon Ohm, 1789–1854, prawo Ohma.

W 1827 r. opublikował książkę „The Galvanic Circuit Investigated Mathematically" („Matematyczne badania układu galwanicznego") – patrz www.siliconchip.au/link/abp3. Przedstawił w niej swoją teorię elektryczności, w tym koncepcję rezystancji oraz prawo znane dziś jako „prawo Ohma" (**rysunek 7**). W 1825 r., wyprowadzając prawo Ohma, do utworzenia różnych rezystancji użył odcinków drutu o różnych długościach (10 cm, 41 cm, 183 cm, 315 cm i 762 cm). Można stwierdzić, że wynalazł rezystor, chociaż w tamtym czasie koncepcja rezystancji była już znana. Jego nazwiskiem została nazwana jednostka om (Ω).

Michael Faraday, 1791–1867, indukcja elektromagnetyczna.

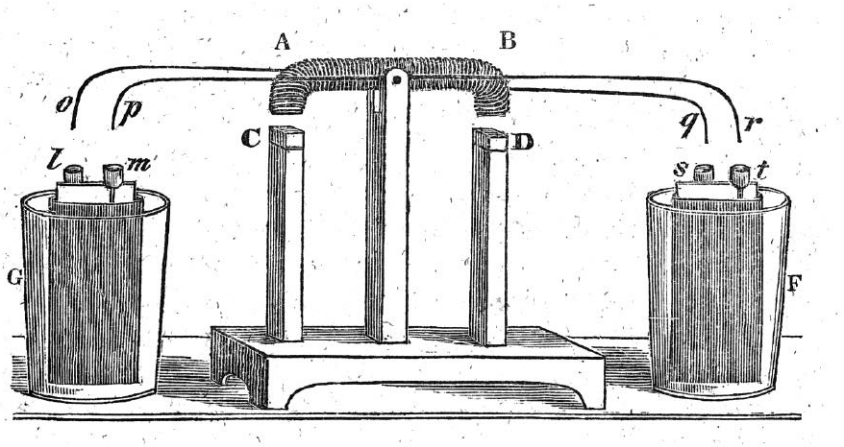
W 1821 r., wkrótce po odkryciu elektromagnetyzmu przez Ørsteda, zbudował urządzenie do wytwarzania ciągłej rotacji elektromagnetycznej, obecnie nazywane silnikiem homopolarnym (**rysunki 8** i **9**).

Na temat tego urządzenia Faraday dyskutował z Sir Humphrym Davym i Williamem Hyde Wollastonem, lecz nie uznał ich za współtwórców swojego wynalazku. Wywołało to szereg kontrowersji. Patrz www.siliconchip.au/link/abn4.

W 1831 r. Faraday odkrył indukcję elektromagnetyczną, wykazując, że zmiana pola magnetycznego w obwodzie elektrycznym indukuje siłę elektromotoryczną (SEM) (**rysunek 10**). Odkrycie to stanowi zasadę wytwarzania energii elektrycznej i doprowadziło do wynalezienia generatora elektrycznego i transformatora. W 1832 r. zjawisko to niezależnie odkrył Joseph Henry, ale Faraday opublikował je jako pierwszy.

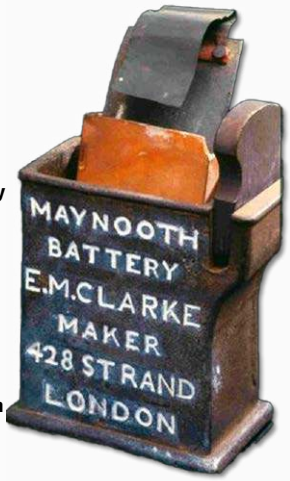
W 1833 r. opublikował „prawa elektrolizy Faradaya", wprowadzając takie terminy jak elektroda, anoda, katoda, elektrolit i jon. Zaobserwował, że rezystancja siarczku srebra

Joseph Henry w 1879 r. Źródło: https://w.wiki/7AU$

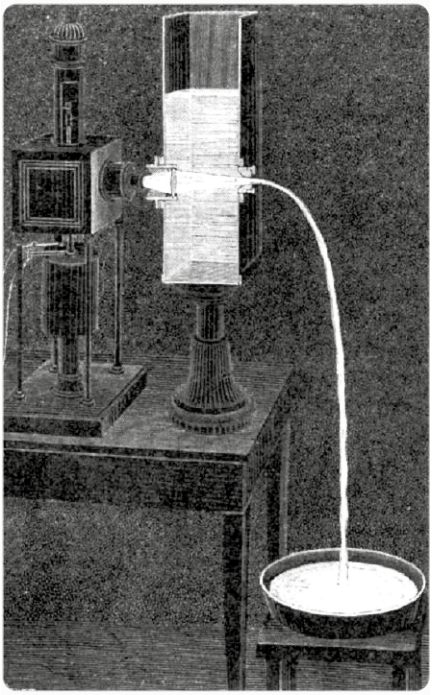


Rysunek 12. Silnik elektryczny Josepha Henry'ego z 1831 r. Belka wahała się wokół środkowej osi, a końce belki znajdowały się w jednej linii z magnesami trwałymi (rysunek 12). Podczas kołysania, elektrody uzwojenia stykały się z baterią na przemian na końcu G lub F, polaryzacja elektromagnesu ulegała cyklicznemu odwracaniu, a belka kołysała się to w jedną, to w drugą stronę. Źródło: https://siarchives.si.edu/collections/siris_sic_13161

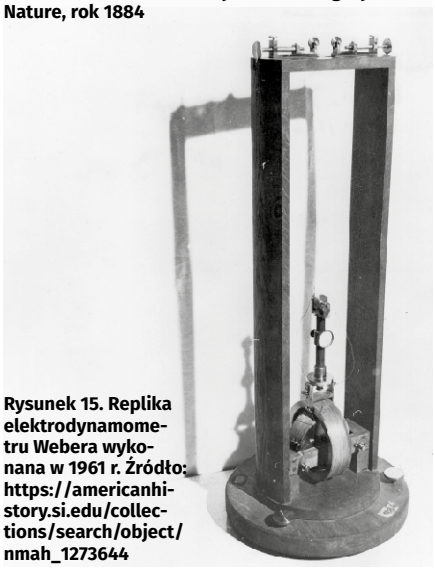
eprasa.pl ba02d99ec4



Rysunek 13. Bateria Maynooth. Z tyłu znajduje się płyta cynkowa, a przed nią porowaty ceramiczny pojemnik. Oba elementy znajdują się wewnątrz pojemnika żelaznego, który stanowi drugą płytę baterii. Źródło: Maynooth College Museum (www.siliconchip.au/link/abp7)



Rysunek 14. Eksperyment Jean-Daniela Colladona, demonstrujący całkowite wewnętrzne odbicie światła w strumieniu wody. Źródło: magazyn La Nature, rok 1884



Rysunek 15. Replika elektrodynamometru Webera wykonana w 1961 r. Źródło: https://americanhistory.si.edu/collections/search/object/nmah_1273644

maleje wraz ze wzrostem jego temperatury. Były to pierwsze badania materiału półprzewodnikowego o rezystancji silnie zależnej od temperatury, a więc prace, których owocem było powstanie dzisiejszego termistora.

Od jego nazwiska pochodzi nazwa jednostki pojemności – farad (F). Faraday wniósł również duży wkład w innych dziedzinach. Jego prace teoretyczne nad naturą pola elektromagnetycznego doprowadziły w fizyce do rozwoju teorii pola.

Samuel Morse, 1791–1872, alfabet Morse'a.

W 1840 r. opracował koncepcję telegrafu jednoprzewodowego i wynalazł „alfabet Morse'a" (udoskonalony później przez Alfreda Lewisa Vaila). Podczas opracowywania telegrafu Morse miał problem z ograniczonym zasięgiem, który rozwiązał z pomocą profesora Leonarda Gale'a, dodając układy przekaźnikowe.

W 1843 r. Morse'owi zlecono budowę 61-kilometrowej linii telegraficznej między Waszyngtonem a Baltimore, którą otwarto w 1844 r. Pierwszymi przesłanymi słowami były „What hath God wrought" („to, co Bóg uczyni" – fragment z biblijnej Księgi Liczb 23,23; przypis redaktora). Do 1850 r. w całych Stanach Zjednoczonych położono 19 300 km linii telegraficznych. Patent telegraficzny Morse'a z 1840 r. można zobaczyć na stronie www.siliconchip.au/link/abn6.

Dzisiejszy standard alfabetu Morse'a (nadal używanego przez krótkofalowców) został zdefiniowany w dokumencie ITU-R M.1677-1 i opiera się na pracy Friedricha Gerke z 1848 r., która w roku 1865 doprowadziła do powstania Międzynarodowego Alfabetu Morse'a.

Marcellin Jobard, 1792–1861, oświetlenie żarowe.

W 1838 r. zaproponował metodę oświetlenia żarowego zgodnie z cytatem z É.M. Alglave'a i J. Boularda: „mały pasek węgla w próżni, użyty jako przewodnik prądu, powinien emitować intensywne, stałe i trwałe światło". W 1844 r. uczeń Jobarda, Charles-François de Changy, rozpoczął prace nad rozwinięciem tego pomysłu.

Floris Nollet, 1794–1853, generator magneto.

W 1850 r. opatentował generator magnetoelektryczny do rozkładu wody w procesie elektrolizy. Wytworzony wodór i tlen były używane do systemu oświetlenia scenicznego zwanego limelight („oświetlenie wapienne"). Generator ten był również wykorzystywany do oświetlania łukiem elektrycznym i do galwanizacji. Prąd zmienny generowany przez maszynę był przekształcany w prąd stały w komutatorze.

Johann Poggendorff, 1796–1877, potencjometr suwakowy.

W 1841 r. wynalazł potencjometr suwakowy (rezystor zmienny). Około 1870 r. opracował również silnik elektrostatyczny.

Joseph Henry, 1799–1878, elektromagnes, indukcyjność wzajemna.

W 1827 r. ulepszono elektromagnes Sturgeona z 1824 r. Zamiast drutu nieizolowanego użyto drutu izolowanego jedwabiem, ciasno go nawijając (**rysunek 11**). Pozwoliło to wprowadzić wiele warstw uzwojenia i stworzyć silniejszy elektromagnes. Odkryto również samoindukcję i indukcyjność wzajemną.

W 1831 r. stworzył pierwszy na świecie komercyjny produkt elektryczny – potężny elektromagnes do oddzielania magnetytu od pokruszonej rudy (https://youtu.be/ru-daEOuUjs). Również w 1831 r. opracował pierwszy silnik elektryczny z ruchem kołyszącym, a nie obrotowym (**rysunek 12**).

Na jego cześć nazwano jednostkę indukcyjności – henry (H). Uważa się, że Henry odkrył zjawisko indukcyjności przed Faradayem. Faraday opublikował jednak wyniki swoich odkryć jako pierwszy.

Nicholas Joseph Callan, 1799–1864, cewka i akumulator Maynooth.

W 1836 r. wynalazł cewkę – rodzaj transformatora sterowanego tętniącym prądem stałym o częstotliwości około 20 Hz z wykorzystaniem przerywacza do włączania i wyłączania przepływu prądu. Heinrich Daniel Ruhmkorff, choć nie był jej wynalazcą, opatentował ją w 1851 r., a następnie wprowadził do użytku.

W 1848 r. Callan wprowadził na rynek największą wówczas baterię na świecie – „baterię Maynooth" (**rysunek 13**), wykonaną z żelaza i cynku, zawierającą 136 litrów kwasu i 577 pojedynczych ogniw. W tamtych czasach nie było sposobu na pomiar napięcia czy natężenia prądu, więc Callan, aby sprawdzić względną moc baterii, zmierzył udźwig dołączonego do niej elektromagnesu.

James Bowman Lindsay, 1799–1862, żarowa kula świetlna.

W 1835 r. wynalazł pierwszą żarówkę. Umożliwiła mu ona „czytanie książki z odległości pół metra". Nigdy jej nie opatentował i nie doczekał się za nią uznania. W 1845 r. twierdził, że telegrafia może funkcjonować przez wodę, również przez Atlantyk. Wprowadził łączenie kabli poprzez spawanie oraz „anodę protektorową" chroniącą przed korozją.

Frederick Collier Bakewell, 1800–1869, faks.

W 1851 r. zademonstrowano „telegraf obrazkowy", będący wczesną odmianą

eprasa.pl ba02d99ec4

faksu – udoskonalenie systemu Alexandra Baina. Działanie systemu polegało na rysowaniu tuszem izolacyjnym na metalowej folii. Folia była następnie zwijana w cylinder, a rysik odczytywał obszary przewodzące i izolujące, przekształcając je w sygnały do przesłania. Obraz był rekonstruowany na specjalnym papierze, dającym się barwić pod wpływem impulsów elektrycznych. Trudno było jednak utrzymać odpowiednią synchronizację po obu końcach linii. System nigdy nie wszedł do użytku.

Moritz Hermann, 1801–1874, prawo Jacobiego.

Był również znany jako Borys Siemienowicz (von) Jacobi. W 1838 r. wynalazł proces wytwarzania płyt drukarskich metodą galwaniczną. W 1839 r. zbudował 8,5-metrową łódź zasilaną bateriami, która przewoziła 14 pasażerów.

Badał silniki elektryczne i w 1840 r. opublikował twierdzenie o mocy maksymalnej (prawo Jacobiego), które mówi, że dla przeniesienia maksymalnej mocy rezystancja obciążenia musi być równa rezystancji źródła. W latach 1842–1845 pracował również nad rozwojem telegrafu elektrycznego.

Charles Wheatstone, 1802–1875, telegraf, mostek Wheatstone'a.

W 1834 r. przeprowadził eksperyment w celu określenia „prędkości elektryczności". Jego wynik był o około 50% za wysoki. W 1837 r. rozpoczął współpracę z Williamem Fothergillem Cooke'em nad telegrafem. W 1843 r. udoskonalił i rozpowszechnił „diamentową metodę" Samuela Huntera Christie, znaną obecnie jako „mostek Wheatstone'a".

Jean-Daniel Colladon, 1802–1893, całkowite wewnętrzne odbicie.

W 1842 r. zademonstrował całkowite wewnętrzne odbicie światła w spadającym strumieniu wody. Eksperyment ten można przeprowadzić w domu (**rysunek 14**). Jego prace umożliwiły późniejsze opracowanie światłowodów. Pomysł oryginalny wykorzystywano do oświetlania fontann wodnych, na przykład na Wystawie Światowej w Paryżu w 1889 r.

Frederick de Moleyns, 1804–1854, żarówka z żarnikiem platynowym.

W 1841 r. uzyskał pierwszy patent na żarówkę. Zastosował w niej żarnik platynowy, choć eksperymentował również z żarnikami węglowymi.

Emil Lenz, 1804–1865, prawo Lenza, ogrzewanie rezystancyjne, galwanizacja.

W 1834 r. sformułował „prawo Lenza", które określa kierunek prądu indukowanego przez pole magnetyczne. W 1842 r. odkrył niezależnie prawo Joule'a (prawo Joulesa-Lenza), które opisuje, w jaki sposób prąd elektryczny powoduje nagrzewanie się przewodnika (efekt znany jako ogrzewanie rezystancyjne lub omowe).

Wraz ze swoim przyjacielem Moritzem Hermannem brał udział w rozwoju galwanotechniki.

Louis Breguet, 1804–1883, telegraf Foy-Bregueta.

W 1842 r. opracował telegraf igłowy (telegraf Foy-Bregueta), używany na kolejach francuskich i w Japonii. W 1847 r. zaproponował użycie przewodów o małej średnicy do ochrony przewodów telegraficznych przed skutkami uderzeń piorunów. Był to poprzednik bezpiecznika.

Wilhelm Eduard Weber, 1804–1891, elektrodynamometr.

Wraz z Carlem Gaussem zbudował w 1831 r. pierwszy działający telegraf elektryczny o długości prawie 1,6 km. Weber opracował wiele precyzyjnych urządzeń do wykrywania i pomiaru prądów elektrycznych i pól magnetycznych, w tym do dokładnych pomiarów pola magnetycznego Ziemi.

Wynalazł również elektrodynamometr (rysunek 15) – urządzenie, które może mierzyć prąd, napięcie lub moc poprzez interakcję pól magnetycznych dwóch cewek. Urządzenie to zostało wykorzystane do eksperymentalnego potwierdzenia prawa siły Ampère'a. Jego nazwiskiem została nazwana jednostka strumienia magnetycznego w układzie SI – weber (Wb). Więcej informacji na temat tego uczonego można znaleźć na stronie: www.siliconchip.au/link/abn7.

Robert Davidson, 1804–1894, pociąg elektryczny.

W 1837 r. skonstruował pierwszą lokomotywę elektryczną, zasilaną ogniwami galwanicznymi. Następnie w 1842 r. zbudował pełnowymiarowy, choć mający tylko około 5 metrów długości, pociąg z napędem elektrycznym o nazwie „Galvani".

Edward Davy, 1806–1885, przekaźnik elektromagnetyczny.

W latach 1835–1838 pracował nad telegrafem elektrycznym i przez J. J. Fahie został uznany za współtwórcę telegrafu na równi z Cookem i Wheatstonem. W 1837 r. wynalazł przekaźnik elektromagnetyczny jako element swojego systemu telegraficznego – „odnawiacz elektryczny", jak go nazwał. W 1838 r. wyemigrował do Australii.

Duchenne de Boulogne, 1806–1875, elektrofizjologia.

Eksperymentował ze stymulacją elektryczną części ludzkiego ciała i jest uważany za pioniera elektrofizjologii. W 1855 r. po raz pierwszy opublikował swoją pracę na ten temat – „De l'electrisation localisée...". Książkę tę (francuski oryginał) można przeczytać na stronie www.siliconchip.au/link/abn8.

Alfred Lewis Vail, 1807–1859, ulepszenie alfabetu Morse'a.

W latach 1837–1844 wraz z Samuelem Morse'em był zaangażowany w rozpowszechnianie telegrafii. Udoskonalił alfabet Morse'a, upraszczając system alfabetyczny, ułatwiając jego dekodowanie, a także wprowadzając inne techniczne ulepszenia.

Antonio Meucci, 1808–1889, telefonia, mikrofon dynamiczny.

Według niektórych był wynalazcą telefonu. Z jego notatek wynika, że w 1856 r. stworzył urządzenie, które przekazywało głos przewodami z laboratorium w piwnicy do pokoju na piętrze jego nowojorskiego domu. W skład urządzenia wchodził rodzaj mikrofonu dynamicznego z cewką z drutu poruszającą się w polu magnetycznym pod wpływem drgań dźwiękowych.

W latach 1856–1870 opracował ponad 30 typów aparatów telefonicznych. W 1860 r. w Nowym Jorku publicznie zademonstrował swoje „teletrofono". W 1870 r. przesłał sygnały głosowe na odległość ponad 1,6 km.

W 1871 r. Meucci złożył zastrzeżenie patentowe w Urzędzie Patentowym USA. Dokument ten był zasadniczo jedynie powiadomieniem o zamiarze złożenia patentu. Meucci nie miał pieniędzy na złożenie wniosku patentowego. Gdyby taki wniosek złożył, uniemożliwiłoby to przyznanie patentu na telefon Alexandrowi Grahamowi Bellowi w 1876 r.

Hippolyte Pixii, 1808–1835, dynamo ręczne (generator elektryczny).

W 1832 r. wynalazł ręcznie sterowane dynamo, oparte o efekt indukcji elektromagnetycznej odkryty przez Michaela Faradaya. Rysunek 16 przedstawia dynamo wytwarzające prąd zmienny, gdy magnes stały w kształcie podkowy poruszał się obok dwóch żelaznych rdzeni. W tamtym czasie większość eksperymentów przeprowadzano z udziałem prądu stałego.

Wynalazek światła elektrycznego

Historia wynalezienia światła elektrycznego jest zbyt długa i skomplikowana, by omówić ją tu w całości. Zamieściliśmy jedynie najważniejsze informacje. Jeśli chcecie dowiedzieć się więcej, przeczytajcie książkę „The Invention of the Electric Light" („Wynalazek światła elektrycznego") autorstwa B.J.G. van der Kooij (236 stron). Można ją w wersji anglojęzycznej pobrać za darmo w formacie PDF ze strony www.siliconchip.au/link/abnh.

eprasa.pl ba02d99ec4

Kontrowersje wokół wynalezienia telefonu

Zapewne zauważyliście, jak wiele jest odniesień do osób, które dokonały wynalazków związanych z telefonami.
Kwestia tego, kto wynalazł telefon, była przedmiotem znacznych kontrowersji, w tym długotrwałego procesu sądowego w USA w latach 1878-1901, w którym uczestniczyli A. G. Bell, Thomas Alva Edison, Elisha Gray, Emil Berliner, Amos Dolbear, J. W. McDonagh, G. B. Richmond, W. L. Voelker, J. H. Irwin i Francis Blake Jr.
Sprawę tę ostatecznie wygrał Bell i jego Bell Telephone Company. Wygrał on łącznie 600 spraw sądowych związanych z wynalazkiem telefonu. Jedna z kontrowersji dotyczyła osoby Antonio Meucciego. Zobacz https://w.wiki/78sh.

Zgodnie z sugestią André-Marie Ampère'a, w celu wytworzenia pulsującego prądu stałego dodano później komutator odwracający kierunek prądu co pół obrotu.

William George Armstrong, 1810–1900, elektrownia wodna.

W 1870 r. zbudował pierwszą elektrownię wodną (**rysunek 17**). Była to elektrownia Burnfoot Power House w posiadłości Cragside w angielskim mieście Rothbury. Wykorzystywała dynamo Siemensa. Armstrong otrzymał tytuł barona.

Alexander Bain, 1810–1877, zegar elektryczny, telefaks.

W 1841 r. wraz z Johnem Barwise opatentował zegar elektryczny. Wahadło zegara było sterowane impulsami elektromagnetycznymi. Zegar jako źródło zasilania zawierał „baterię ziemną" wykonaną z dwóch rodzajów metali zakopanych w ziemi.

W 1843 r. opatentował również prototyp faksu – telegraf, który drukował wiadomości. Przesyłany obraz musiał być utworzony przez metalowe szpilki umieszczone na obracającym się cylindrze, więc nie było to rozwiązanie zbyt praktyczne.

W 1846 r. opatentował telegraf drukujący, który na ruchomej taśmie papierowej drukował alfabet Morse'a przy użyciu środków chemicznych, a nie mechanicznych. Opracował również system z dziurkowaną taśmą papierową do nagrywania informacji, które mogły być następnie szybko przesyłane. Systemem tym można było przesłać do 325 słów na minutę. Dla porównania – w systemie Morse'a tylko 40 słów na minutę. Samuel Morse zgłosił roszczenie o naruszenie patentu, a system nie wszedł do powszechnego użycia.

Frederick Hale Holmes, 1812–1875, generatory ciągłego prądu.

W 1853 r. opracował generatory do zasilania elektrycznego oświetlenia łukowego. W 1856 r. opatentował magnetoelektryczne źródło zasilania latarni morskich (**rysunek 18**).

Heinrich Geissler, 1814–1879, rurka Geisslera – wczesna forma oświetlenia neonowego.

W 1857 r. wynalazł „rurkę Geisslera" – szklaną rurkę częściowo wypełnioną gazem, z dwiema elektrodami, do których przykładano wysokie napięcie. Powodowało to emisję światła przez fluorescencję (**rysunek 19**). Technika ta stanowiła prototyp oświetlenia neonowego.

Warren De la Rue, 1815–1889, żarowa kula świetlna.

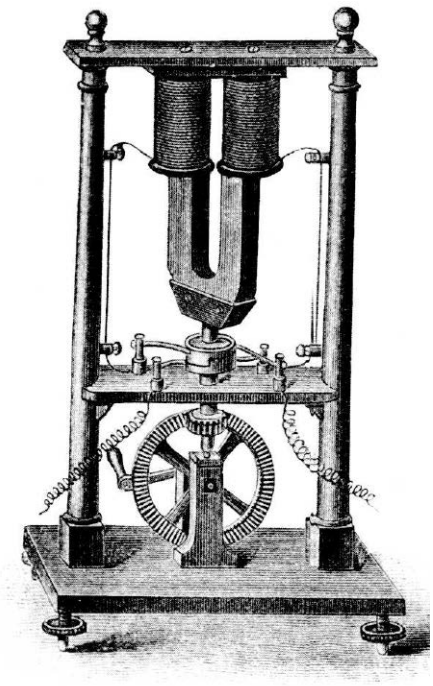
W 1840 r. umieścił platynowy drut w szklanej rurce, tworząc jedną z pierwszych żarówek.

Giovanni Caselli, 1815–1891, faks.

W 1861 r. wynalazł pierwszy użyteczny w praktyce faks. Urządzenie zwano „pantelegrafem" („pan" oznacza po grecku „wszystko"). Zdjęcie aparatu można zobaczyć na stronie: https://w.wiki/78ro.

Ernst Werner von Siemens, 1816–1892, telegraf wskazówkowy, głośnik, winda elektryczna i inne.

Wynalazł „telegraf wskazówkowy", w którym wiadomości były odbierane nie alfabetem Morse'a, lecz z pomocą igieł wskazujących litery. W 1847 r. założył firmę Telegraphen-Bauanstalt von Siemens & Halske, która zajmowała się produkcją telegrafów (https://youtu.be/v8DZuT5c2CI). Siemens AG jest innowacyjną firmą działającą do dziś.

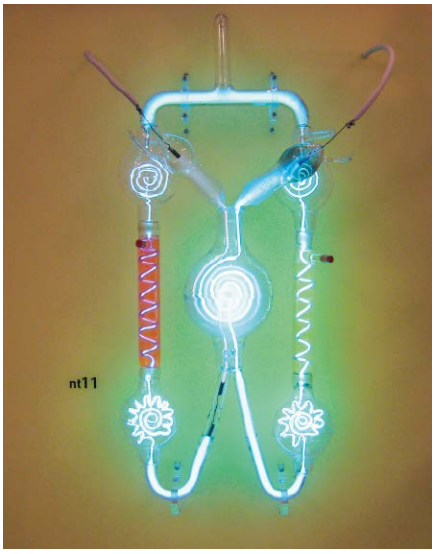


Rysunek 16. Dynamo Pixii. Wersja późniejsza, wytwarzająca pulsujący prąd stały dzięki komutatorowi umieszczonemu pod magnesem. Źródło: https://w.wiki/78sZ

Rysunek 17. Pierwsza elektrownia wodna w posiadłości prywatnej w Rothbury w Anglii. Źródło: https://w.wiki/78sa (CC-BY-SA-4.0)

eprasa.pl ba02d99ec4

Rysunek 18. Generator Fredericka Hale'a Holmesa używany w latarni morskiej Souter. Źródło: https://w.wiki/7A2K (CC-BY-SA-4.0)



Rysunek 19. Rura Geisslera jako dzieło sztuki nowoczesnej. Źródło: https://w.wiki/78sf (CC-BY-2.0)

Ernst Werner von Siemens. Wynalazł między innymi trolejbus, zasilany z napowietrznej linii elektrycznej. Źródło: https://w.wiki/7Arv

Rysunek 20. Forma wizualna nagrania z fonautografu, około 1859 r. Źródło: https://w.wiki/78sb

W 1874 r. Siemens otrzymał patent USA nr 149,797 na „urządzenie magnetoelektryczne" do „uzyskiwania mechanicznego ruchu cewki elektrycznej od przepływających przez nią prądów elektrycznych". Wynalazek ten posłużył do skonstruowania głośnika, choć nie do tego celu był pierwotnie przeznaczony.

W 1876 r. Alexander Bell otrzymał patent na telefon. Zawierał on głośnik z ruchomym rdzeniem żelaznym. Wkrótce potem, w 1877 r., Siemens otrzymał niemiecki patent nr 2355 na ulepszoną konstrukcję głośnika – z przetwornikiem z ruchomą cewką i membraną jako źródłem dźwięku. Został on zaadaptowany do użytku przez firmę Bell System przez A. L. Thurasa i E. C. Wente.

W 1880 r. Siemens zbudował pierwszą na świecie windę elektryczną. Jako pierwszy użył lateksu gutaperkowego jako izolacji kabli telegraficznych, co umożliwiło w 1866 r. budowę transatlantyckiego kabla telegraficznego. Wynalazł także dynamo o znaczeniu praktycznym oraz kolej elektryczną. Opracował proces galwanoplastyki, czyli powlekania tworzyw sztucznych złotem lub srebrem. Jego nazwiskiem nazwano jednostkę przewodności elektrycznej – siemens (S).

Scott de Martinville, 1817–1879, fonautograf.

W 1857 r. wynalazł pierwsze znane urządzenie do nagrywania dźwięku – „fonautograf" (**rysunek 20**). Nagrany dźwięk nie mógł być jednak odtwarzany.

W 2008 r. zapisy fal dźwiękowych fonautografu, pochodzące z 1860 r., zostały zdigitalizowane i przekształcone z powrotem w dźwięk. Stały się tym samym najwcześniejszym znanym zrozumiałym nagraniem ludzkiego głosu. Zostały wykonane na 28 lat przed nagraniami fonograficznymi na woskowym cylindrze Thomasa Edisona.

James Prescott Joule, 1818–1889, magnetostrykcja, nagrzewanie Joule'a.

Angielski fizyk zajmujący się termodynamiką. Stworzył koncepcję zachowania energii, wykazując, że ciepło, elektryczność i praca mechaniczna są wymienne. Odkrył związek między prądem, rezystancją i wytwarzaniem ciepła, co doprowadziło do powstania prawa Joule'a. Jego nazwisko dało nazwę jednostce energii – dżulowi (J).

Prowadził również prace w dziedzinie magnetostrykcji. W 1843 r. odkrył zależność między ciepłem rozpraszanym przez rezystor a przepływającym przez niego prądem. Wzrost temperatury rezystora spowodowane przepływem prądu stał się znany jako „nagrzewanie Joule'a".

Léon Foucault, 1819–1868, prądy wirowe.

Przypisuje mu się odkrycie w 1855 r. prądów wirowych („prądów Foucaulta"), choć po raz pierwszy zaobserwował je Dominique François Jean Arago (patrz wyżej).

Charles S. Bradley, 1819–1888, generator trójfazowy.

W 1887 r. zbudował w USA pierwszy generator trójfazowy.

Moses Gerrish Farmer, 1820–1893, telegrafia dupleksowa, lokomotywa elektryczna, żarówka.

Badał „prądy telluryczne" – prądy o małej częstotliwości, pochodzenia naturalnego lub sztucznego, przemieszczające się przez Ziemię.

W 1847 r. zademonstrował lokomotywę elektryczną, zasilaną baterią z kwasem azotowym, która ciągnęła po torach wagon z dwoma pasażerami. W 1857 r. przedstawił ulepszony elektryczny alarm przeciwpożarowy, skonstruowany pierwotnie przez Williama F. Channinga w 1849 r.

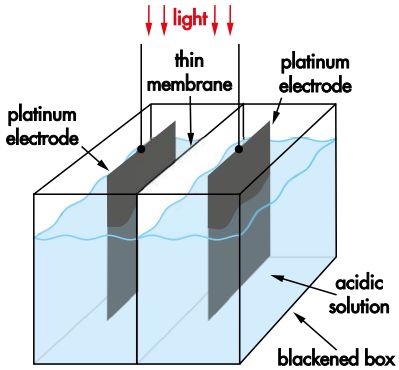
W 1852 r. skonstruował repeatery dla systemu telegraficznego, w 1853 r. opatentował metodę jednoczesnego przesyłania czterech wiadomości po jednej linii telegraficznej, a w 1859 r. współtworzył samowzbudne dynamo.

W 1859 r. Farmer wynalazł regulator prądu dla swoich lamp elektrycznych. Dynamo Wallace-Farmera o mocy 8 koni mechanicznych (6 kW) stosował Thomas Edison na pierwszych pokazach oświetlenia.

W 1859 r. zbudował żarową kulę świetlną, wykorzystującą, tak jak w konstrukcjach innych wynalazców, żarnik platynowy, i w lipcu 1859 r. oświetlił nią swój dom. Dom Farmera (a nie Josepha Swana, jak się zwykle

Rysunek 21. Generator elektryczny Woolricha – pierwszy generator energii do celów przemysłowych. Źródło: https://w.wiki/78sc (CC-BY-SA-4.0)

eprasa.pl ba02d99ec4



Rysunek 22. Pierwszy przyrząd fotowoltaiczny autorstwa Edmonda Becquerela. Źródło: www.pveducation.org/pvcdrom/manufacturing-si-cells/first-photovoltaic-devices

twierdzi) był pierwszym domem mieszkalnym oświetlonym światłem elektrycznym.

John Stephen Woolrich, 1820–1850, generator elektryczny Woolricha.

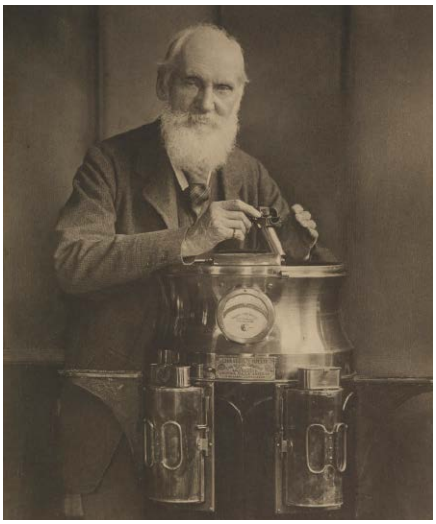
W 1844 r. zbudował swój generator elektryczny – pierwszy generator energii elektrycznej wykorzystywany w procesie galwanizacji przemysłowej (**rysunek 21**). Napięcie i natężenie prądu nie są znane.

Edmond Becquerel, 1820–1891, ogniwo fotowoltaiczne.

W 1839 r. wyprodukował pierwsze ogniwo fotowoltaiczne (**rysunek 22**). Przyrząd wytwarzał napięcie i prąd, kiedy kierowano na niego strumień światła. Efekt fotowoltaiczny jest obecnie nazywany efektem Becquerela.

John Wellington Starr, 1822–1846, żarówki z żarnikiem węglowym i platynowym.

W 1845 r. złożył patenty na dwa rodzaje żarówek – jeden oparty na żarniku węglowym, drugi na platynowym. Nigdy nie weszły one do masowej produkcji. Niemniej jednak patenty te są uważane za pierwszy ważny krok na drodze do powszechnego użycia oświetlenia elektrycznego. Postać Johna Starra ma dość bogatą historię z wieloma niejasnościami. Patrz www.siliconchip.au/link/abn9.



Lord Kelvin oparty o naktuz (szafkę kompasu okrętowego) i trzymający nawigacyjne lustro azymutalne. Źródło: https://w.wiki/7Arz

Hermann von Helmholtz, 1821–1894, rezonator i cewka Helmholtza.

W latach 1869–1871 badał rezonans elektryczny. Wynalazł „rezonator Helmholtza". Postrzegał mechanikę, ciepło, światło, elektryczność i magnetyzm jako przejaw jednej siły, a swoje pomysły opublikował w 1877 r. w książce „Über Die Erhaltung Der Kraft" („O zachowywaniu sił") – patrz www.siliconchip.au/link/abna.

Helmholtz wynalazł również „cewkę Helmholtza", składającą się z dwóch elektromagnesów ustawionych tak, aby utworzyć obszar o prawie jednorodnym polu magnetycznym.

„Rezonator Helmholtza" to zamknięty pojemnik z otworem, rezonujący przy określonej częstotliwości. Rezonatory takie są na przykład wbudowywane w układy wydechowe samochodów w celu wyeliminowania dźwięków o określonych częstotliwościach. Zjawisko rezonansu Helmholtza jest również przyczyną „dudnienia wiatru" przy pewnych prędkościach w samochodzie z otwartymi oknami. Film „Jak samemu zbudować rezonator Helmholtza" można znaleźć na stronie https://youtu.be/JUsyeBkNVEI.

Lord Kelvin, 1824–1907, pasmo przenoszenia, galwanometr lustrzany i inne.

Był znany również jako William Thomson. W 1855 r. opracował i opatentował system podmorskiego kabla telegraficznego, uzupełniony obliczeniami szybkości transmisji danych („szerokości pasma") możliwej do osiągnięcia w zależności od średnicy kabla i czystości miedzi. Telegraf Thomsona z kablem podmorskim mógł wysyłać jeden znak co 3,5 sekundy.

Lord Kelvin otrzymał również patenty na galwanometr lustrzany (1858) i „rejestrator syfonowy" do nagrywania wiadomości (1867).

Znacząco przyczynił się również do rozwoju termodynamiki. Od jego nazwiska pochodzi nazwa jednostki temperatury bezwzględnej – kelwin (K). Wynalazł „wagę Kelvina", która umożliwiła precyzyjne zdefiniowanie jednostki natężenia prądu (ampera).

Gustav Robert Kirchhoff, 1824–1887, prawa obwodów Kirchhoffa.

Wniósł znaczący wkład w dziedzinę obwodów elektrycznych, spektroskopię i zagadnienie emisji promieniowania ciała doskonale czarnego. Prawa obwodów Kirchhoffa z 1845 r. mają fundamentalne znaczenie dla elektrotechniki i fizyki. Pozwalają one dokonać analizy sieci elektrycznej w celu wyznaczenia prądów i napięć.

Zénobe Gramme, 1826–1901, maszyna Gramme (dynamo prądu stałego).

Około 1873 r. we współpracy z Hippolyte Fontaine zbudował i wyprodukował ulepszone dynamo prądu stałego („maszynę Gramme'a"), wytwarzające płynniejszy prąd stały i wyższe napięcia niż wcześniejsze generatory. Ta sama para wynalazców pracowała również nad innymi urządzeniami elektrycznymi.

W 1873 r. Gramme i Fontaine odkryli, że jeśli dynamo zostanie dołączone do stałego napięcia zasilania, będzie działać jako silnik elektryczny, znacznie mocniejszy niż jakiekolwiek inne znane silniki elektryczne, w tamtych czasach jeszcze nie nadające się do praktycznego zastosowania.

Willoughby Smith, 1828–1891, fotoprzewodnictwo.

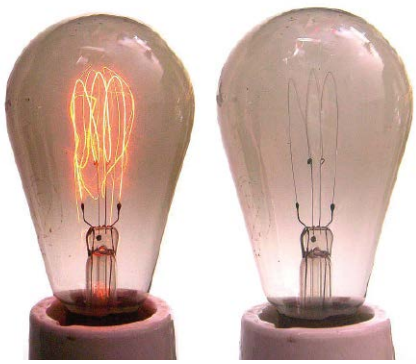
W 1873 r. odkrył w selenie fotoprzewodnictwo, polegające na tym, że materiał ten lepiej przewodzi prąd elektryczny pod wpływem światła.

Sir Joseph Wilson Swan, 1828–1914, pierwsza udana „kula świetlna".

W 1860 r. rozpoczął eksperymenty z żarówkami. Przeszkadzał mu w tym brak dobrej pompy próżniowej i odpowiedniego źródła zasilania. W latach 1878–1879 zademonstrował pierwsze światło żarowe z żarnikiem węglowym w bańce z próżnią i jest uważany za wynalazcę pierwszej udanej „kuli świetlnej" (**rysunek 23**).

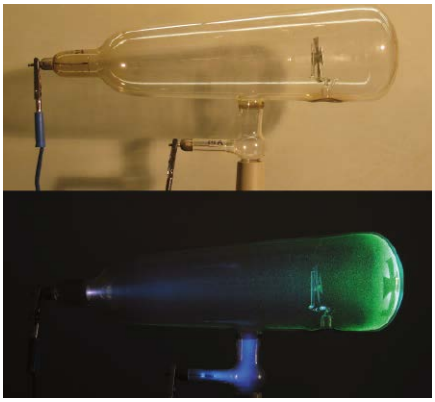
Jego dom był uważany za pierwszy dom z oświetleniem elektrycznym, choć najprawdopodobniej pierwszy był jednak dom Mosesa Gerrisha Farmera (patrz wyżej).

W 1881 r. Swan zainstalował 1200 kul świetlnych w Savoy Theatre w Londynie. Był to pierwszy budynek publiczny oświetlany w ten sposób. Kule były zasilane przez



Rysunek 23. Żarówki z żarnikiem węglowym wykazują efekt czernienia, spowodowany kondensacją odparowanego węgla na wewnętrznej powierzchni żarówki. Źródło: https://w.wiki/7As8

eprasa.pl ba02d99ec4



Rysunek 24. Lampa Crookesa – daleki pierwowzór kineskopu. Źródło: D-Kuru/Wikimedia Commons – https://w.wiki/7BiD

generator o mocy 88 kW. Kule świetlne niezależnie opracował również Thomas Edison, a obaj panowie w 1880 r. uzyskali patenty. Swan pozwał Edisona, co w końcu doprowadziło do utworzenia w 1883 r. w Wielkiej Brytanii spółki Edison & Swan United Electric Light Company („Ediswan"), zajmującej się wprowadzaniem tych wynalazków do użytku. Edison i Swan wdrożyli wynalazek „kuli świetlnej" do produkcji. Przed nimi pomysły na stworzenie takiego produktu miało jednak wielu wynalazców, począwszy od Volty.

David Edward Hughes, 1830–1900, telegraf drukujący, mikrofon

W 1855 r. opracował drukujący system telegraficzny. W 1878 r. opisał elektroniczne przetworniki dźwięku oparte na proszku węglowym, które nazywał „nadajnikami". Zostały opracowane na potrzeby ówczesnej telefonii. Hughes zademonstrował ich działanie, obalając tym samym pewną obowiązującą wówczas teorię. Wprowadził też termin „mikrofon".

Hughes wynalazł mikrofon, ale nigdy go nie opatentował, uważając, że owoc jego pracy powinien być dostępny dla wszystkich. W 1879 r. prawdopodobnie odkrył fale radiowe, zanim w latach 1887–1888 dokonał tego Heinrich Rudolf Hertz. Przypisywał jednak odkryte zjawisko indukcji elektromagnetycznej, a nie falom radiowym.

James Clerk Maxwell, 1831–1879, równania Maxwella.

Odkrył, że elektryczność, magnetyzm i światło są różnymi formami tego samego zjawiska. W latach 1861–1862 opracował „równania Maxwella", które stanowią podstawę teorii obwodów elektrycznych i światła. Wyjaśniają one zależności między polem elektrycznym a magnetycznym. Ich współczesną formę opracował Oliver Heaviside („równania Maxwella-Heaviside'a").

Prace Maxwella łączą wszystkie wcześniejsze obserwacje, eksperymenty i równania w spójną teorię elektromagnetyczną, kładąc podwaliny pod znaczną część fizyki XX wieku i doprowadzając do ery fizyki współczesnej. Przypis redaktora: wnioski płynące z równań Maxwella przyczyniły się w dużym stopniu do powstania teorii względności Einsteina.

Henry Woodward & Matthew Evans, żarowa kula świetlna.

W 1874 r. wspólnie uzyskali patent kanadyjski, a w 1876 r. patent USA nr 181,613 na żarową żarówkę z żarnikiem węglowym w osłonie wypełnionej azotem. Nie mieli wystarczających pieniędzy, aby rozwijać swój wynalazek, więc w 1879 r. sprzedali patenty Thomasowi Edisonowi.

Sir William Crookes, 1832–1919, lampa Crookesa – prototyp lampy rentgenowskiej.

Około 1869–1875 r. wynalazł „lampę Crookesa" (rysunek 24). Jest to częściowo opróżniona szklana rurka z anodą na jednym końcu i zimną katodą na drugim. Rurka ta wytwarza „promienie katodowe". Katoda emituje strumień elektronów, częściowo przesłonięty przez anodę. Jest to podstawa działania lamp rentgenowskich i kineskopów, jeszcze niedawno powszechnie stosowanych w telewizorach, monitorach komputerowych, wyświetlaczach radarowych i oscyloskopach. W niektórych kineskopach stosowano podgrzewane katody.

John Dixon Gibbs, 1834–1912, transformator mocy.

W 1881 r. wraz z Lucienem Gaulardem zademonstrował transformator mocy i w 1886 r. uzyskał na niego patent USA nr 351,589. Idea transformatora nie była nowa, ale konstrukcja Gibbsa jako pierwsza mogła obsługiwać moce stosowane w przemyśle.

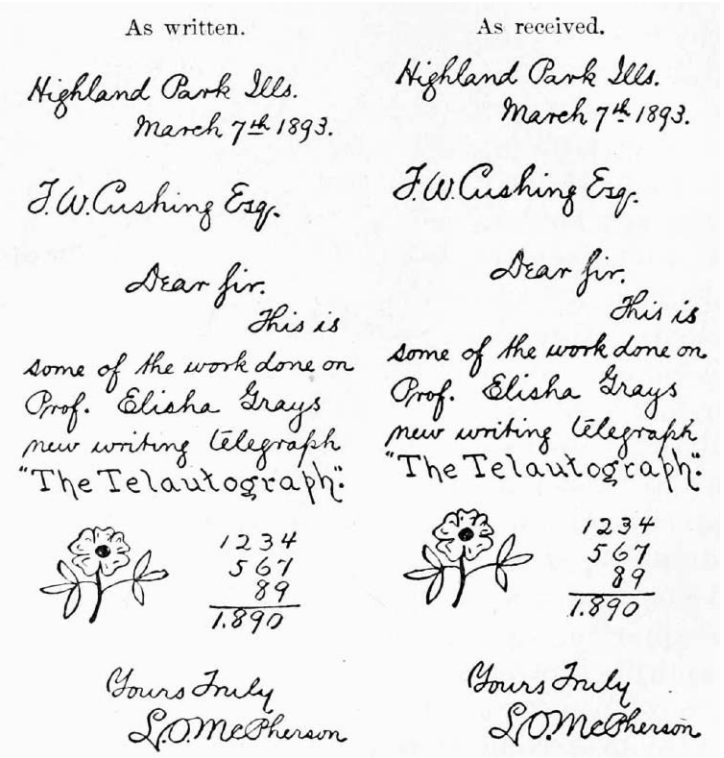
Johann Philipp Reis, 1834–1874, telefon, głośnik Reisa.

W 1861 r. skonstruował telefon o zasięgu 100 m (**rysunek 26**). Zawierał on mikrofon z membraną pergaminową. Drgania membrany zmieniały opór elektryczny między dwoma stykami, z których jeden był zanurzony w kropli rtęci.

Reis stworzył również głośnik, który odtwarzał dźwięk, choć bardzo słabo. Głośnik wykorzystywał zjawisko magnetostrykcji, czyli działał w oparciu o materiał ferromagnetyczny zmieniający swój kształt pod wpływem pola magnetycznego. Urządzenie Reisa nie było w stanie w sposób zrozumiały odtwarzać mowy, więc jego patent w wyniku sporu z Alexandrem Grahamem Bellem został anulowany.

Później jednak David Edward Hughes opisywał dobre wyniki prób telefonu Reisa. Około 1947 r. urządzenie zostało przetestowane przez brytyjską firmę STC, która potwierdziła, że telefon nadaje i odbiera sygnał mowy, choć działa zbyt cicho.

Patent został częściowo unieważniony z powodu błędu w opisie działania mikrofonu. Reis twierdził, że mikrofon działa poprzez przerywanie kontaktu elektrycznego,



As written.

Highland Park Ills.
March 7th 1893.

J. W. Cushing Esq.

Dear Sir.
This is
some of the work done on
Prof. Elisha Grays
new writing telegraph
"The Telautograph".

1234
567
89
1.890

Yours Truly
L. O. McPherson

As received.

Highland Park Ills.
March 7th 1893.

J. W. Cushing Esq.

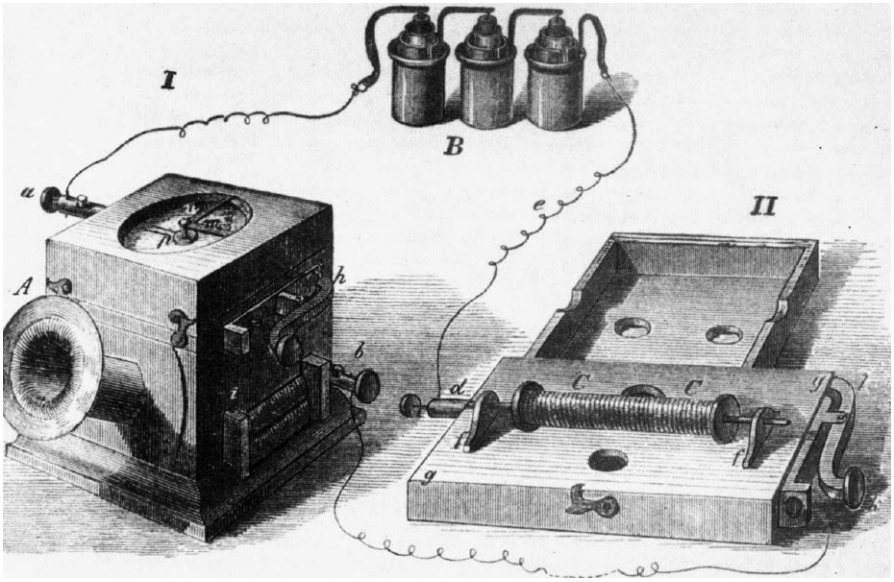
Dear Sir.
This is
some of the work done on
Prof. Elisha Grays
new writing telegraph
"The Telautograph".

1234
567
89
1.890

Yours Truly
L. O. McPherson

Rysunek 25. Pismo oryginalne oraz odebrana kopia z telautografu Elishy Graya. Źródło: Popular Science Monthly, tom 44, 1893–94

eprasa.pl ba02d99ec4



Rysunek 26. Telefon Reisa. Składał się z nadajnika (A) i odbiornika (C) ze szklaną kopułą, zasilanych baterią (B)

podczas gdy w rzeczywistości wykorzystywał on zmianę rezystancji.

Elisha Gray, 1835–1901, telegraf muzyczny, telefon i inne.

W 1872 r. wynalazł ulepszony telegraf drukujący (patent USA nr 132,907). Zbudował również w 1874 r. „telegraf muzyczny", który przesyłał pojedyncze tony muzyczne przez łącze telegraficzne (patent USA nr 173,618). Dźwięki wytwarzane były przez drgające stalowe stroiki sterowane elektromagnesami. Patrz film „Muzyczny telegraf Elishy Graya" na stronie https://youtu.be/YxxsTdjT7PA.

W 1876 r. Gray zbudował w sekrecie prototyp telefonu. Na krótko przed prawnikiem Graya do biura patentowego dotarł jednak prawnik Alexandra Grahama Bella. W ten sposób to Bell został uznany za wynalazcę telefonu. Kwestia, kto jest faktycznym wynalazcą, nadal jest przedmiotem gorących sporów. Natomiast Gray na pewno wynalazł jeden z pierwszych elektrycznych instrumentów muzycznych (**rysunek 27**).

Rysunek 27. „Muzyczny telegraf" Elishy Graya z 1876 r. Źródło: https://americanhistory.si.edu/collections/search/object/nmah_703475

W 1887 r. wynalazł „telautograf" – prototyp faksu – choć na sam pomysł urządzenia wpadł podobno już w 1874 r. Opatentował go w 1888 r. (patent USA nr 386,814). Tekst pisano odręcznie rysikiem przymocowanym do mechanizmu, który przesyłał współrzędne rysika do odbiornika przez dwuprzewodową linię telegraficzną (rysunek 25). System ten stał się bardzo popularny.

Działający telautograf można zobaczyć na filmie „Earth VS The Flying Saucers" („Ziemia kontra latające talerze") z 1956 r. na YouTube: https://youtu.be/JCdnv3AP0eM?t=3683.

William Grylls Adams, 1836–1915, wytwarzanie prądu elektrycznego z użyciem selenu.

W 1876 r. wraz ze swoim studentem Richardem Evanem Dayem odkrył, że złącze platyny i selenu wytwarza prąd.

Oberlin Smith, 1840–1926, rejestracja dźwięku.

W 1888 r. zaproponował metodę nagrywania dźwięku przy wykorzystaniu zjawisk magnetycznych. Nić, na przykład bawełniana, pokryta lub nasycona proszkiem magnetycznym, albo cienki drut stalowy, były namagnesowywane przez prąd zmienny pochodzący z mikrofonu.

Te same pomysły zostały wprowadzone przez Valdemara Poulsena (patrz wpis w przyszłym odcinku). Nie wiadomo jednak, czy Poulsen wiedział o pracach Smitha.

Sir Hiram Maxim, 1840–1916, lampy elektryczne.

Był znany z projektowania broni palnej, ale wniósł również znaczący wkład w rozwój oświetlenia elektrycznego, w tym ulepszonych metod karbonizacji i produkcji żarników do lamp elektrycznych.

John William Strutt, 1842–1919, rozpraszanie Rayleigha, falowody.

Był znany również jako Lord Rayleigh. W 1897 r. przeprowadził pierwszą teoretyczną analizę fal elektromagnetycznych rozchodzących się w metalowym cylindrze (falowodzie). Odkrył zjawisko znane obecnie jako „rozpraszanie Rayleigha" oraz dokonał całego szeregu innych odkryć.

Nikolay Benardos i Stanisław Olszewski, spawanie łukowe.

Wykorzystali łuk węglowy do rozgrzewania metali i wprowadzania ich w stan plastyczny. W 1881 r. zademonstrowali pierwszą praktyczną metodę spawania łukowego.

Édouard Branly, 1844–1940, koherer (detektor sygnału radiowego).

W 1890 r., w oparciu o prace Onestiego (w przyszłym odcinku), wynalazł „koherer" – pierwszy detektor sygnałów radiowych. Składał się on z opiłków żelaza w izolującej rurce z dwiema elektrodami.

Tivadar Puskás de Ditró, 1844–1893, centrala telefoniczna i multipleksowa.

W 1876 r. wynalazł centralę telefoniczną. Pierwszy jej egzemplarz został zbudowany w 1877 r. przez Bell Telephone Company. W 1887 r. skonstruował pierwszą centralę multipleksową, umożliwiającą sprawniejsze wykorzystanie łączy telefonicznych.

Augustus Floyd Delafield, 1845–1927, silnik homopolarny.

W 1883 r. otrzymał patent USA nr 278,516 na „maszynę dynamoelektryczną" opartą na konstrukcji silnika homopolarnego Faradaya. Jak działa taki silnik, pokazano na filmie „The Homopolar Generator" na stronie https://youtu.be/cQ5Ueouk_VY.

Słynny generator homopolarny zbudował na Uniwersytecie Narodowym Australii (ANU) sir Mark Oliphant. Generator ten był jednym z największych jakie kiedykolwiek zbudowano i mógł dostarczać prąd o natężeniu do 2 MA (megaamperów). Działał od 1962 do 1986 r. i został zaprojektowany do wytwarzania impulsów prądowych o bardzo wysokim natężeniu, między innymi do zastosowania w „railgunach" (działach elektromagnetycznych).

Wilhelm Conrad Röntgen, 1845–1923, zdjęcia rentgenowskie.

W 1895 r., gdy badał sprzęt do lamp próżniowych różnych producentów,

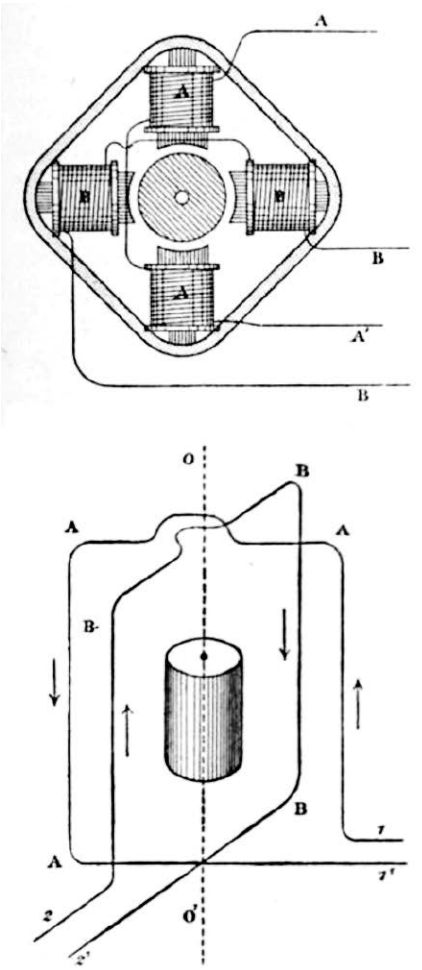
eprasa.pl ba02d99ec4

odkrył „promieniowanie rentgenowskie". Przeprowadzał eksperymenty z lampą Crookesa i przypadkowo miał w dłoni próbkę platynocyjanku baru, substancji chemicznej fosforyzującej w świetle ultrafioletowym. Kątem oka – który jest bardzo wrażliwy na światło – Röntgen zauważył, że próbka świeci.

Uczony stosował platynocyjanek baru do eksperymentów przeprowadzanych z „rurą z oknem" Lenarda – rurką Crookesa z wąskim okienkiem umożliwiającym wychodzenie elektronów na zewnątrz.

Aleksander Łodygin, 1847–1923, żarówka węglowa i metalowa.

Wynalazca ten, znany później jako Alexandre de Lodyguine, w 1872 r. uzyskał rosyjski i europejski patent na lampę z żarnikiem węglowym. W latach 90. XIX wieku wynalazł kilka lamp z żarnikiem metalowym i uzyskał amerykański patent nr 575,002 na lampę z żarnikiem wolframowym. W 1906 r. sprzedał patent firmie General Electric.



Rysunek 28. Pierwszy na świecie silnik na prąd zmienny firmy Ferraris z 1895 r. Źródło: https://w.wiki/78se

Pierwsze na świecie nagrania dźwiękowe

Kolekcja wczesnych nagrań dźwiękowych i powiązanych linków znajduje się pod www.siliconchip.au/link/abni.
Link www.siliconchip.au/link/abnj zawiera nagranie dokonane przez Alexandra Grahama Bella w 1885 r. Zostało ono odzyskane na drodze optycznej poprzez trójwymiarowe zobrazowanie rowków dysku woskowego.
Na stronie https://youtu.be/TESkh3hX5oM można obejrzeć film, ukazujący jak Autor przeszukał stare teksty w celu znalezienia pierwszych zapisów dźwiękowych i cyfrowo przetworzył je na oryginalne dźwięki.

Paweł Jabłoczkow, 1847–1894, węglowa lampa łukowa.

W 1876 r. wynalazł rodzaj węglowej lampy łukowej zwanej „świecą Jabłoczkowa". Była ona przeznaczona do jednorazowego użytku i działała przez około dwie godziny. Wymagała mocnego źródła zasilania, wytwarzała brzęczący dźwięk, emitowała promienie ultrafioletowe i tlenek węgla, stanowiła też zagrożenie pożarowe.

Do zasilania swoich lamp Jabłoczkow wynalazł rodzaj transformatora opartego na zjawisku indukcji elektromagnetycznej odkrytym przez Faradaya. Transformator dostarczał do lamp wymaganego napięcia zmiennego. Użycie transformatora do uzyskiwania różnych napięć stało się później podstawą systemów dystrybucji energii elektrycznej.

Galileo Ferraris, 1847–1897, alternator wielofazowy, silnik indukcyjny.

W 1885 r. pracował nad wirującymi polami magnetycznymi. Takie pola mogą być wytwarzane przez wielofazowy prąd przemienny płynący przez układ cewek lub przez prąd jednofazowy z kilkoma uzwojeniami ułożonymi w określony sposób.

Jego prace doprowadziły do opracowania alternatora wielofazowego. Faktycznie był to silnik prądu przemiennego, ale działający w przeciwną stronę. Wynalazł też pierwszy (**rysunek 28**) silnik indukcyjny, ale nie opatentował go. Swoje badania nad silnikami opublikował w 1888 r., zaledwie na dwa miesiące przed tym, jak patent na takie silniki uzyskał Nikola Tesla.

Wynalezienie alternatora wielofazowego było kluczowym wydarzeniem w historii elektryfikacji.

Alessandro Cruto, 1847–1908, żarniki kuliste z grafitu o wysokiej czystości.

W 1880 r. zaczął eksperymentować ze świecącymi żarnikami. Opracował proces wytwarzania żarnika grafitowego o wysokiej czystości, który zademonstrował na wystawie elektrycznej w Monachium w 1882 r.

Żarnik ten był wydajniejszy niż ten używany w bańce Edisona i wytwarzał światło nie żółte, jak u Edisona, lecz białe. Ponadto żarnik ten działał przez 500 godzin, podczas gdy w żarówce Edisona tylko przez 40 godzin.

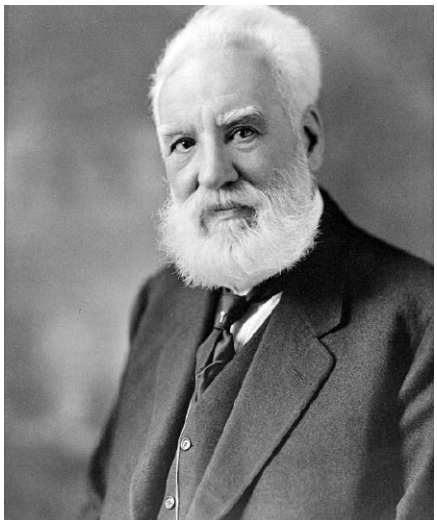
Cruto założył fabrykę w Alpigano we Włoszech, produkując tam 1000 żarówek dziennie. W wyniku różnych nieporozumień zrezygnował z pracy w fabryce. Po wielu zmianach fabryka została w 1927 r. przejęta przez firmę Philips.

Alexander Graham Bell, 1847–1922, telefon, fotofon i inne.

Bell jest najbardziej znany ze swoich prac nad rozwojem telefonii. W 1875 r. opracował telegraf akustyczny do wysyłania wielu wiadomości telegraficznych po jednej linii, wykorzystujący tak zwaną metodę multipleksowania. W 1876 r. zgłosił patent USA nr 174,465 na telefon, o włos wyprzedzając Elisha Graya (o czym wspominaliśmy wcześniej).

Bell zaledwie trzy dni po tym, jak uzyskał patent, sprawił, że jego „instrument" (jak go nazywał) mógł transmitować głos. Użył „płynnego nadajnika" (mikrofonu) zaprojektowanego przez Graya. Słynne pierwsze słowa Bella wypowiedziane przez telefon do jego asystenta, Thomasa Watsona, brzmiały: „Panie Watson, proszę tu przyjść, chcę się z panem zobaczyć".

Bell, pomimo że jest znany z wynalezienia telefonu, uważał, że jego największym osiągnięciem był skonstruowany w 1880 r. „fotofon". Umożliwiał on transmisję głosu poprzez modulowaną wiązkę światła. W jednym



Alexander Bell. Był współzałożycielem firmy AT&T. Źródło: https://w.wiki/7AsL

eprasa.pl ba02d99ec4

Żarówka Edisona w osłonie klatkowej. Źródło: https://w.wiki/7AsG

Replika pierwszego piętra laboratorium Edisona w Menlo Park. Źródło: https://w.wiki/7AsR. Patrz także: dwuczęściowa seria na temat Edisona, Silicon Chip wrzesień i październik 2006; www.siliconchip.au/Series/79

z eksperymentów wiązka z fotofonu pokonała 213 m.

Fotofon został wynaleziony wspólnie z asystentem Bella, Charlesem Sumnerem Tainterem. Nie znalazł realnego zastosowania aż do czasu wynalezienia lasera (1960) i światłowodu (1965), używanych dziś do transmisji informacji na drodze optycznej.

Thomas Alva Edison, 1847–1931, mikrofon, telegrafia akustyczna, bezpiecznik i inne.

Edison był niezwykle płodnym wynalazcą i przedsiębiorcą.

W 1873 r. zademonstrował efekt zmiennej rezystancji proszku węglowego przy zmianach ciśnienia i zbudował oparty na tym pomyśle „reostat", ale porzucił projekt z powodu wrażliwości reostatu na wibracje. W telegrafii, dla której był pomyślany, element ten okazał się bezużyteczny. Przydał się za to później w mikrofonach z proszkiem węglowym, z którymi Edison eksperymentował w 1876 r.

W 1875 r. przeprowadzał doświadczenia w zakresie „telegrafii akustycznej", jak nazywano multipleksowanie informacji w liniach telegraficznych, otrzymując w 1876 r. amerykański patent nr 182,996.

W 1877 r. złożył wnioski patentowe nr 474,230, 474,231 i 474,232 na „mówiący telegraf". Patenty te przyznano mu w 1892 r. Przyznanie patentów trwało tak długo ze względu na konkurencyjne roszczenia Alexandra Grahama Bella, Emile'a Berlinera, Elishy Graya, Amosa Dolbeara, J.W. McDonagha, G. B. Richmonda, W. L. W. Voekera, J. H. Irwina, Francisa Blake'a Jr i innych wynalazców.

W 1877 r. wynalazł fonograf. Urządzenie nagrywało dźwięk na folii cynowej. Zapis mógł być użyty tylko kilka razy. Mimo to Edison zyskał dzięki temu wynalazkowi sławę. W 1878 r. zademonstrował urządzenie w Waszyngtonie i został uznany za geniusza. Na zasadę działania fonografu otrzymał amerykańskie patenty nr 200,521 i 227,679 odpowiednio w 1878 i 1880 r.

W 1878 r. założył Edison Electric Light Company i powiedział: „Sprawimy, że elektryczność będzie tak tania, że tylko bogaci będą używać świec". W 1879 r. złożył wniosek patentowy, a w 1880 r. otrzymał patent nr 223,898 na „lampę elektryczną". W 1880 r. założył Edison Illuminating Company, spółkę zajmującą się dystrybucją energii elektrycznej w Nowym Jorku, a w 1882 r. otworzył Pearl Street Station – pierwszą w Stanach Zjednoczonych elektrownię (600 kW, 110 V napięcia stałego).

W latach osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych XIX wieku toczyła się „wojna prądów" – debata na temat tego, czy systemy dystrybucji energii elektrycznej powinny rozprowadzać prąd stały czy zmienny. Edison był zwolennikiem prądu stałego i uważał prąd zmienny za niebezpieczny, a jego szerokie wykorzystanie za niewykonalne. Przypis redaktora: adwersarzem Edisona na tym polu był George Westinghouse, lansujący system prądu zmiennego. Ostatecznie, jak wiemy, zwyciężył prąd zmienny, między innymi dzięki możliwości łatwego podwyższania napięcia w transformatorach, co umożliwia przesyłanie go na duże odległości przy małych stratach. Osoba Westinghouse'a będzie jeszcze wymieniana w drugiej części artykułu.

W 1890 r. Edison wynalazł bezpiecznik – nieodzowny element zabezpieczający każdego systemu dystrybucji energii elektrycznej.

Za miesiąc

To wszystko, co udało nam się zmieścić w tym numerze. Wrócimy do tematu w drugiej części artykułu, uzupełniając naszą chronologiczną listę wynalazców. ■

dr David Maddison

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

REKLAMA

eprasa.pl ba02d99ec4

Ekscytacje Maxa

Migające diody LED i śliniący się inżynierowie (30)

Jestem wielkim fanem nieżyjącego już autora science fiction Douglasa Adamsa. Oprócz „Autostopem przez galaktykę" bardzo lubię jego opowieści o DirkuEntly, który sam siebie nazywa „detektywem holistycznym" i wykorzystuje „fundamentalną zależność wzajemną wszystkiego". Wspominam o tym tutaj, ponieważ obecnie sam doświadczam wielu „fundamentalnych zależności" – trochę nie w porę, ponieważ nie przygotowałem przemówienia i nie mam nic odpowiedniego do założenia na siebie.

Przyszłość pełna robotów

Jak zapewne wiecie z poprzednich artykułów (a mam nadzieję, że wiecie), przez ostatnie kilka miesięcy moja skromna osoba oraz mój przyjaciel Steve Manley pracowaliśmy razem nad animatroniczną głową robota. Tak naprawdę większość żmudnej pracy wykonał Steve, ja natomiast skupiałem się na wyrażaniu głupawych sugestii (lubię wykorzystywać swoje mocne strony). W rezultacie spędziłem dużo czasu myśląc o takich rzeczach jak roboty, silniki i czujniki.

Moja żona (Gina Wspaniała) często pyta mnie, ile czasu minie, zanim będziemy mogli kupić robota, który pomoże jej w pracach domowych. Obawiam się, że żona ogląda wraz ze mną zbyt wiele filmów science fiction, ponieważ wyobraża sobie humanoidalną postać, która będzie w stanie wykonywać takie czynności jak kucanie, podnoszenie z podłogi różnych przedmiotów i kładzenie ich na miejsce, napełnianie i opróżnianie zmywarki, pralki i suszarki (włączając prasowanie i składanie ubrań), podlewanie kwiatów w doniczkach i w koszyczkach na gankach przed i za domem czy wreszcie towarzyszenie jej w sklepie spożywczym, gdzie może powiedzieć coś w stylu „weź dla mnie dwie duże puszki krojonych pomidorów i spotkajmy się przy ladzie mięsnej" i tak dalej.

Nie chcąc budzić w małżonce nierealistycznych nadziei, mówiłem jej, że minie sporo czasu, zanim coś takiego się wydarzy. W głębi serca obawiam się, że możemy nie dożyć tego momentu. Ale jednocześnie, po niedawnym obejrzeniu postapokaliptycznego thrillera science fiction „Mother Android" (https://bit.ly/3N3r8tz) obawiam się również, że będziemy żyć wystarczająco długo, by pożałować, że chcieliśmy żyć wystarczająco długo, aby to zobaczyć (naprawdę, lepiej nie zaglądać do tego, co żartobliwie nazywam moim umysłem).

Przykład: niezwykle inteligentne humanoidalne roboty z Boston Dynamics, które potrafią tańczyć (https://bit.ly/3y2cezp) i uprawiać gimnastykę (https://bit.ly/3OpPkXY). Są jednak na razie jedynie bardzo drogimi prototypami i mogą sobie na nie pozwolić tylko wielkie korporacje i zamożne państwa.

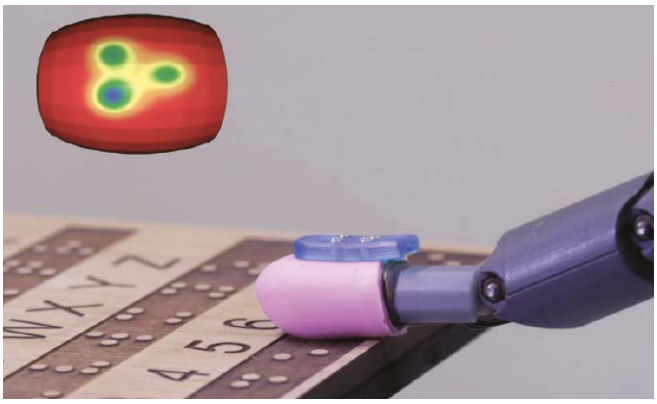
Mimo to w ciągu ostatnich tygodni widziałem kilka rzeczy, które skłaniają mnie do przekonania, że przyszłość pełna robotów może być bliższa niż nam się wydaje.

Roboty, silniki i czujniki – o rany!

Jak się dobrze zastanowić, to wciąż słyszymy doniesienia o najnowszych i najlepszych czujnikach wizyjnych i akustycznych, dającym maszynom zdolność widzenia i słyszenia. Maszyny potrafią już wykrywać i rozpoznawać obiekty, mają też zdolność rozpoznawania dźwięków takich jak tłuczone szkło, a także rozumienia i reagowania na naturalną mowę ludzką. Pojawiają się również rozwiązania w zakresie czujników smaku i węchu, które pozwolą automatom wykrywać i identyfikować smaki i zapachy. Mniej mówi się jednak o czujnikach, które zapewnią maszynom zmysł dotyku – ale to również może się wkrótce zmienić.

Na przykład właśnie przeczytałem interesujący artykuł w Science Alert o tym, jak naukowcy opracowali „żywą skórę" dla robotów (https://bit.ly/3tJyXxs). Ten „materiał" wygląda wyjątkowo obrzydliwie (wybaczcie mi techniczny język); jest wodoodporny, samonaprawiający się i ma teksturę podobną do ludzkiej skóry – co nie jest zbyt zaskakujące, ponieważ faktycznie jest wykonany z komórek skóry ludzkiej.

Rysunek 1. Ręka robota pokryta materiałem BeBop RoboSkin, podnosząca piłkę (zdjęcie: Bebop Sensors)



Rysunek 2. Palec robota pokryty materiałem BeBop RoboSkin, odczytujący alfabet Braille'a (zdjęcie: Bebop Sensors)

eprasa.pl ba02d99ec4

Za sprawą dziwnego zbiegu okoliczności rozmawiałem niedawno z Keithem McMillenem, założycielem i dyrektorem technicznym firmy Bebop Sensors (https://bit.ly/3N3m4p3). Dla nas szczególnie interesujące jest to, że Keith opracował inteligentną tkaninę czujnikową, która jest wykorzystywana jako pokrycie przypominające skórę. Tkanina, nazwana Bebop RoboSkin, może zapewnić humanoidalnym robotom świadomość dotykową (**rysunek 1**).

Zadziwiające jest to, że ta wrażliwość na dotyk ma przewyższać możliwości skóry człowieka pod względem rozdzielczości i czułości. W wersjach pokazanych na rysunkach, w każdym opuszku palca znajduje się 80 czujników – „takseli" (czyli „pikseli dotykowych"), rozmieszczonych w matrycy 2×3 mm. Natomiast rozstaw nerwów w opuszkach palców człowieka wynosi, jak twierdzi Keith, około 4 mm.

Muszę przyznać, że kiedy po raz pierwszy to usłyszałem, byłem nieco sceptyczny. Moja ludzka, odruchowa reakcja polegała na tym, że uważam siebie za efekt miliardów lat ewolucji, co powinno gwarantować, że moje biologiczne czujniki będą niejako „najnowocześniejsze". Keith twierdzi jednak, że istnieje prosty sposób, aby zweryfikować jego stwierdzenie. Jeśli weźmiecie dwie plastikowe igły dziewiarskie z lekko zakrzywionymi końcówkami, zamkniecie oczy i, trzymając igły obok siebie, dotkniecie jednego z palców ich końcami, to rozróżnicie je jako oddzielne tylko wtedy, gdy odległość między tymi końcami wyniesie co najmniej 4 mm.

Czy kiedykolwiek sprawdzaliście czy potraficie czytać alfabet Braille'a? Pierwsza wersja tego dotykowego pisma, używanego przez osoby z dysfunkcją wzroku, została opracowana w 1824 roku przez 15-letniego Louisa Braille'a we Francji, który stracił wzrok w wyniku wypadku w dzieciństwie. Znaki brajla są kombinacją sześciu wypukłych kropek ułożonych w matrycy 3×2, zwanej „sześciopunktem". Matryca ta daje 64 różne kombinacje, które wykorzystuje się do przedstawienia znaków alfanumerycznych i interpunkcyjnych. Miejsce bez żadnych kropek jest odstępem, spacją.

Kiedyś miałem okazję przesunąć jednym z moich ulubionych palców po książce napisanej alfabetem Braille'a i zwyczajnie nie byłem w stanie rozróżnić ilości i położenia wypukłych kropek pod moim zręcznym palcem. Rozumiem, że mógłbym się tego nauczyć dzięki praktyce, ale pamiętam, że byłem mocno zaskoczony jak niewiele mogłem wyczuć. Wspomnienie to wróciło do mnie, gdy Keith pokazał mi zdjęcie palca robota pokrytego materiałem BeBop RoboSkin, w trakcie czytania alfabetu Braille'a (**rysunek 2**).

Rysunek 3. Oto EVE – humanoidalny robot badawczy (zdjęcie: Halodi Robotics)

Roboty, wszędzie roboty...

Mam przyjaciół w firmie Immervision (https://bit.ly/3QxxOTy). Pracują oni nad najnowocześniejszymi rozwiązaniami w dziedzinie widzenia maszynowego. Opracowują kamery z obiektywami ultraszerokokątnymi, wyposażone w czujniki wysokiej rozdzielczości. Sygnał z tych kamer jest przetwarzany przez zaawansowane oprogramowanie do korekcji zniekształceń, łączenia obrazów oraz widzenia maszynowego, oparte na sztucznej inteligencji (AI), uczeniu maszynowym (ML) i uczeniu głębokim (DL).

Przyjaciele owi mówili mi, że w ramach jednego z bieżących projektów nawiązali współpracę z firmą Halodi Robotics (https://bit.ly/39vFEg5). Pewnie domyślacie się, nad czym firma Halodi pracuje. Dosłownie wczoraj, kiedy pisałem te słowa, rozmawiałem z dr Nicholasem Nadeau, dyrektorem technicznym Halodi.

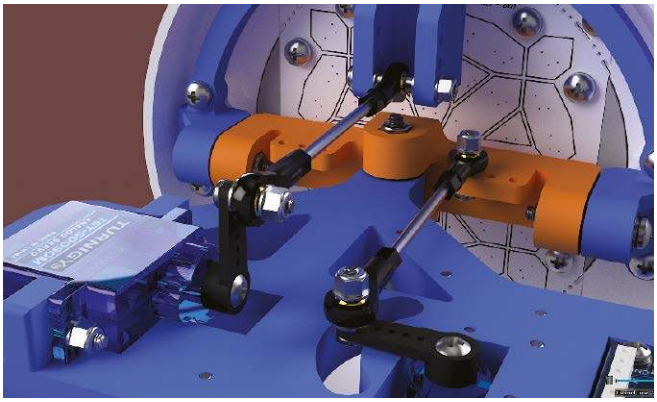
Pracownicy Halodi stworzyli niesamowitego autonomicznego androida o imieniu Eve, który (może raczej „która"?) jest w stanie wykonywać szereg bardzo wymagających zadań. Działając z siłą i szybkością równą ludzkiej, Eve potrafi kucać, sięgać po różne rzeczy i sprawnie używać rąk, otwierając drzwi, naciskając przyciski i manipulując przedmiotami (**rysunek 3**).

Jeden z powodów, dla których Halodi współpracuje z Immervision, jest taki, że w przypadku napotkania sytuacji, z którą Eve nie potrafi sobie poradzić, może ona przez Internet wezwać na pomoc swoich ludzkich kolegów, a Ci, używając gogli rzeczywistości wirtualnej i tzw. sygnałów haptycznych, nawiązują „połączenie teleobecnościowe" – widzą oczami Eve i sterują jej ciałem. Do tej funkcji idealnie nadają się ultraszerokokątne kamery Immervision.

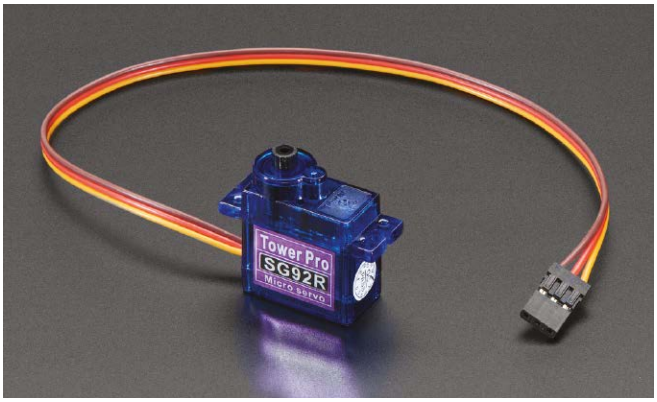
Dla robotów takich jak Eve łatwo jest wymyślić różne zastosowania. Dzięki ich umiejętności otwierania drzwi i korzystania z windy, możliwe stają się takie zadania, jak patrolowanie w nocy budynków czy uzupełnianie półek w supermarketach. A także pomaganie pielęgniarkom w dostarczaniu pacjentom w szpitalu napojów i posiłków. A za jakiś czas – pomoc w domu (nie pokażę tego artykułu Ginie, bo nie przestanie pytać „kiedy?").

Jedną z interesujących rzeczy, o których opowiadał mi Nicholas, jest to, że firma poświęca wiele czasu na projektowanie

eprasa.pl ba02d99ec4



Rysunek 4. Każde animatroniczne oko (u góry) jest sterowane przez dwa serwomotory 9 g (zdjęcie: Steve Manley)



Rysunek 5. Mikroserwomechanizm Tower Pro SG92R (zdjęcie: Adafruit)

własnych specjalizowanych silników, które dają optymalną kombinację prędkości i momentu obrotowego na potrzeby konkretnych zastosowań. To z kolei sprawiło, że ponownie zwróciłem uwagę na silniki napędzające moje własne konstrukcje animatroniczne.

Silnik

Czy kiedykolwiek zastanawialiście się, czym jest silnik? Bo ja tak. I żałuję, że to zrobiłem. Bo okazuje się, że jest to temat niezwykle złożony.

Przypis redaktora: bieżący akapit opisuje terminologię związaną ściśle z językiem angielskim. Terminy „silniki" (ang. „engines") i „motory" (ang. „motors"), choć są często używane zamiennie, niekoniecznie oznaczają to samo. Istnieje definicja, w myśl której „silniki" poprzez spalanie przekształcają energię chemiczną paliwa w mechaniczną, natomiast „motory" przekształcają energię elektryczną w mechaniczną. Niektórzy definiują „motor" jako „urządzenie, które zużywa energię w jednej postaci i przekształca ją w ruch lub pracę mechaniczną". Zgodnie z tą definicją „silniki" stanowiłyby podkategorię silników elektrycznych.

Istnieją również silniki molekularne – zarówno naturalne (biologiczne), jak i sztuczne (maszyny molekularne) – które są niezbędnymi elementami organizmów żywych. Jeśli chcecie dowiedzieć się o tym więcej, gorąco polecam książkę „Life's Ratchet: How Molecular Machines Extract Order from Chaos" („Życie to mechanizm zapadkowy czyli jak maszyny molekularne wyłaniają porządek z chaosu") autorstwa Petera Hoffmanna (https://amzn.to/3tK6B6r).

W kontekście naszej animatronicznej głowy interesują nas silniki elektryczne, ale istnieje tak wiele różnych sposobów podziału tych urządzeń, że może to przyprawić o zawrót głowy – zarówno ludzkiej, jak i animatronicznej... Możemy na przykład dzielić silniki na obrotowe i liniowe, przy czym te ostatnie to zasadniczo wszelkie silniki elektryczne, które zostały „rozwinięte", i zamiast wytwarzać moment obrotowy, wytwarzają liniową siłę wzdłuż swojej długości.

Muszę przyznać, że kiedy po raz pierwszy zacząłem rozważać napisanie tego artykułu, miałem nadzieję przedstawić Wam praktyczny, elegancki rysunek drzewa hierarchicznego, ilustrujący relacje między różnymi typami silników elektrycznych. Zacząłbym zapewne od podziału na silniki prądu przemiennego i silniki prądu stałego, a potem tworzył dalsze rozgałęzienia. Jednak od kiedy o tym rozmyślam, postarzałem się, posmutniałem, ale też zmądrzałem. I doszedłem do wniosku, że jest to zadanie przekraczające możliwości zwykłego śmiertelnika. Powiem tylko, że – o ile nie brak Wam odwagi – możecie zacząć w Google poszukiwania pod hasłem „typy silników elektrycznych". Ale szybko pożałujecie tego kroku.

Jedno źródło podchodzi do sprawy z innej perspektywy. Matthew Scarpino w swojej książce „Motors for Makers: A Guide to Steppers, Servos, and Other Electrical Machines" („Silniki elektryczne dla praktyków – przewodnik po silnikach krokowych, serwomechanizmach oraz innych rodzajach napędów elektrycznych") (https://amzn.to/3N5ucoZ) zaczyna od przejrzystej, jasnej „sieci działań" wyboru silnika. Sieć zaczyna się od pytania: „czy musisz precyzyjnie zadawać lub mierzyć kąt?". Dostępne są dwa wyjścia: „tak" i „nie". Jeśli wybierzecie „tak", zostaniecie przekierowani do symbolu, który mówi krótko: „wybierz silnik krokowy lub serwomechanizm". Jeśli wybierzecie „nie", przejdziecie do dalszej serii pytań i podejmowania decyzji.

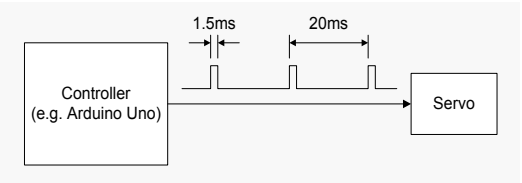
Aby być uczciwym wobec Matthew: zaznacza on, że jego sieć działań służy jedynie do selekcji wstępnej i nie obejmuje wszystkich możliwości. Na przykład silniki uniwersalne mogą być zarówno na prąd stały, jak i zmienny, a jeśli silnik jest dołączony do enkodera lub czujnika położenia, to można w nim dokładnie mierzyć i zadawać kąt. Niemniej jednak ta sieć działań stanowi użyteczny punkt wyjścia.

Silniki krokowe i serwomotory

Jeśli chodzi o sterowanie położeniem, to są dwie podstawowe opcje: silniki krokowe oraz serwomechanizmy (w skrócie „serwo").

W silniku krokowym pełen obrót jest podzielony na pewną liczbę jednakowych kroków. Silnik taki wykorzystuje prostą formę sterowania „z otwartą pętlą". Podając prostą sekwencję impulsów można mu nakazać przemieszczenie się o określony kąt i zatrzymanie się w wyznaczonym miejscu. Nie jest wymagany czujnik położenia ani sprzężenie zwrotne. Silniki krokowe mają wiele zastosowań – na przykład w zegarach analogowych, drukarkach 2D i 3D, wycinarkach laserowych czy robotach.

Silnik serwo to siłownik obrotowy (ewentualnie liniowy), który umożliwia precyzyjną kontrolę położenia kątowego/liniowego, prędkości lub przyspieszenia. Serwo zawiera, oprócz silnika, czujnik do określania aktualnego położenia oraz stosunkowo zaawansowany sterownik zapewniający system sterowania „w pętli zamkniętej" (ze sprzężeniem zwrotnym; przypis redaktora). Mój kumpel Rick Curl przesłał mi niedawno link

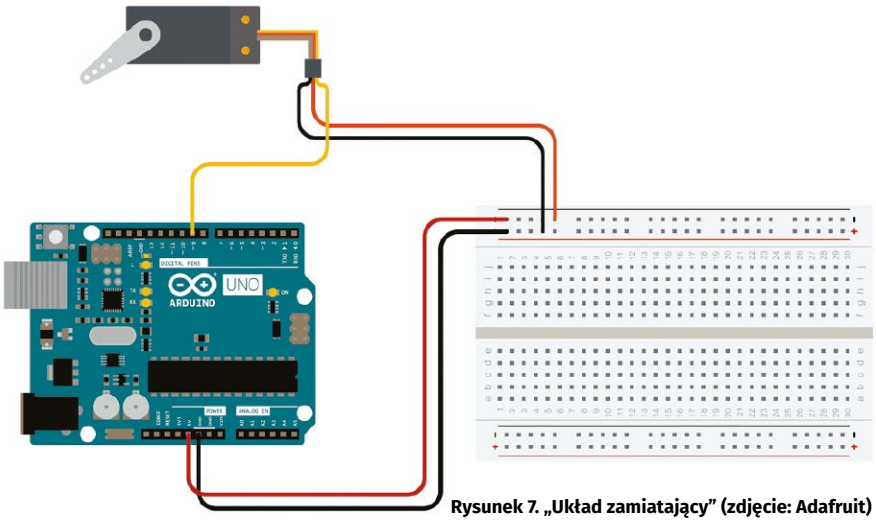


Rysunek 6. Sygnał PWM sterujący serwomechanizmem hobbystycznym

eprasa.pl ba02d99ec4

do filmiku na YouTube, pokazującego całkiem fajne serwomechanizmy dwuosiowe, wykorzystane do zbudowania robota-perkusisty o nazwie Zenbot (https://bit.ly/3xELy6w).

Na potrzeby niniejszej dyskusji skupiamy się na małych serwomechanizmach hobbystycznych, opartych na silnikach prądu stałego, w których wszystkie elementy są umieszczone w jednej niewielkiej obudowie. Należy jednak pamiętać, że serwomechanizmy występują w różnych kształtach i rozmiarach, Istnieją na przykład ogromne serwomechanizmy przemysłowe (zarówno prądu stałego, jak i przemiennego), często wykorzystujące dodatkowe czujniki zewnętrzne i moduły sterujące.



Rysunek 7. „Układ zamiatający" (zdjęcie: Adafruit)

Pierwsze eksperymenty

W poprzedniej, 29. części tego cyklu (Practical Electronics, lipiec 2022; EdW 1/2026) Steve podzielił się z nami kilkoma interesującymi informacjami na temat serwomechanizmów ostatecznie zastosowanych w naszej animatronicznej głowie, jak dwa serwomechanizmy 9 g Turnigy TGY-50090 z metalowymi przekładniami (https://bit.ly/37pEFNb), używane do sterowania każdym z oczu (**rysunek 4**).

Jeśli chcecie dowiedzieć się czegoś nieoczekiwanego – słowo „fossick" oznacza w australijskim angielskim „grzebać". Wspominam o tym, ponieważ właśnie grzebałem w mojej skrzyni ze skarbami i wyciągnąłem mikroserwomechanizm Tower Pro SG92R (**rysunek 5**), podobny do tych dostępnych w Adafruit (https://bit.ly/3n0ElbY).

Ten wihajster może obracać się mniej więcej o 180° (o 90° w każdym kierunku). Na zdjęciu nie pokazano „rogu" serwomechanizmu. Jest to krótkie ramię (lub para ramion ustawionych pod kątem 180° względem siebie), umocowane do koła zębatego wystającego z górnej części serwomechanizmu.

Serwomechanizmy te są sterowane poprzez modulację szerokości impulsu (PWM). W takim przypadku istotne są dwa parametry: szerokość impulsu i okres sygnału (**rysunek 6**).

Szerokość impulsu wyznacza położenie rogu serwomechanizmu. Pokazane na rysunku impulsy o szerokości 1,5 ms spowodują przesunięcie serwomechanizmu do jego standardowej (środkowej) pozycji. Okres impulsów (czas między nimi) jest mniej istotny. W zastosowaniach hobbystycznych często stosuje się 20 ms, co odpowiada częstotliwości odświeżania 50 Hz (pięćdziesiąt razy na sekundę).

Serwomechanizmy można podzielić na analogowe i cyfrowe. Podziałem tym nie należy się przejmować, ponieważ sterownik nie rozróżnia tych dwóch rodzajów i wysyła impulsy o takich samych parametrach; z jego punktu widzenia oba typy serw są identyczne. Różnica tkwi w samym serwomechanizmie. Serwomechanizm analogowy wykorzystuje układy analogowe do wzmacniania i przetwarzania impulsów ze sterownika oraz do przesuwania silnika do określonej pozycji. Natomiast serwomechanizm cyfrowy zawiera mikrokontroler, który mierzy i przetwarza impulsy metodami cyfrowymi. Każdy typ ma swoje zalety i wady, i nie będziemy tutaj omawiać.

Różne serwomechanizmy różnie reagują na parametry sygnału PWM, chociaż 1,5 ms odpowiada zawsze pozycji domyślnej. Na przykład według wspomnianej książki „Motors for Makers..." niektóre serwomechanizmy przyjmują impulsy od 0,7 ms (pełen obrót w lewo) do 2,3 ms (pełen obrót w prawo). Przez „pełen" rozumiemy maksymalny obrót obsługiwany przez dany serwomechanizm. Dla porównania: według strony internetowej Adafruit, w mechanizmie Tower Pro SG92R obrotowi o –90° odpowiadają impulsy 1,0 ms, impulsy 1,5 ms dają kąt 0°, a obrotowi o +90° odpowiadają impulsy 2,0 ms.

Nadal nie traćmy czujności. Oto różni producenci serwomechanizmów stosują dla przewodów połączeniowych różne standardy kolorystyczne. Typowe kombinacje to brązowy/czerwony/pomarańczowy, czarny/czerwony/żółty, czarny/czerwony/biały oraz czarny/czerwony/niebieski. Ale nie martwcie się, jest to łatwiejsze niż się wydaje. Przewód czerwony, który jest zawsze pośrodku, to zawsze „plus" zasilania (powiedzmy 5 V, chociaż są serwomechanizmy używające innych napięć). Przewód czarny lub brązowy to zawsze masa (0 V). Pozostały przewód jest przewodem sygnału sterującego, niezależnie od tego, czy ma kolor pomarańczowy, żółty, biały czy niebieski.

Jak się zaraz przekonacie, sterowanie naszym przykładowym serwomechanizmem jest dziecinnie proste, zwłaszcza że do zintegrowanego środowiska programistycznego Arduino jest dołączona biblioteka „Servo" (https://bit.ly/3O3rIZu). Strona internetowa Adafruit zawiera kilka ciekawych układów eksperymentalnych i powiązanych z nimi programów.

Weźmy na przykład układ nazwany „Sweep Circuit" (dosłownie „układ zamiatający"; przypis redaktora) (**rysunek 7**). W tak prostym przypadku może nie ma potrzeby używania stykowej płytki prototypowej, ale przyda się ona później, gdy przejdziemy do przypadków bardziej interesujących. Poza tym, jeśli akurat macie taką płytkę, to dobrze by było dołączyć między linię zasilającą a masę dość duży kondensator elektrolityczny – powiedzmy 470 μF lub 1000 μF – co pomoże odizolować Arduino od wszelkich skoków napięcia wywołanych przez serwomechanizm. Płytka prototypowa bardzo ułatwi dodanie tego kondensatora.

Sygnał sterujący do serwomechanizmu może pochodzić z dowolnego wyjścia cyfrowego Arduino Uno wytwarzającego przebieg PWM. Może być to zatem pin 3, 5, 6, 9, 10 lub 11. W przykładzie używamy pinu 9.

Przykładowy szkic (oparty na szkicu udostępnianym przez Adafruit) widzimy na **rysunku 8**. Pierwszym krokiem (wiersz 1) jest dołączenie biblioteki „Servo". W wierszu 3 tworzymy obiekt serwomechanizmu. W tym przypadku nazwaliśmy go MyServo, ale można użyć dowolnej dopuszczalnej nazwy (niebędącej słowem kluczowym).

W wierszu 7 używamy metody attach(pin), przypisując zmienną serwomechanizmu do pinu Arduino (w tym przykładzie

eprasa.pl ba02d99ec4

```
1  #include <Servo.h>
2
3  Servo MyServo;
4
5  void setup()
6  {
7    MyServo.attach(9);
8  }
9
10
11 void loop()
12 {
13   for (int iPos = 0; iPos <= 180; iPos += 1)
14   {
15     MyServo.write(iPos);
16     delay(15);
17   }
18
19   for (int iPos = 180; iPos >= 0; iPos -= 1)
20   {
21     MyServo.write(iPos);
22     delay(15);
23   }
24 }
```

Rysunek 8. Przykładowy program sterujący „układu zamiatającego”

– do pinu cyfrowego 9). Pamiętajmy, że istnieje inny sposób, aby to zrobić, a mianowicie attach(pin,min,max), gdzie min określa szerokość impulsu (w mikrosekundach) odpowiadającą minimalnemu kątowi serwomechanizmu (0°), a max określa szerokość impulsu (również w mikrosekundach) odpowiadającą kątowi maksymalnemu (180°).

Wewnątrz funkcji loop() mamy dwie pętle for(). Pierwsza z nich przesuwa serwomechanizm od 0° do 180°, a druga przesuwa go z powrotem od 180° do 0°. Opóźnienia 15 ms między krokami mają na celu danie serwomechanizmowi czasu na reakcję i przejście do nowej pozycji. W obu tych pętlach w celu określenia żądanego kąta w stopniach od 0° do 180° używana jest metoda write(). W przypadku serwomechanizmu z ciągłym obrotem, wpisanie wartości 0 uruchomi obroty mechanizmu z pełną prędkością w jednym kierunku, wartość 180 wywoła obroty z pełną prędkością w drugim kierunku, a wartość 90 spowoduje zatrzymanie.

Przed uruchomieniem tego programu upewnijcie się, że dołączyliście do serwomechanizmu rogi. W przeciwnym razie możecie nawet nie zauważyć, że coś się dzieje. Jeśli nigdy wcześniej nie korzystaliście z serwomechanizmu, to widok prostego ruchu w przód i w tył, sterowanego przez ten program, z pewnością wywoła uśmiech na Waszych twarzach – ponieważ uświadomicie sobie, że właśnie otworzyliście drzwi do świata sterowania ruchem.

W następnym odcinku

Wszystko to jest bardzo ekscytujące (zakładam, że są to dla Was rzeczy nowe), ale tak naprawdę to dopiero zaczynamy zgłębiać tajniki sterowania serwomechanizmami. W następnym odcinku przeanalizujemy kilka różnych podejść do sterowania grupą takich ustrojstw – na przykład siedmioma serwomechanizmami w naszej animatronicznej głowie. Do tego czasu, jak zawsze, czekam na Wasze pytania, komentarze i sugestie. ■

Clive „Max” Maxfield

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

REKLAMA

eprasa.pl ba02d99ec4

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.

Pojęciem, z którym często można się spotkać w specyfikacjach cyfrowych urządzeń audio, jest *upsampling*. Upsampling opisuje interesującą, ale jednocześnie złożoną technikę, której celem jest poprawa jakości dźwięku cyfrowego.

Powrót do podstaw: odtwarzacz audio CD 44 100 · 2 · 16 bit – zamiana na sygnały analogowe

Na pierwszy rzut oka zadanie analogowej części elektroniki w odtwarzaczu płyt audio CD wydaje się skrajnie proste, zwłaszcza w porównaniu ze skomplikowanymi funkcjami elektroniki cyfrowej. Należy jedynie zamienić szerokie na 16 bitów kody cyfrowe, pojawiające się z częstotliwością 44 100·2 próbek na sekundę, na odpowiadające im sygnały napięciowe w postaci analogowej. Trudno wyobrazić sobie coś prostszego. Wystarczy zastosować dwa 16-bitowe przetworniki C/A, a następnie wygładzić schodkowy przebieg ich sygnałów wyjściowych za pomocą filtrów dolnoprzepustowych – i gotowe. W praktyce jednak sprawa wcale nie jest taka prosta! To właśnie w tej analogowej części toru sygnałowego kryją się zasadnicze różnice pomiędzy odtwarzaczem CD typu A firmy B a odtwarzaczem typu X firmy Y. Specjaliści twierdzą wręcz, że potrafią rozpoznać markę i model odtwarzacza wyłącznie na podstawie barwy dźwięku, jaki on generuje.

Niedoskonałości analogowe mają znaczenie

Podczas przetwarzania kodów cyfrowych na napięcia analogowe projektanci muszą zmierzyć się ze wszystkimi niedoskonałościami wpisanymi w elektronikę analogową, takimi jak zniekształcenia sygnału, różnice czasów propagacji, przeregulowania oraz przesunięcia fazowe. Są to wielkości, których idealna wartość – równa zeru – w praktyce może być jedynie przybliżana. Są to jednak także parametry, których wartości można coraz lepiej zbliżać do ideału poprzez drobne, stopniowe udoskonalenia istniejących układów.

Nie brakuje systemów

Doprowadziło to do powstania dziesiątek różnych systemów stosowanych do przetwarzania cyfrowych kodów audio na napięcia analogowe. Producenci odtwarzaczy CD wciąż opracowują nowe rozwiązania i układy, które mają generować jeszcze mniejsze zniekształcenia i zapewniać jeszcze bardziej transparentne brzmienie niż wszystko, co było dotychczas dostępne na rynku.

Poniżej przedstawiono krótki, choć niepełny przegląd stosowanych systemów przetworników C/A (DAC):

- 14-bitowy przełączany system próbkowania rzeczywistego (switched real sampling),
- 14-bitowy system próbkowania rzeczywistego (real sampling),
- 16-bitowy przełączany system próbkowania rzeczywistego,
- 16-bitowy system próbkowania rzeczywistego,
- 16-bitowy kaskadowy system próbkowania rzeczywistego,
- 14-bitowy system podwójnego upsamplingu (dual upsampling),
- 16-bitowy system podwójnego upsamplingu,
- 14-bitowy system poczwórnego upsamplingu (quadruple upsampling),
- 16-bitowy system poczwórnego upsamplingu,
- adaptacyjny upsampling o zmiennoprzecinkowej reprezentacji dziesiętnej,

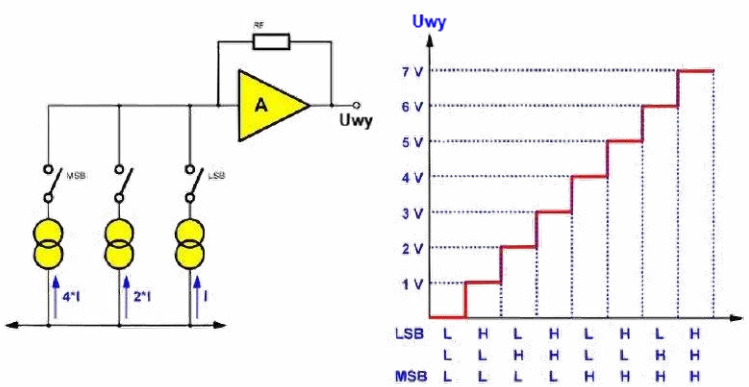
eprasa.pl ba02d99ec4

- konwersja z modulacją szerokości impulsu (PWM),
- 1-bitowa konwersja z wykorzystaniem przełączanych kondensatorów.

Jak widać, pojęcie upsampling pojawia się tu bardzo często. Nie ma jednak sensu omawiać go szczegółowo bez wcześniejszego, dogłębnego przedstawienia fundamentalnych ograniczeń tradycyjnej konwersji cyfrowo-analogowej w technice audio.

Tradycyjny przetwornik C/A

Na poniższym rysunku przedstawiono zasadę działania tradycyjnego, 3-bitowego przetwornika cyfrowo-analogowego. Układ składa się z trzech źródeł prądowych, generujących bardzo stabilne prądy o precyzyjnie ustalonych wzajemnych proporcjach 1:2:4. Prądy te, za pośrednictwem elektronicznych przełączników od MSB do LSB, doprowadzane są do wejścia przetwornika prąd–napięcie. Układ ten jest zrealizowany w klasyczny sposób – z wykorzystaniem wzmacniacza operacyjnego z rezystorem sprzężenia zwrotnego RF. Przełączniki są sterowane przez trzy bity cyfrowego kodu wejściowego. Gdy dany bit ma stan „H", odpowiadający mu przełącznik jest zamknięty. Przy kodzie „L-L-L" (od MSB do LSB) wszystkie przełączniki pozostają otwarte i do wejścia wzmacniacza operacyjnego nie dopływa żaden prąd. Napięcie wyjściowe wynosi wówczas zero. Jeżeli kod zostanie zwiększony do „L-L-H", zamyka się przełącznik LSB i do wejścia wzmacniacza operacyjnego zaczyna płynąć prąd I. Prąd ten zostaje przetworzony na napięcie ΔU. Po dalszym zwiększeniu kodu do „L-H-L" zamyka się drugi przełącznik, a pierwszy ponownie się otwiera. Do wzmacniacza operacyjnego dopływa wówczas prąd 2·I, co powoduje powstanie na wyjściu napięcia 2·ΔU. Można zatem stwierdzić, że przy stopniowym zwiększaniu kodu na wejściu cyfrowym od „L-L-L" do „H-H-H" na wyjściu przetwornika C/A pojawia się napięcie o przebiegu schodkowym, przy czym każdy kolejny stopień ma wartość o ΔU większą od poprzedniego. Zależność tę pomiędzy cyfrowym kodem wejściowym a analogowym napięciem wyjściowym przedstawiono po prawej stronie na rysunku.



Zasada działania 3-bitowego przetwornika C/A (© 2019 Jos Verstraten)

Ograniczenia tradycyjnego przetwornika C/A

Omówiony układ działa bardzo dobrze przy rozdzielczościach do 10 bitów oraz przy niskich częstotliwościach pracy. System CD operuje jednak nie tylko z rozdzielczością 16 bitów, lecz także z dość wysoką szybkością próbkowania. W takich warunkach tradycyjny przetwornik C/A całkowicie przestaje spełniać swoje zadanie.

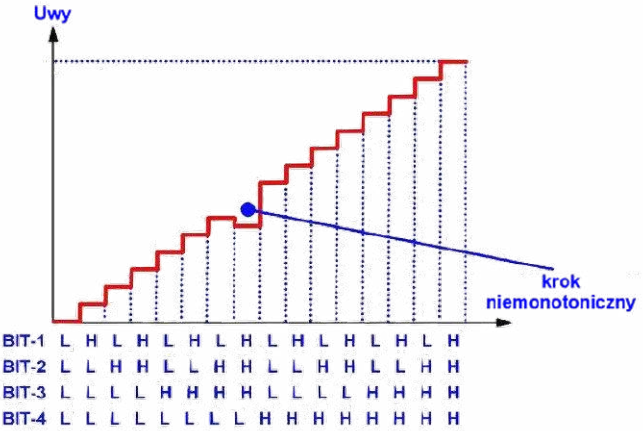
Pojawiają się dwa zasadnicze problemy:

- dokładność wzajemnych proporcji prądów źródeł prądowych,
- szybkość przełączania źródeł prądowych oraz elektronicznych przełączników.

Oba te zagadnienia zostaną omówione w kolejnych podrozdziałach.

Dokładność proporcji prądów

Jak już wspomniano, na wyjściu przetwornika C/A pojawia się napięcie o przebiegu schodkowym, jeżeli na wejściu cyfrowym przechodzimy kolejno przez wszystkie możliwe kombinacje kodu w logicznej kolejności. Oczywiste jest, że każdy kolejny stopień ma dokładnie o ΔU większą wartość od poprzedniego tylko wtedy, gdy wzajemne proporcje prądów generowanych przez źródła prądowe są zachowane z odpowiednią dokładnością. Jeżeli jedno ze źródeł prądowych charakteryzuje się zbyt dużą tolerancją, pojawia się zjawisko określane jako niemonotoniczność. Zjawisko to zilustrowano na poniższym rysunku. Przy określonych zmianach kodu napięcie analogowe na wyjściu nie wzrasta o oczekiwaną wartość ΔU, lecz o wartość większą lub mniejszą. W skrajnych przypadkach może to nawet doprowadzić do sytuacji, w której rzeczywiste napięcie wyjściowe znajdzie się w zakresie zarezerwowanym dla innego kodu cyfrowego na wejściu. W takim przypadku mówimy o niemonotonicznym zachowaniu przetwornika C/A. Oczywiście zjawisko to nie wystąpi jedynie dla pojedynczego stopnia (chyba że odchyłka prądu dotyczy wyłącznie źródła prądowego odpowiadającego bitowi MSB), lecz będzie



Zjawisko „niemonotoniczności" zilustrowane graficznie (© 2019 Jos Verstraten)

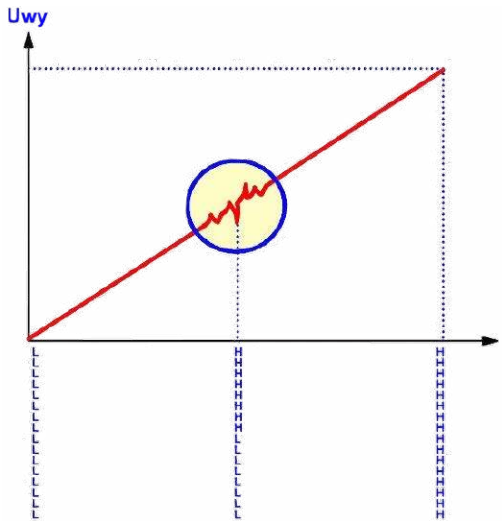
eprasa.pl ba02d99ec4

powtarzać się cyklicznie. Niemonotoniczne stopnie pojawiają się za każdym razem, gdy źródło prądowe o dużej tolerancji jest włączane lub wyłączane. Zjawisko to powoduje znaczne zniekształcenia analogowego sygnału wyjściowego.

Z technologicznego punktu widzenia utrzymanie tolerancji źródeł prądowych w granicach zapewniających monotoniczność nie stanowi problemu, o ile rozdzielczość przetwornika C/A nie przekracza 10 bitów. W przypadku przetwornika 16-bitowego, niezbędnego w systemie CD, występuje jednak stosunek prądów wynoszący $1/2^{15}$, czyli 1/32 768, pomiędzy źródłem prądowym bitu LSB a źródłem prądowym bitu MSB. Oznacza to, że źródło prądowe odpowiadające bitowi MSB musi charakteryzować się dokładnością co najmniej 100/32 768=0,003%! Wymaganie to określa się mianem „wymogu dokładności MSB lepszej niż jeden LSB". Jeżeli dokładność ta nie zostanie spełniona, przetwornik C/A będzie w każdym przypadku pracował niemonotonicznie, a prąd odpowiadający bitowi LSB całkowicie „utonąłby" w niedokładności prądu bitu MSB. Dla pewnych kodów cyfrowych nie istniałby wówczas żaden jednoznaczny związek pomiędzy logiczną wartością bitu LSB a wartością sygnału analogowego na wyjściu. Równie wysokie wymagania dotyczą dokładności prądów bitów MSB-1 oraz MSB-2. Nietrudno zauważyć, że wytworzenie źródła prądowego o tolerancji rzędu 0,003% jest w praktyce niemożliwe – zwłaszcza gdy dokładność ta musi być zachowana w dość szerokim zakresie temperatur, a sam układ nie może być zbyt kosztowny ze względu na zastosowanie w masowo produkowanym urządzeniu, takim jak odtwarzacz CD.

Szybkość przełączania źródeł prądowych

W systemie CD układy cyfrowe dostarczają do wejścia przetwornika cyfrowo-analogowego 44 100 razy na sekundę słowa o szerokości 2·16 bitów. Przetwornik C/A musi więc pracować z dość dużą szybkością. Oczywiście potrzebny jest pewien czas – nazywany czasem konwersji – zanim wszystkie elektroniczne przełączniki w przetworniku C/A zostaną otwarte lub zamknięte, a aktywne źródła prądowe ustabilizują się. W trakcie tego czasu konwersji napięcie wyjściowe przetwornika C/A jest nieprzewidywalne. W praktyce podczas zmiany kodu pojawiają się na analogowym wyjściu tzw. spike'i lub glitche – krótkotrwałe impulsy napięciowe o nieokreślonej amplitudzie i polaryzacji. Zjawisko to zilustrowano graficznie na poniższym rysunku. Wielkość tych impulsów zależy od liczby przełączanych bitów. Im więcej bitów zmienia jednocześnie swój stan, tym więcej elektronicznych przełączników musi przejść z jednego stanu w drugi i tym bardziej nieprzewidywalne staje się zachowanie układu. Impulsy te powodują istotne zniekształcenia analogowego sygnału wyjściowego odtwarzacza CD. Zjawisko to jest jednym z powodów, dla których bezwzględnie konieczne jest stosowanie filtrów za przetwornikiem C/A. Jednym z zadań takiego filtru jest tłumienie tych impulsów, które składają się głównie z wyższych harmonicznych i są odbierane jako szum.



Powstawanie impulsów („spike'ów") podczas przełączania z jednego kodu cyfrowego na inny (© 2019 Jos Verstraten)

Teoretyczne problemy zasady działania przetwornika C/A
Wprowadzenie

Nawet gdyby udało się zaprojektować idealny przetwornik C/A, nadal pozostałyby do rozwiązania poważne problemy związane z rekonstrukcją niezniekształconego sygnału audio z 16-bitowych kodów dźwiękowych zapisu CD. Problemy te wynikają z teoretycznych zasad leżących u podstaw połączonego procesu konwersji A/C–C/A.

Można tu wyróżnić trzy czynniki:

- cyfrowe zniekształcenia przejścia (digital cross-over distortion),
- pasmo kwantyzacji,
- szum kwantyzacji.

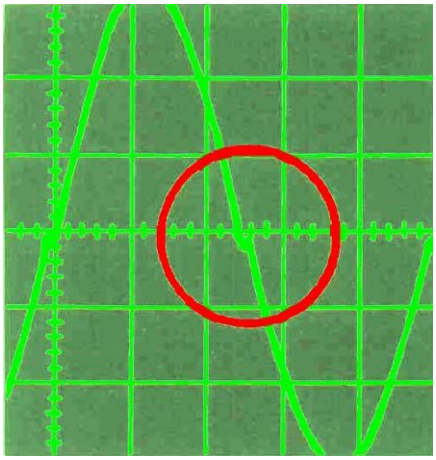
Te trzy zagadnienia zostaną omówione w kolejnych trzech podrozdziałach.

Cyfrowe zniekształcenia przejścia

Zasadniczo przetwornik cyfrowo-analogowy generuje na wyjściu sygnał jednobiegunowy. Jeżeli cyfrowy kod wejściowy ma postać „L-L-…-L-L", napięcie wyjściowe wynosi 0 V. Gdy natomiast kod cyfrowy przyjmuje postać „H-H-…-H-H", analogowe napięcie wyjściowe osiąga określoną maksymalną wartość dodatnią. Sygnały audio przetwarzane w systemie CD są jednak sygnałami dwubiegunowymi – przyjmują zarówno wartości dodatnie, jak i ujemne. Powoduje to konieczność podziału całego zakresu przetwornika A/C podczas zapisu na część dodatnią oraz równą jej część ujemną. Przejście przez zero odpowiada wówczas zmianie kodu z „L-H-H-…-H-H" na „H-L-…-L-L". Ten ostatni kod cyfrowy można nazwać „cyfrową masą" systemu. Można również stwierdzić, że wartość bitu MSB określa polaryzację sygnału analogowego: jeżeli sygnał jest ujemny, MSB ma stan „L", a jeżeli dodatni – stan „H". Podczas rekonstrukcji sygnału analogowego z kodu cyfrowego w odtwarzaczu CD występuje analogiczna sytuacja. Przy bardzo małych sinusoidalnych napięciach analogowych wszystkie bity kodu muszą przełączać się jednocześnie – dokładnie w chwili, gdy sygnał analogowy zmienia polaryzację. Właśnie w tym niezwykle krytycznym momencie sygnału audio prawdopodobieństwo wystąpienia impulsów przejściowych (glitches) jest największe. Dodatkowo, przy przełączaniu w pobliżu analogowego zera, decydującą rolę odgrywa bit MSB, którego prąd konwersji musi być najdokładniejszy. Nawet minimalne

eprasa.pl ba02d99ec4

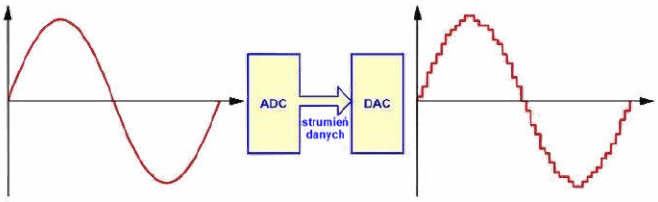
odchylenie w proporcjach prądów (a więc także w proporcjach napięć na wyjściu DAC-a) prowadzi do pojawienia się niepożądanych impulsów w analogowym sygnale wyjściowym. Zjawisko to zilustrowano na poniższym rysunku na przykładzie praktycznym. Fotografia przedstawia analogowe napięcie wyjściowe 16-bitowego przetwornika C/A sterowanego kodami odpowiadającymi bardzo małej amplitudzie sinusoidy. Zniekształcenia pojawiające się w pobliżu przejścia sygnału przez zero są w pewnym stopniu porównywalne ze zniekształceniami, które występowały w pierwszych generacjach wzmacniaczy tranzystorowych. Zniekształcenia te określano mianem zniekształceń przejścia (cross-over). Ze względu na analogię – nie w mechanizmie powstawania, lecz w efekcie słyszalnym – zjawisko to w systemach CD nosi nazwę cyfrowych zniekształceń przejścia.



Cyfrowe zniekształcenia przejścia podczas przełączania bitu MSB (© 2019 Jos Verstraten)

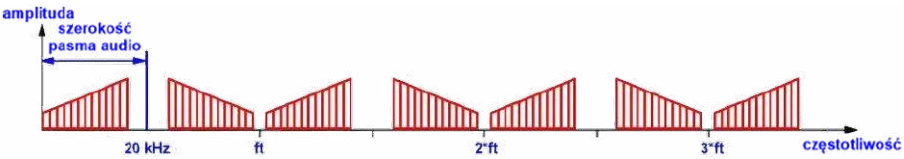
Pasmo kwantyzacji

Jeżeli czysto sinusoidalny sygnał analogowy zostanie poddany digitalizacji, a następnie cyfrowe kody zostaną ponownie przetworzone na sygnał analogowy, to – jak pokazano na poniższym rysunku – nawet w najlepszym systemie zawsze występuje znaczna różnica pomiędzy napięciem wejściowym a napięciem wyjściowym. Sygnał wyjściowy ma przebieg schodkowy, a zatem nie jest idealną sinusoidą.



Podstawową cechą każdego systemu A/C–C/A jest schodkowy przebieg odzyskanego napięcia wyjściowego (© 2019 Jos Verstraten)

Jak każdy sygnał o przebiegu innym niż sinusoidalny, również ten sygnał posiada określone widmo częstotliwościowe, co jest bezpośrednią konsekwencją uniwersalnej teorii Fouriera. Jeżeli na wejście takiego systemu A/C–C/A podamy sygnał analogowy o paśmie 20 kHz, na przykład biały szum, wówczas widmo częstotliwościowe odzyskanego sygnału audio będzie wyglądało tak, jak pokazano na poniższym rysunku. Teoretycznie powstaje wtedy nieskończona liczba grup harmonicznych wokół wielokrotności częstotliwości próbkowania, z których każda posiada symetryczne wstęgi boczne o szerokości 20 kHz. W systemie CD częstotliwość próbkowania wynosi 44,1 kHz. Pierwsza grupa harmonicznych znajduje się więc wokół tej wartości (oznaczonej na rysunku jako f_t). Jednak 44,1 kHz – 20 kHz daje 24,1 kHz! Oznacza to, że najniższa harmoniczna lewej wstęgi bocznej tej pierwszej grupy leży zaledwie 4,1 kHz powyżej górnej granicy pasma 20 kHz systemu CD. Jest oczywiste, że wszystkie te harmoniczne muszą zostać odfiltrowane z sygnału wyjściowego przetwornika C/A. Co prawda częstotliwości te nie są bezpośrednio słyszalne, jednak mogą powodować poważne problemy w końcowym wzmacniaczu mocy podłączonym do odtwarzacza CD. Jeżeli wzmacniacz ten wykazuje zniekształcenia intermodulacyjne, wówczas powstają różnorodne częstotliwości sum i różnic, które już jak najbardziej mieszczą się w paśmie słyszalnym. W efekcie dźwięk byłby poważnie zniekształcony.



Widmo częstotliwościowe zdigitalizowanego, a następnie odzyskanego sygnału audio o paśmie 20 kHz (© 2019 Jos Verstraten)

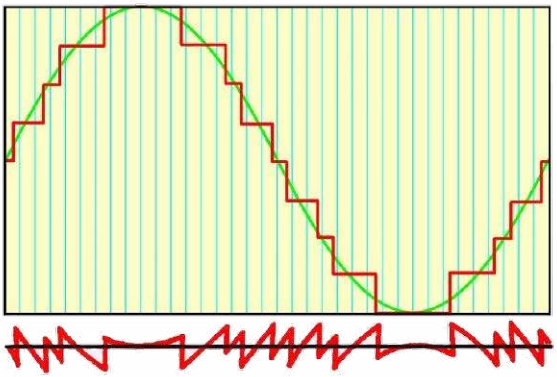
Konieczność filtracji dolnoprzepustowej

Z tego względu stawia się wymaganie, aby wszystkie harmoniczne obecne w sygnale wyjściowym przetwornika C/A, których częstotliwości przekraczają 20 kHz, były tłumione co najmniej o 50 dB. Teoretycznie istnieje wiele analogowych układów filtrów, które są w stanie zapewnić takie tłumienie sygnałów powyżej 20 kHz. Problem polega jednak na tym, że pierwsza składowa, która musi zostać stłumiona o 50 dB, ma częstotliwość 24,1 kHz. Wymusza to zastosowanie filtrów o bardzo stromym zboczu. Najczęściej stosuje się filtry Czebyszewa dziewiątego, a nawet jedenastego rzędu. Jak wynika z charakterystyki przedstawionej na poniższym rysunku, filtry te charakteryzują się doskonałą charakterystyką amplitudową. Ich charakterystyka fazowa jest jednak

Charakterystyka amplitudowa filtru dolnoprzepustowego jedenastego rzędu (© 2019 Jos Verstraten)

eprasa.pl ba02d99ec4

bardzo niekorzystna. Różnice opóźnień grupowych w paśmie audio do 20 kHz powodują powstawanie przeregulowań, gdy sygnał audio ma przebieg impulsowy. Przeregulowania te są bardzo dobrze słyszalne i prowadzą do charakterystycznych zniekształceń, co pokazano na oscylogramie po lewej stronie ilustracji.



Powstawanie szumu kwantyzacji (dolny wykres) (© 2019 Jos Verstraten)

Szum kwantyzacji

Szum kwantyzacji jest bezpośrednią konsekwencją schodkowego przebiegu napięcia wyjściowego przetwornika C/A. Jeżeli od napięcia wejściowego odejmiemy napięcie wyjściowe standardowego systemu A/C–C/A, otrzymamy sygnał różnicowy, który ma postać przedstawioną na dolnym wykresie poniższego rysunku.

Sygnał różnicowy ma charakter szumowy i w taki sposób się objawia. Analiza jego widma częstotliwościowego pokazuje, że zawiera on składowe w całym paśmie audio. Oczywiste jest, że poziom tego szumu kwantyzacji zależy od liczby bitów, z jaką pracuje przetwornik cyfrowo-analogowy. Im większa liczba dostępnych bitów, tym mniejsze są odstępy pomiędzy kolejnymi stopniami i tym mniejszy staje się sygnał różnicowy. Teoretyczną wartość szumu kwantyzacji można obliczyć. Dla systemu 16-bitowego poziom tego szumu znajduje się 96 dB poniżej maksymalnego poziomu sygnału. Stąd często podaje się, że system CD charakteryzuje się stosunkiem sygnału do szumu równym 96 dB. Przy zmniejszeniu liczby przetwarzanych bitów poziom szumu wzrasta o 6 dB na każdy bit. Oznacza to, że system 14-bitowy osiąga maksymalny stosunek sygnału do szumu wynoszący 84 dB. Oczywiste jest również, że częstotliwość podstawowa szumu kwantyzacji jest równa częstotliwości próbkowania systemu. W przypadku systemu CD częstotliwość ta wynosi 44,1 kHz.

Zasada upsamplingu
Wprowadzenie

Spośród dwunastu systemów przetworników C/A wymienionych w poprzednim podrozdziale aż w pięciu pojawia się określenie upsampling. Musi to zatem być istotna zasada stosowana w technologii CD. I rzeczywiście tak jest – bardzo wiele odtwarzaczy CD pracuje w oparciu o tę koncepcję. Należy przy tym zaznaczyć, że często spotyka się również określenie oversampling.

Zwiększenie częstotliwości próbkowania

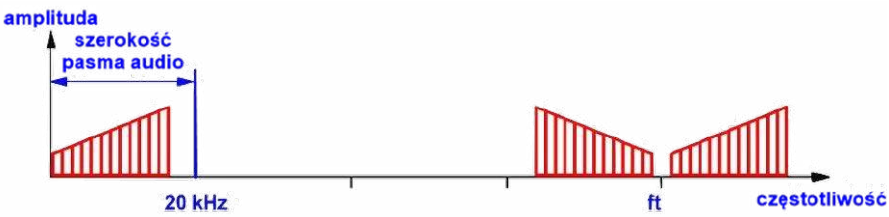
Zestawienie opisanych problemów pokazuje, że to niska częstotliwość próbkowania 44,1 kHz jest źródłem większości trudności. Gdyby udało się podwoić tę częstotliwość do 88,2 kHz, moc szumu kwantyzacji zostałaby rozłożona na szerszy zakres częstotliwości, dzięki czemu w paśmie 0 Hz...20 kHz pozostałoby mniej energii. Ponadto pasmo kwantyzacji przybrałoby zupełnie inny kształt.

Nadpróbkowanie (oversampling) czyli upsampling

System audio CD pracuje z definicji z częstotliwością próbkowania wynoszącą zaledwie 44,1 kHz i nie da się tego zmienić. Jeżeli jednak chcielibyśmy przejść na częstotliwość dwukrotnie wyższą, należałoby w odtwarzaczu CD sztucznie wstawić dodatkowe próbki pomiędzy 44 100 szesnastobitowych próbek, które układy cyfrowe generują w każdej sekundzie. Proces ten określa się ogólnie mianem upsamplingu lub – po polsku – nadpróbkowania. Nietrudno zauważyć, że określenie dual upsampling oznacza proces, w którym częstotliwość próbkowania zostaje zwiększona z 44,1 kHz do 88,2 kHz. Zadanie to może wydawać się niemożliwe do zrealizowania, jednak – jak to często bywa – technika cyfrowa pozwala na takie rozwiązania. Opracowano bowiem układy cyfrowe, tzw. cyfrowe filtry transversalne, które potrafią zrealizować to zadanie. To jednak nie wszystko. Skoro rozpoczęto projektowanie tego typu układów, szybko okazało się, że równie łatwo można czterokrotnie zwiększyć częstotliwość próbkowania. Wówczas częstotliwość próbkowania przetwornika C/A wynosi 176,4 kHz i pomiędzy każdymi dwiema próbkami dostarczanymi przez układy cyfrowe należy wstawić trzy dodatkowe próbki. System ten określa się mianem quadruple upsampling.

Wpływ upsamplingu na pasmo kwantyzacji

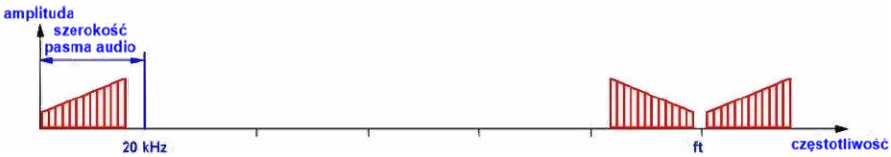
Efekt zastosowania podwójnego lub poczwórnego upsamplingu na pasmo odzyskanego sygnału najlepiej wyjaśnić w sposób graficzny. Pasmo kwantyzacji sygnału odtworzonego przy częstotliwości próbkowania 88,2 kHz przedstawiono na poniższym rysunku. Pierwsza grupa harmonicznych znajduje się teraz wokół częstotliwości 88,2 kHz, tak że najniższa harmoniczna ma częstotliwość 68,2 kHz. Oznacza to, że pomiędzy maksymalną częstotliwością sygnału a pierwszą harmoniczną wymagającą tłumienia pojawia się teraz odstęp



Pasmo kwantyzacji przy częstotliwości próbkowania 88,2 kHz (© 2019 Jos Verstraten)

eprasa.pl ba02d99ec4

częstotliwościowy wynoszący 48,2 kHz. W rezultacie analogowy układ filtrujący może mieć znacznie niższy rząd, a charakterystykę fazową takiego filtru można kształtować o wiele łatwiej niż w przypadku filtru jedenastego rzędu.



Pasmo kwantyzacji przy poczwórnym upsamplingu (© 2019 Jos Verstraten)

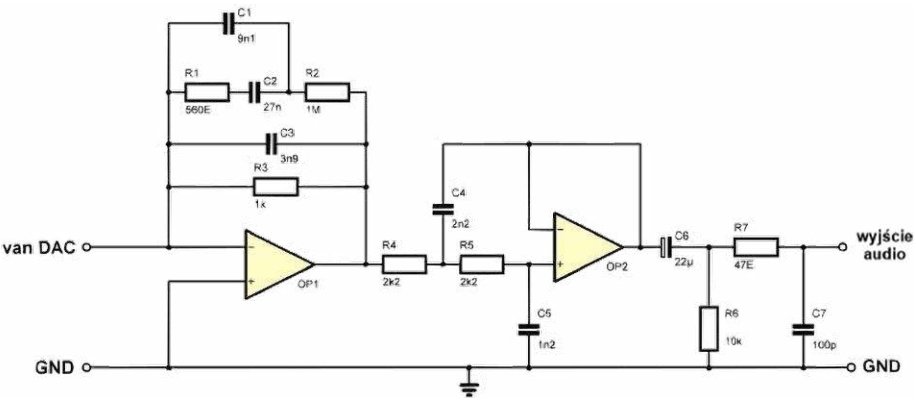
Zalety poczwórnego upsamplingu wynikają bezpośrednio z widma częstotliwościowego takiego sygnału, przedstawionego na powyższym rysunku. Nietrudno zauważyć, że w tej sytuacji projektowanie filtru analogowego nie stanowi już żadnego problemu. Odstęp pomiędzy granicą pasma 20 kHz a pierwszą harmoniczną jest na tyle duży, że w zupełności wystarcza nawet najprostszy, aktywny filtr Bessela trzeciego rzędu.

Użyteczny analogowy filtr dolnoprzepustowy

Dla lepszego zobrazowania zagadnienia na poniższym rysunku przedstawiono praktyczny schemat analogowego filtru, opracowanego przez firmę Philips do zastosowania w odtwarzaczach CD z poczwórnym nadpróbkowaniem.

Wpływ upsamplingu na szum kwantyzacji

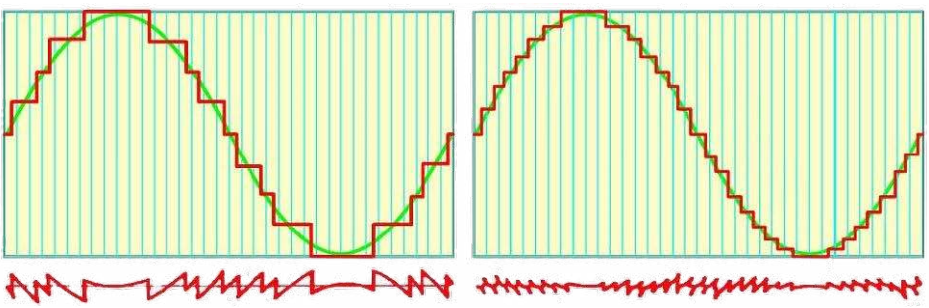
Drugą zaletą zwiększenia częstotliwości próbkowania przetwornika C/A jest to, że szum kwantyzacji zostaje rozłożony na szerszy zakres częstotliwości, a jego udział w paśmie 20 Hz...20 kHz ulega zmniejszeniu. Zjawisko to zilustrowano graficznie na porównaniu przedstawionym na poniższym rysunku. Po lewej stronie pokazano znany już obraz poziomu szumu kwantyzacji przy standardowej częstotliwości próbkowania. Jeżeli jednak zastosuje się upsampling, jeden okres oryginalnego sygnału zostaje częściej odwzorowany w postaci analogowego przebiegu schodkowego. Przy założeniu, że sztucznie wstawione próbki zostały poprawnie obliczone, schodkowy przebieg napięcia znacznie lepiej przybliża kształt oryginalnego sygnału audio. Oba te czynniki prowadzą do zmniejszenia poziomu szumu kwantyzacji oraz do przesunięcia jego częstotliwości podstawowej ku wyższym wartościom, co pokazano na rysunku po prawej stronie. Słyszalnym efektem jest znacznie mniejsza moc szumu w paśmie 20 Hz...20 kHz oraz mniejsze zniekształcenia sygnału.



Analogowy filtr Bessela trzeciego rzędu, który może być stosowany za przetwornikiem C/A z poczwórnym nadpróbkowaniem (© 2019 Jos Verstraten)

Działanie cyfrowego filtru transversalnego
Nie tak proste, jak się wydaje

Logiczne wydawałoby się założenie, że w przypadku podwójnego upsamplingu cyfrowy filtr transversalny wyznacza wartości próbek n oraz n+1, oblicza ich wartość średnią, przekształca ją ponownie na 16-bitowy kod cyfrowy i wstawia tak wygenerowaną, sztuczną próbkę pomiędzy próbki n i n+1. W systemie poczwórnym filtr musiałby wówczas obliczyć trzy próbki pośrednie. Nic bardziej mylnego! Zrozumienie zasady działania cyfrowego filtru transversalnego (DTF) jest niezwykle trudne bez dogłębnej znajomości podstaw elektroniki teoretycznej i matematycznej, a w szczególności teorii dziedziny czasu i częstotliwości. Spróbujmy jednak mimo wszystko! W istocie cyfrowy filtr transversalny wywiera na końcowy sygnał analogowy taki sam efekt jak analogowy filtr dolnoprzepustowy. Szum zostaje zredukowany, a dzięki działaniu DTF analogowy filtr rekonstrukcyjny musi zapewniać znacznie mniejsze tłumienie. Można więc powiedzieć, że DTF pełni rolę pierwszego i podstawowego filtru dolnoprzepustowego, a jego działanie jest jedynie uzupełniane przez drugi filtr – analogowy.


Porównanie szumu kwantyzacji przy standardowym próbkowaniu i przy upsamplingu (© 2019 Jos Verstraten)

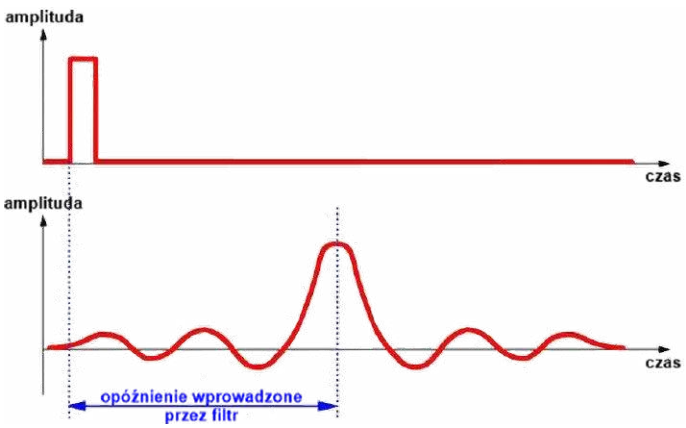
eprasa.pl ba02d99ec4

Jeżeli DTF działa jak filtr dolnoprzepustowy, to musi również podlegać tym samym prawom co tradycyjny filtr analogowy. Układy cyfrowe dostarczają 16-bitowe słowa będące cyfrowymi reprezentacjami napięć analogowych. Ze względu na nieciągły charakter kodu (jego wartość zmienia się bowiem skokowo 44 100 razy na sekundę), napięcie wejściowe DTF można wyobrazić sobie jako ciąg wąskich, stromych impulsów.

Odpowiedź impulsowa filtrów

Kolejnym pytaniem, na które należy odpowiedzieć, jest to, jak analogowy filtr dolnoprzepustowy reaguje, gdy na jego wejście podany zostanie wąski, stromy impuls. Odpowiedź impulsową analogowego filtru dolnoprzepustowego przedstawiono na poniższym rysunku. Istnieje jednoznaczny związek pomiędzy przebiegiem amplitudy na wyjściu, amplitudą impulsu wejściowego oraz przebiegiem czasowym. Przebieg amplitudy może zostać w pełni opisany matematycznie. Dla każdego punktu na osi czasu można więc obliczyć stały współczynnik lub współczynnik k, który – pomnożony przez amplitudę impulsu wejściowego – wyznacza wartość napięcia wyjściowego w danym punkcie czasu. Przebieg napięcia wyjściowego można zatem zdefiniować poprzez obliczenie zestawu współczynników $k(t_n)$, z których każdy określa amplitudę sygnału wyjściowego w chwili t_n. Im więcej takich współczynników zostanie obliczonych, tym dokładniej będzie można odtworzyć napięcie wyjściowe analogowego filtru.

To, co w istocie realizuje cyfrowy filtr transversalny, polega na mnożeniu amplitudy próbki wejściowej przez określone współczynniki, które wyznaczają amplitudy hipotetycznych, nowych próbek rozmieszczonych wzdłuż osi czasu. W ten sposób obliczane są dodatkowe próbki, dzięki którym charakterystyka amplitudowa filtru cyfrowego odpowiada przebiegowi przedstawionemu na poprzednim rysunku. Niestety zagadnienie to znacznie się komplikuje, ponieważ próbki wejściowe pojawiają się w krótkich odstępach czasu, a odpowiedzi wyjściowe filtru na poszczególne próbki nakładają się na siebie. Jest to bezpośrednim skutkiem opóźnienia filtru. Mimo to całą tę złożoną problematykę można jednoznacznie opisać za pomocą równań matematycznych. Podczas wyznaczania współczynników należy więc uwzględniać nie tylko odpowiedź filtru na pojedynczą próbkę wejściową, lecz także nakładający się wpływ odpowiedzi wywołanych przez kolejne próbki. Jest oczywiste, że aby możliwe było wykonanie obliczeń w postaci „współczynnik × amplituda próbki", cyfrowy filtr transversalny musi w danej chwili mieć jednoczesny dostęp do kolejnych próbek sygnału.



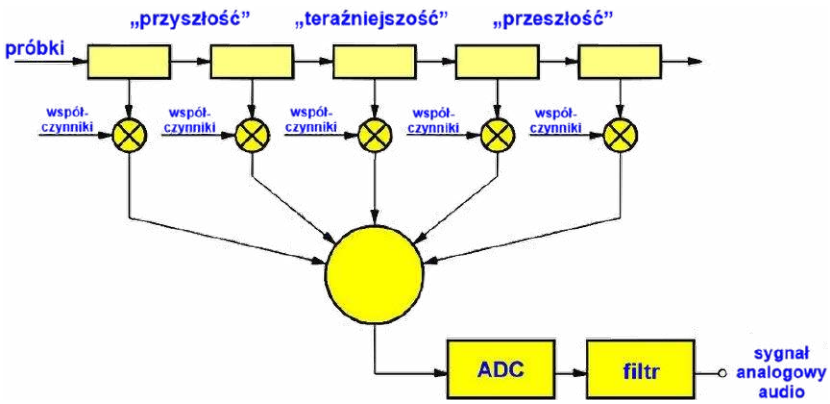
Reakcja filtru dolnoprzepustowego na wąski impuls podany na wejście (© 2019 Jos Verstraten)

Schemat blokowy cyfrowego filtru transversalnego

Z tego powodu cyfrowy filtr transversalny jest zawsze zbudowany zgodnie ze schematem blokowym przedstawionym na poniższym rysunku. Szesnastobitowe próbki cyfrowe, pochodzące z układów cyfrowych, są wprowadzane do rejestru przesuwnego. Rejestr ten można traktować jako odpowiednik osi czasu z poprzedniego rysunku. Próbka cyfrowa wczytana w danej chwili zostaje bowiem po pewnym czasie przesunięta do środka rejestru. Rejestr przesuwny posiada odczepy prowadzące do binarnych mnożników. W tych blokach wartości próbek są mnożone przez wcześniej wspomniane współczynniki. W miarę przesuwania się próbki przez rejestr, po każdym przesunięciu jej wartość jest mnożona przez kolejny współczynnik. W ten sposób odwzorowywana jest odpowiedź analogowego filtru. Wszystkie obliczone w ten sposób nowe wartości trafiają następnie do swego rodzaju układu sumującego. Tam uwzględniany jest efekt nakładania się odpowiedzi i tworzony jest nowy strumień próbek. W systemie wykorzystującym 14-bitowe przetworniki C/A nowy strumień próbek składa się z 14-bitowych próbek generowanych z podwójną lub poczwórną częstotliwością.

Charakterystyki cyfrowego filtru transversalnego

Cyfrowy filtr transversalny (DTF) jest więc rzeczywistym filtrem dolnoprzepustowym. Jako taki posiada on określoną charakterystykę amplitudowo-częstotliwościową. Na poniższym rysunku przedstawiono tę charakterystykę dla filtru DTF typu SAA7220, opracowanego przez firmę Philips. Charakterystyka ta jest niemal idealna. Niewielkie pofalowanie w paśmie przepustowym wynika z błędów zaokrągleń wartości zastosowanych współczynników filtru. Dokładność



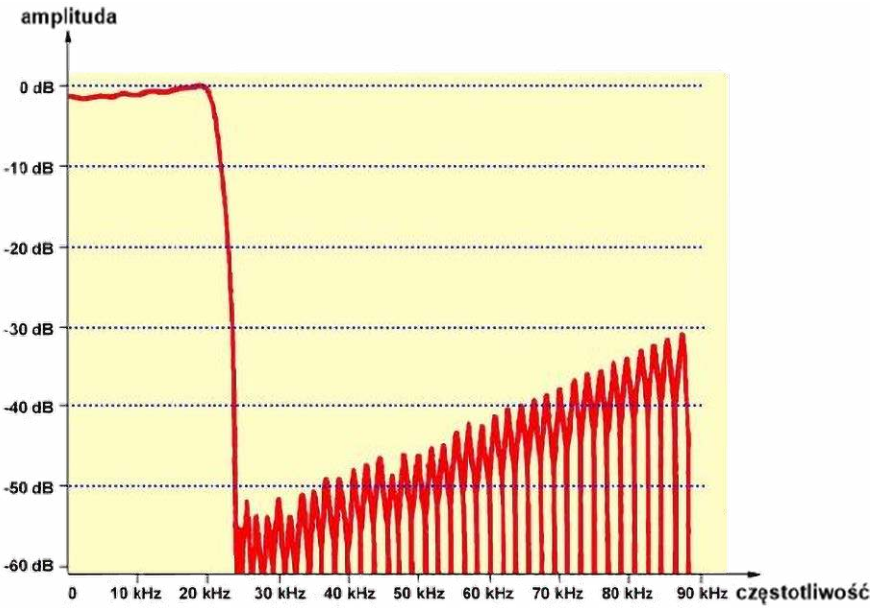
Zasadnicza struktura cyfrowego filtru transversalnego (© 2019 Jos Verstraten)

eprasa.pl ba02d99ec4

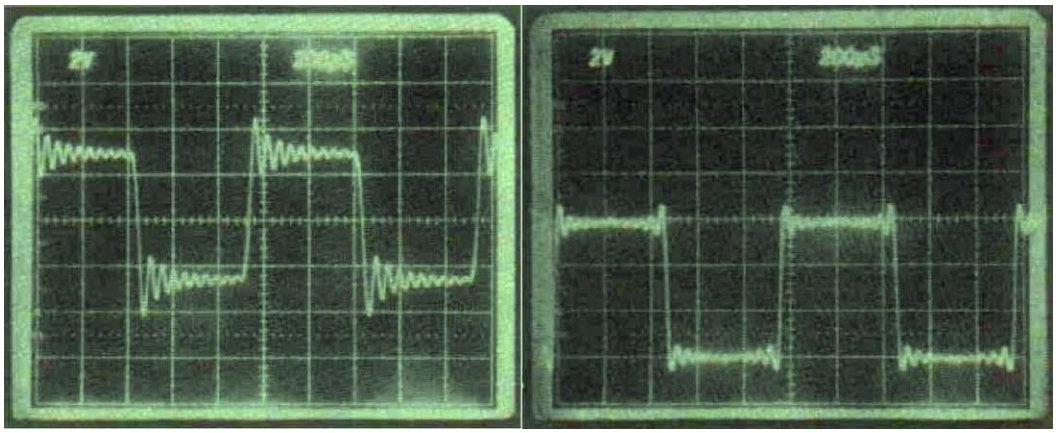
działania filtru zależy od długości wewnętrznego rejestru przesuwnego. Im jest on dłuższy, tym dłużej dana próbka cyfrowa pozostaje w filtrze i tym większa liczba współczynników amplitudowych może zostać obliczona.

Również pod względem różnic opóźnień oraz przesunięć fazowych cyfrowy filtr transversalny wypada znacznie lepiej niż analogowy filtr wysokiego rzędu. Dla ilustracji na poniższym rysunku porównano dwa obrazy przebiegu prostokątnego o częstotliwości 1 kHz. Oscylogram po lewej stronie przedstawia odpowiedź analogowego filtru jedenastego rzędu, natomiast po prawej – odpowiedź cyfrowego filtru transversalnego. Komentarz wydaje się zbędny! ■

Jos Verstraten



Charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa cyfrowego filtru transversalnego SAA7220 firmy Philips (© 2019 Jos Verstraten)



Porównanie odpowiedzi impulsowej analogowego filtru jedenastego rzędu oraz cyfrowego filtru transversalnego (© Elrad-lab)

REKLAMA

eprasa.pl ba02d99ec4

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

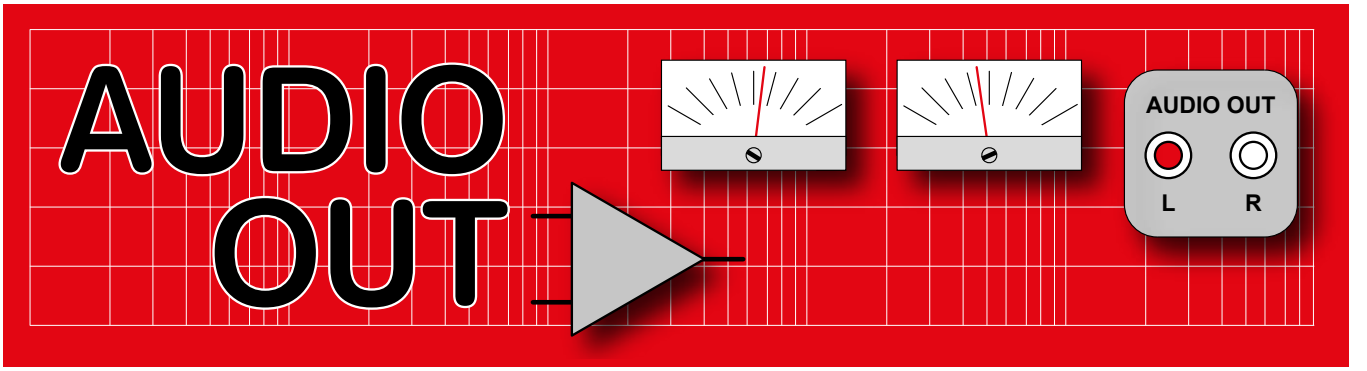
-6%

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



Uniwersalna płytka z pojedynczym wzmacniaczem operacyjnym, zoptymalizowana do zastosowań w układach akustycznych, część 2

W zeszłym miesiącu zaprezentowaliśmy uniwersalną płytkę PCB z pojedynczym wzmacniaczem operacyjnym, przydatną podczas projektowania nowych układów. Płytka ta może być również wykorzystana jako moduł w docelowych urządzeniach. Zawiera ona wzmacniacz operacyjny w wersji do montażu przewlekanego lub powierzchniowego, wokół którego można rozmieścić sporo elementów pasywnych. Dzięki temu można zbudować wiele układów wzmacniających różnego typu.

Płytka została stworzona z myślą o układach audio, jednak nie ma żadnego powodu, dla którego nie można by jej było używać w innych przypadkach.

Omówiliśmy już trzy konfiguracje wzmacniaczy operacyjnych, w tym nieodwracającą, odwracającą i sumującą, a w tym miesiącu przyjrzymy się trzem kolejnym, przydatnym projektom.

Wzmacniacz różnicowy

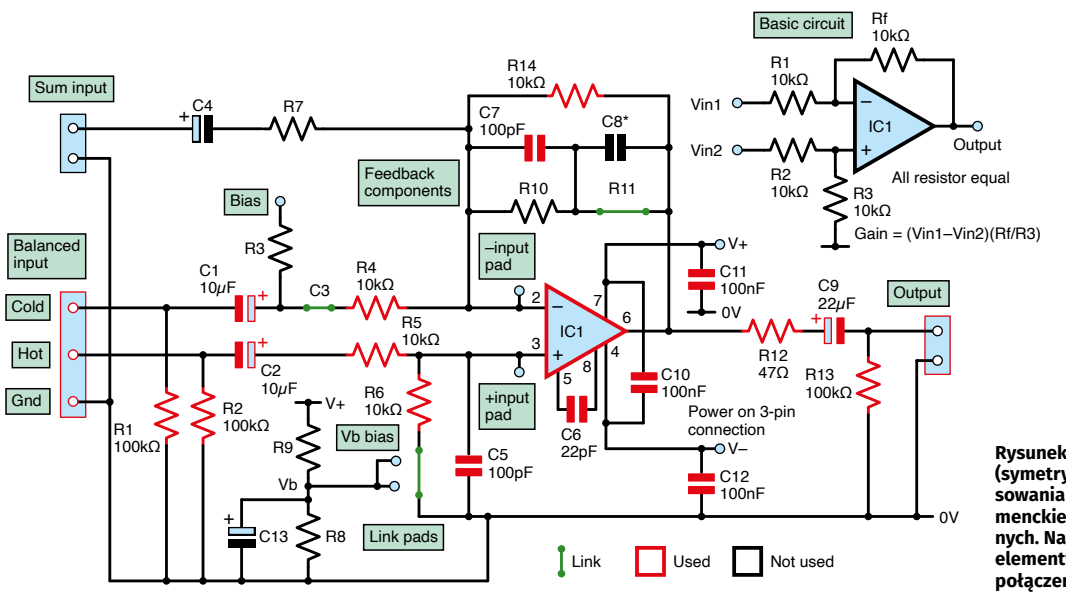
Wzmacniacz ten umożliwia realizację zrównoważonego, symetrycznego wejścia w sprzęcie audio klasy konsumenckiej, wyprowadzonego na trójpinowe złącze Molex. Punkty lutownicze przeznaczone dla kondensatora C3 są zwarte odcinkiem przewodu. Podobnie jak w przypadku wzmacniacza nieodwracającego, rezystor R6 może być połączony z punktem dostarczającym napięcie polaryzacji podczas pracy z zasilaniem niesymetrycznym. Schemat układu pokazano na **rysunku 18**, rozkład elementów na płytce na **rysunku 19**, a gotową płytkę na **rysunku 20**.

Omówiliśmy już podstawowe konfiguracje wzmacniaczy operacyjnych, a teraz przedstawiamy kilka bardziej specjalistycznych układów, które można zbudować na naszej płytce.

Wzmacniacz gramofonowy z korekcją RIAA

Jest to jeden z bardziej złożonych układów, jaki można zbudować na tej płytce. Wprowadzenie korekcji w celu uzyskania charakterystyki RIAA, pokazanej na **rysunku 21**, wymaga zastosowania elementów o niestandardowych wartościach, z tolerancją 2% lub lepszą. Wartości te są trudne do wyznaczenia, ale Douglas Self wskazał je w swojej książce „Electronics for Vinyl". Obecnie zdobycie rezystorów z szeregu E96 nie jest trudne, a w przypadku elementów Vishay 1% MRS25 ceny w firmie Farnell są rozsądne. Jeśli chcesz stworzyć zapas na całe życie, czyli kupisz 100 sztuk, firma Mouser oferuje jeszcze tańsze produkty Yeago MFR-25FBF52 1%. Często rezystory z szeregu E96 mają tolerancję 0,1% i mogą kosztować fortunę, więc opcje z tolerancją 1% są warte rozważenia.

Kupno kondensatorów o wymaganych pojemnościach jest praktycznie niemożliwe, a elementy pojemnościowe o tolerancji ±1% lub



Rysunek 18. Wzmacniacz różnicowy (symetryczny), układ służący do przystosowania sprzętu audio klasy konsumenckiej do zastosowań profesjonalnych. Na tę konfigurację składają się elementy zaznaczone na czerwono oraz połączenia wyróżnione kolorem zielonym

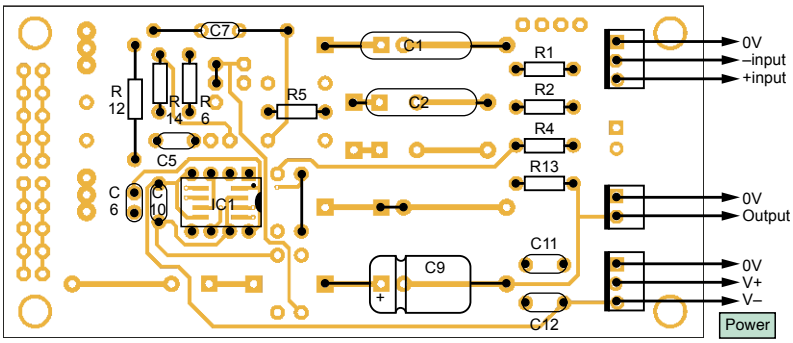
eprasa.pl ba02d99ec4

2,5% są uważane za rarytasy, jednak walijska firma LCR nadal produkuje doskonałe kondensatory polistyrenowe o niskiej tolerancji.

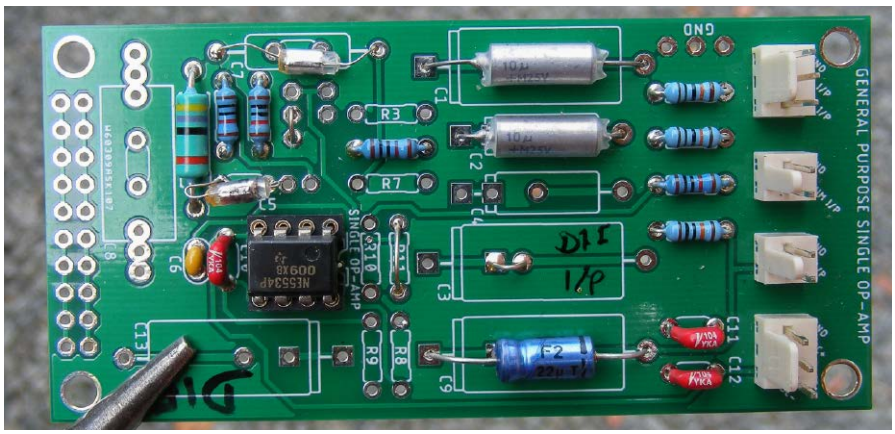
W moim przypadku zastosowane zostały kondensatory pochodzące z demontażu starych filtrów analogowych. Pojemność 50,15 nF (C8) uzyskałem, łącząc równolegle dwa kondensatory Suflex 1% 24,76 nF przy użyciu dodatkowych pól lutowniczych, jak pokazano wcześniej na rysunku 6. Można jeszcze dodać kondensator 680 pF, aby uzyskać większą precyzję. Drugi kondensator (C7) musi mieć pojemność 14,32 nF. Ja go wykonałem z połączonych równolegle kondensatorów 13 nF i 1,3 nF. Do wykonania kondensatora C8 można użyć pięciu kondensatorów o pojemności 10 nF lub dowolnej innej kombinacji elementów.

W układzie opisanym powyżej wykorzystane zostały pierwotne wartości pojemności, pochodzące z publikacji Douga Selfa. Aby uzyskać prostszą wersję układu (**rysunek 24**, dolna część), postanowiłem podwoić wartości rezystorów i zmniejszyć o połowę wartości kondensatorów, tak aby w układzie użyte były tylko dwa kondensatory, jeden o pojemności 24,76 nF i jeden o pojemności 7,15 nF. W wyniku takiej zmiany poziom szumu wzrasta o około 1 dB z powodu wyższej impedancji elementów. Aby odwzorować końcową część krzywej RIAA, czyli uzyskać poziom –20 dB przy 20 kHz, w stosunku do 1 kHz, wymagany jest dodatkowy filtr dolnoprzepustowy. Wynika to z faktu, że konfiguracja nieodwracająca ma minimalne wzmocnienie równe jeden. Korektę osiąga się poprzez wstawienie kondensatora o pojemności 4,7 nF w miejsce rezystora R13 i zwiększenie nominalnej wartości rezystora R12 do 510 Ω. Te elementy powinny zostać pominięte, jeśli w kolejnych stopniach toru akustycznego zapewnione jest odpowiednie tłumienie przy częstotliwości 66 kHz, jak to zwykle ma miejsce w przypadku kondensatorów stabilizujących lub transformatora równoważącego wyjście. Kondensator kompensacyjny (C6) ma pojemność 4,7 pF, co sprawdza się w praktyce, mimo że przy wysokich częstotliwościach wzmocnienie układu spada do jedności. Teoretyczna wartość powinna wynosić 22 pF, jednak najniższe zniekształcenia przy wysokich częstotliwościach osiąga się dla niższych pojemności. Wszystkie kondensatory sprzęgające mogą być tantalowe. Nie ma problemu ze zniekształceniami, ponieważ amplituda sygnału mieści się poniżej 1 Vpp. W układzie z zasilaniem symetrycznym polaryzacja kondensatorów nie ma znaczenia, choć bardziej pedantyczni konstruktorzy mogą dobrać biegunowość kondensatorów zgodnie z napięciem niezrównoważenia wzmacniacza operacyjnego (offsetem DC).

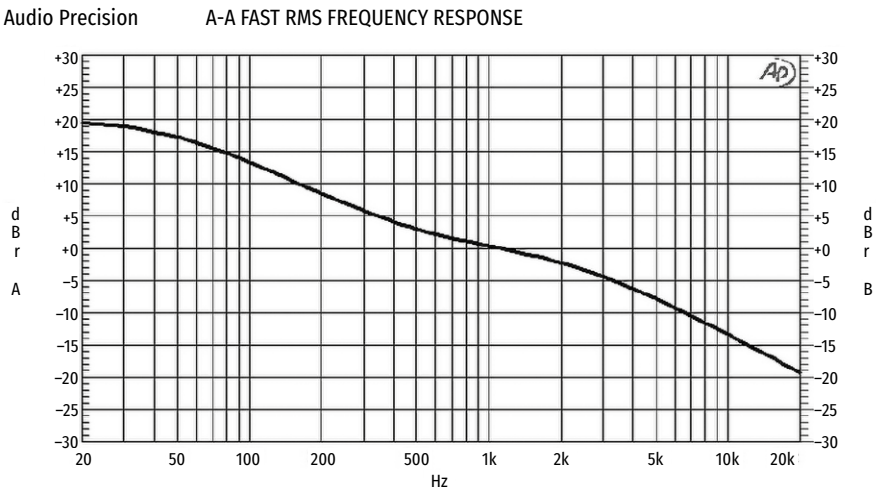
W przypadku wzmacniaczy operacyjnych o wysokich prądach polaryzacji tranzystorów wejściowych, takich jak NE5534, napięcie niezrównoważenia na wyjściu jest zazwyczaj ujemne. Dlatego też ujemny biegun kondensatora elektrolitycznego powinien być podłączony do wejścia wzmacniacza operacyjnego. Schemat układu pokazano na **rysunku 22**, rozkład elementów na **rysunku 23**, a ostateczną konstrukcję na **rysunkach 24a** i **b**. Układ NE5534 nadal jest jednym z najlepszych wzmacniaczy operacyjnych do przedwzmacniaczy gramofonowych, szczególnie dla wkładek z ruchomą cewką. Wersja NE5534A ma gwarantowany



Rysunek 19. Rozkład elementów wzmacniacza różnicowego na płytce drukowanej

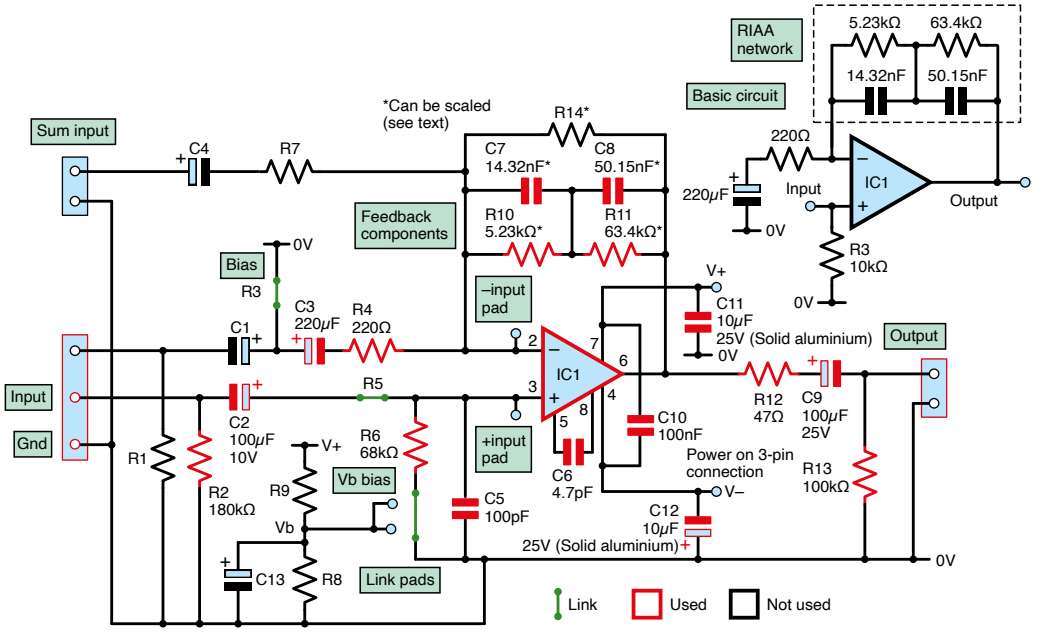


Rysunek 20. Gotowa płytka wzmacniacza różnicowego



Rysunek 21. Zmierzona krzywa RIAA wzmacniacza gramofonowego, przedstawionego na rysunku 22. Wzmocnienie przy 1 kHz wynosi 30 dB. Maksymalne wzmocnienie wynosi 50 dB przy 20 Hz, co daje napięcie wyjściowe 150 mV dla typowej wkładki gramofonowej. Uzyskanie takich parametrów wymaga dużego wzmocnienia wzmacniacza operacyjnego w otwartej pętli, jednak takie podejście zazwyczaj zapewnia najlepszą odporność na zakłócenia i przeciążenia, jeśli wzmocnienie i korekcja są realizowane w pierwszym stopniu wzmacniającym

eprasa.pl ba02d99ec4

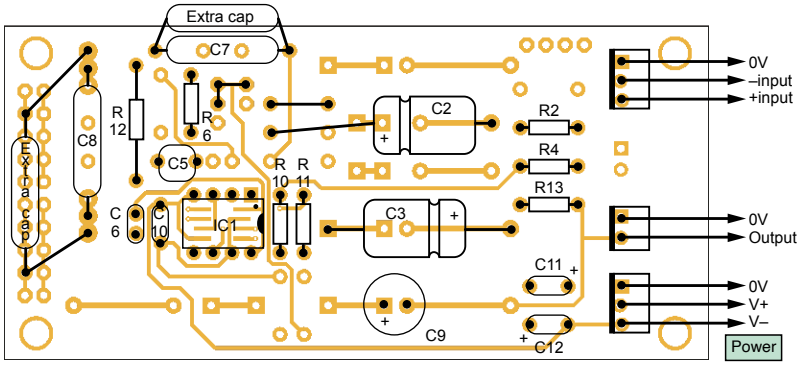


Rysunek 22. W układzie wzmacniacza gramofonowego z korekcją RIAA, jeśli zastosowano tylko jeden wzmacniacz operacyjny, niezbędne są elementy RC o nietypowych wartościach

niski poziom szumów. Podczas swoich prób znacznie lepsze wyniki uzyskałem tylko w układzie zbudowanym w oparciu o elementy dyskretne, zasilanym symetrycznie napięciami ±25 V, z tranzystorem J74 JFET użytym w stopniu wejściowym.

Kompensacja spadku wzmocnienia dla niskich częstotliwości

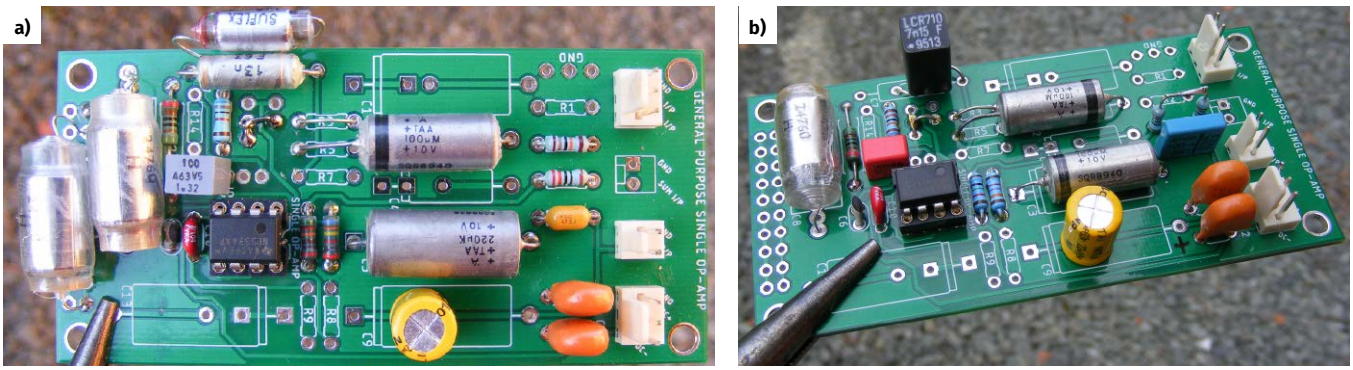
Układy ze sprzężeniem stałoprądowym zapewniają idealne przenoszenie przebiegów prostokątnych przy niskich częstotliwościach, ale mogą powodować niebezpieczne przesunięcia dla prądu stałego. Umieszczenie kondensatora w pętli sprzężenia zwrotnego wzmacniacza nieodwracającego zapewnia ochronę przed zjawiskiem opadania fragmentów poziomych sygnału, gdyż wzmocnienie dla prądu stałego spada do jedności, ale fala prostokątna o niskiej częstotliwości, na przykład 20 Hz, będzie zniekształcona. Profesor Ed Cherry zaproponował metodę kompensacji tego zjawiska, polegającą na zastosowaniu dodatkowego członu RC (ETI, „Wzmacniacz 60 W NDFL", maj 1983 r.). Dzięki tej technice można zmniejszyć pojemności kondensatorów wyjściowych do na przykład 47 µF. Pozwala to na zastosowanie kondensatorów tantalowych o dużej żywotności. Osoby obawiające się zniekształceń mogą zbudować układ bipolarny, składający się z dwóch kondensatorów połączonych końcówkami dodatnimi i spolaryzowanych napięciem 5 V doprowadzonym przez rezystor do punktu ich połączenia. Schemat przykładowego układu przedstawiono na **rysunku 25**, rozkład elementów na **rysunku 26**, a gotową płytkę na **rysunku 27**.



Rysunek 23. Rozmieszczenie elementów wzmacniacza gramofonowego. Zwróć uwagę na dodatkowe kondensatory połączone równolegle

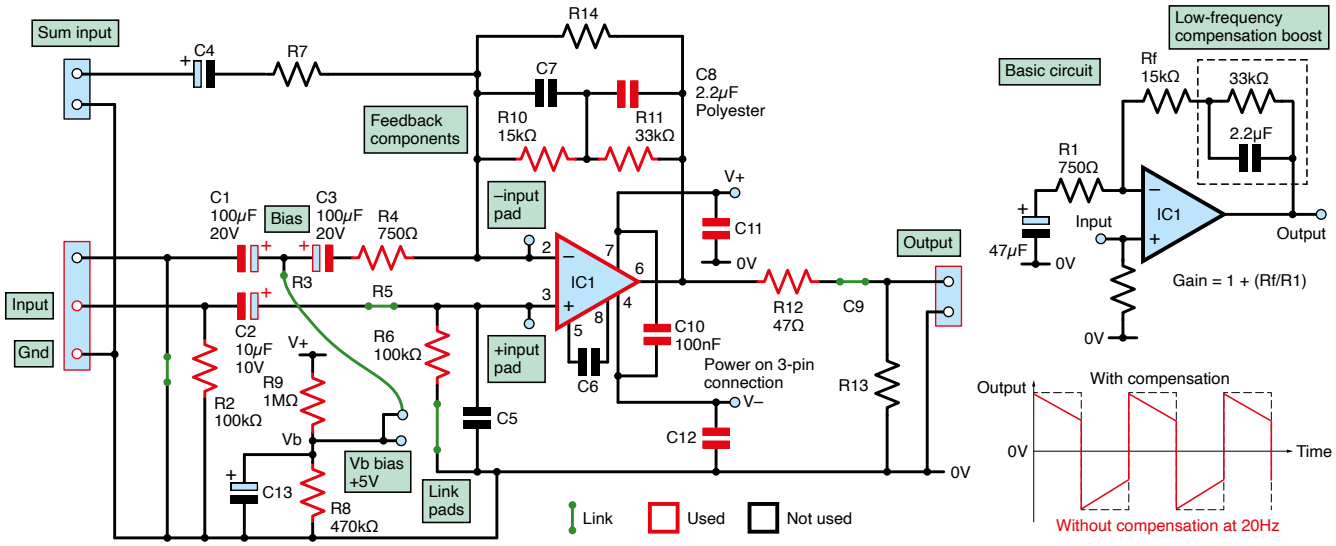
Dodatnie sprzężenie zwrotne

W zdecydowanej większości układów akustycznych, pomiarowych i innych, związanych z przetwarzaniem sygnałów, wykorzystane jest ujemne sprzężenie zwrotne. Dodatnie sprzężenie zwrotne jest zazwyczaj stosowane w oscylatorach i komparatorach pracujących z histerezą. Nasza płytka nie jest

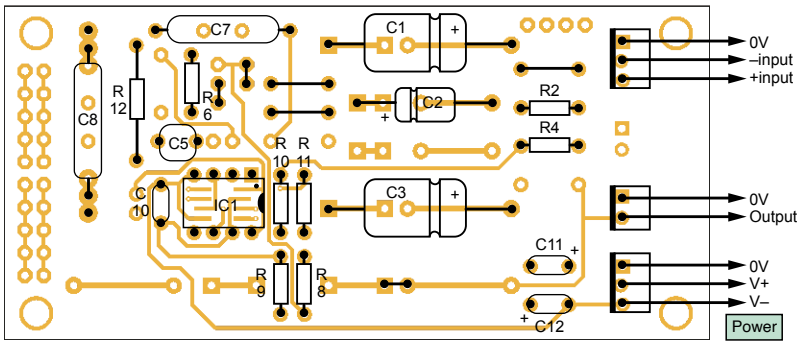


Rysunek 24. (a) Konstrukcja przedwzmacniacza gramofonowego. Montaż jest nieco chaotyczny, ale przynajmniej wszystkie elementy mieszczą się na płytce; (b) Alternatywna konstrukcja wzmacniacza z korekcją RIAA. W miejscach oznaczonych C7 i C8 zastosowano pojedyncze kondensatory o wartościach o połowę mniejszych niż poprzednio. Rezystory R10, R11 i R4 zostały zwiększone odpowiednio do 10,5 kΩ, 127 kΩ i 442 Ω

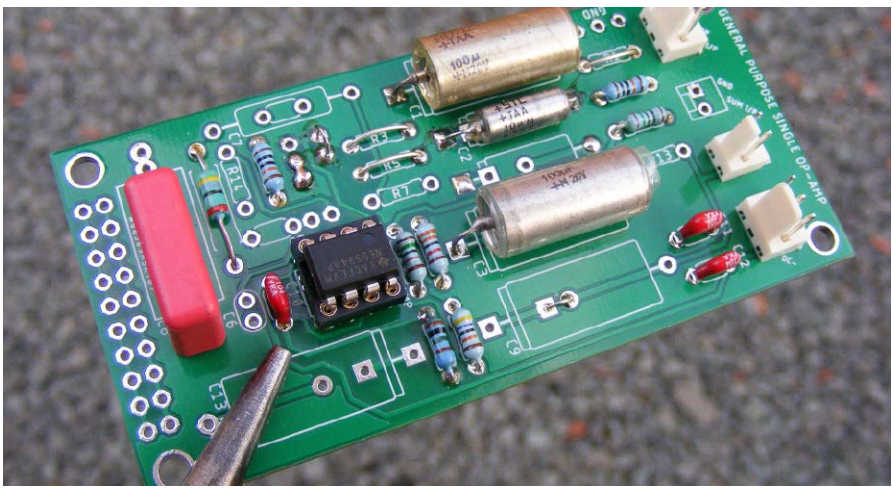
eprasa.pl ba02d99ec4



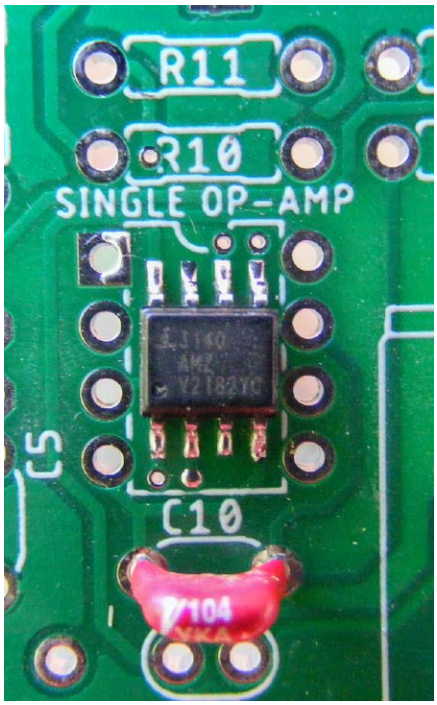
Rysunek 25. Układ do demonstracji działania kompensacji niskich częstotliwości. W celu obserwacji efektu na wejście należy podać sygnał prostokątny o częstotliwości 20 Hz oraz zewrzeć człon kompensacyjny C8 i R11. Oscyloskop powinien pracować w trybie DC. Wzmocnienie wynosi 21×, czyli około 26 dB



Rysunek 26. Rozmieszczenie elementów wzmacniacza z kompensacją niskich częstotliwości



Rysunek 27. Gotowa płytka wzmacniacza operacyjnego z kompensacją niskich częstotliwości. Duży czerwony kondensator (C8) zapewnia kompensacyjne wzmocnienie niskich częstotliwości, równoważące spadek wywołany przez kondensatory w pętli sprzężenia zwrotnego C1, C3 i R4



Rysunek 28. Płytka umożliwia zastosowanie wzmacniaczy operacyjnych w obudowach SMD, takich jak CA3140 z wejściami MOSFET

przystosowana do budowy takich układów, ale jestem pewien, że Czytelnicy znajdą na to sposób.

Lutowanie

Prawdopodobnie nadejdzie taki czas, kiedy akustyczne wzmacniacze operacyjne będą dostępne tylko w obudowach do montażu powierzchniowego, więc płytka zawiera standardowe pole lutownicze SOIC, podłączone równolegle do pinów gniazda DIP. Pokazano to na **rysunku 28**.

Wprowadzając kilka dodatkowych połączeń powinno być możliwe dostosowanie niemal wszystkich układów wzmacniaczy operacyjnych do pracy w filtrach pre-emfazy i de-emfazy, integratorach, żyratorach i w wielu innych konfiguracjach. Jestem pewien, że Czytelnicy dostosują naszą płytkę do swoich potrzeb w sposób ograniczony jedynie ich wyobraźnią. ■

Jake Rothman

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

eprasa.pl ba02d99ec4

Układ do śledzenia Międzynarodowej Stacji Kosmicznej

Opisywany system śledzenia (ang. tracker) Międzynarodowej Stacji Kosmicznej (ISS), oparty na płytce NodeMCU, wskazuje w czasie rzeczywistym pozycję ISS wykorzystując diody LED oraz brzęczyk.

Aby uzyskać dostęp do aktualnej lokalizacji ISS, system łączy się z interfejsem API NASA. Tracker pamięta długość i szerokość geograficzną użytkownika i na tej podstawie oblicza odległość użytkownika od stacji ISS. Odległość ta jest wskazywana z wykorzystaniem LED-ów i brzęczyka. Program sprawdza, czy ISS znajduje się bezpośrednio nad głową użytkownika i jeśli tak, to zapala zieloną diodę LED. Gdy ISS zbliża się do lokalizacji użytkownika, zapalają się stopniowo LED-y czerwone.

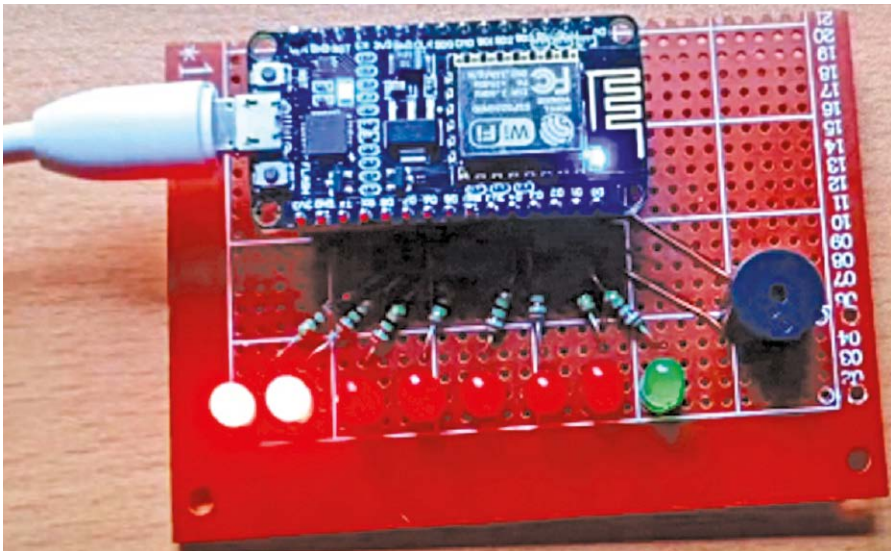
Na **rysunku 1** przedstawiono prototyp autora.

Gdy ISS przelatuje w pobliżu, możliwa jest łączność z astronautami – o ile w danym czasie korzystają z radiostacji. Wymaga to użycia pokładowego urządzenia retransmisyjnego (repeatera) na ISS.

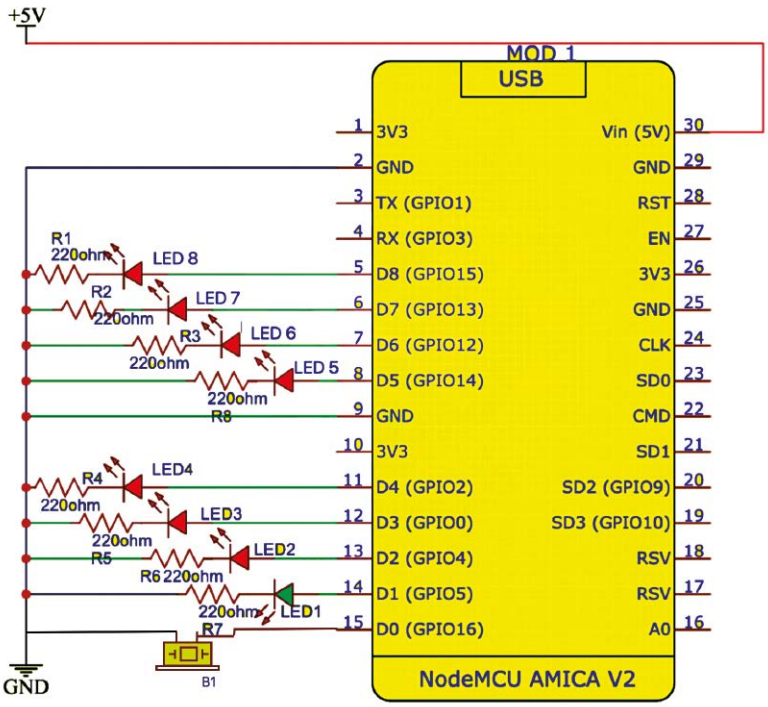
Przypis redakcji: Na pokładzie ISS działa program ARISS (Amateur Radio on the International Space Station), umożliwiający łączność krótkofalarską z wykorzystaniem radiostacji zainstalowanej na stacji kosmicznej. Opisywany w artykule projekt nie realizuje łączności radiowej – jest to urządzenie, które pobiera aktualne dane o położeniu ISS z publicznego internetowego interfejsu API i na tej podstawie sygnalizuje jej przelot za pomocą diod LED oraz brzęczyka.

Części składowe trackera są wymienione w liście elementów.

Schemat systemu pokazano na **rysunku 2**. W skład trackera wchodzi NodeMCU (MOD1), zielona dioda LED (LED1), siedem czerwonych diod LED (LED2...LED8) i osiem rezystorów 220 Ω (R1...R8).



Rysunek 1. Prototyp autora



Rysunek 2. Schemat układu

Oprogramowanie

Program został przygotowany w środowisku Arduino IDE. W pierwszej części instalowana jest biblioteka Wi-Fi, a następnie są ustawiane dane uwierzytelniające, takie jak SSID i hasło sieci Wi-Fi. W celu uzyskania lokalizacji ISS definiowany jest adres serwera

eprasa.pl ba02d99ec4

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <ESP8266HTTPClient.h>
#include <WiFiClient.h>
#include<Arduino_JSON.h>
#include <utility>

using namespace std;

const char* ssid = "WIFI_SSID";
const char* password = "WIFI_PASSWORD";

String serverName = "http://api.open-notify.org/iss-now.json";

unsigned long lastTime = 0;
unsigned long timerDelay = 5000;

float myLongitude = YOUR_LONGITUDE;
float myLatitude = YOUR_LATITUDE;

const float maxLat = myLatitude + 5;
const float minLat = myLatitude - 5;
const float maxLong = myLongitude + 5;
const float minLong = myLongitude - 5;

const int redLeds[] = {D8, D7, D6, D5, D4, D3, D2};
const int greenLed = D1;
const int buzzer = D0;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  for(int i=0;i<7;i++){
    pinMode(redLeds[i], OUTPUT);
  }
  pinMode(greenLed, OUTPUT);
  pinMode(buzzer, OUTPUT);

  WiFi.begin(ssid, password);
```

Rysunek 3. Fragment programu odpowiedzialny za uwierzytelnienie Wi-Fi

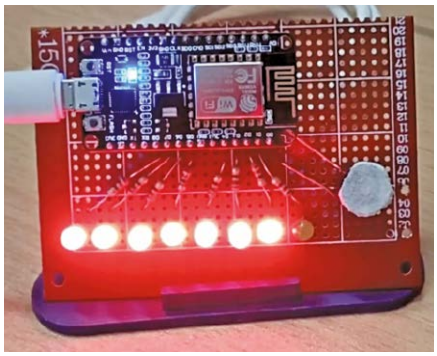
```
    for(int i=0;i<ledsToOn;i++){
      digitalWrite(redLeds[i], HIGH);
    }
    if(ledsToOn != 7){
      for(int i=6;i>=ledsToOn;i--){
        digitalWrite(redLeds[i], LOW);
      }
    }

    if(distance < 0){
      for(int i=0;i<7;i++){
        digitalWrite(redLeds[i], LOW);
      }
    }
}

void loop() {
  // Send an HTTP POST request depending on timerDelay
  float longitude, latitude;
  if ((millis() - lastTime) > timerDelay) {
    pair<float, float> coords;
    coords = getCoordinates();
    longitude = coords.first;
    latitude = coords.second;
    float distance = getDistance(longitude, latitude);
    showStatusOnLed(distance);
    lastTime = millis();
  }
  if(minLong<longitude and longitude<maxLong and minLat<latitude and latitude<maxLat){
    digitalWrite(greenLed, HIGH);
    digitalWrite(buzzer, HIGH);
  }else{
    digitalWrite(greenLed, LOW);
    digitalWrite(buzzer, LOW);
  }
}
```

Rysunek 4. Fragment pętli z funkcją obliczającą odległość od ISS

Lista elementów	
element	**liczba sztuk**
NodeMCU (MOD1)	1
Diody LED czerwone (LED1...LED7)	7
Dioda LED zielona (LED8)	1
Rezystor 220 Ω (R1...R8)	8
Brzęczyk	1



Rysunek 5. Diody LED wskazujące odległość ISS od urządzenia

URL. Na **rysunku 3** widzimy fragment programu z danymi uwierzytelniającymi Wi-Fi. **Rysunek 4** ilustruje funkcjonowanie pętli wyliczającej odległość do Stacji Kosmicznej. W pętli jest wywoływana funkcja znajdowania odległości od ISS do trackera. Zależnie od tej odległości zapalane są diody LED2... LED8. Gdy ISS jest blisko, świeci się zielona dioda LED1. Gdy Stacja znajduje się tuż nad trackerem, rozlega się sygnał dźwiękowy.

Konstrukcja i testowanie

Najpierw w środowisku Arduino IDE wybieramy odpowiedni port i typ płytki. Ładujemy program do NodeMCU. Następnie montujemy LED-y i rezystory oraz NodeMCU zgodnie ze schematem z rysunku 2.

Po załączeniu systemu diody LED będą wskazywać odległość do Stacji Kosmicznej.

Opisywany tracker, oparty na platformie NodeMCU, stanowi fascynujące narzędzie edukacyjne do monitorowania na bieżąco trasy orbitalnej Międzynarodowej Stacji Kosmicznej. System oferuje ekscytującą możliwość komunikowania się z astronautami za pośrednictwem repeatera radiowego ISS. Zbudowanie systemu będzie stanowić dla entuzjastów ważny krok w eksploracji kosmosu. ■

Pushpendra Chandravanshi

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

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

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

eprasa.pl ba02d99ec4

Rękawica „komunikacyjna”

Opisywana rękawica reaguje, gdy zetkniemy kciuk z jednym z czterech pozostałych palców. Akcja taka uruchamia w odbiorniku dzwonek (brzęczyk), który działa przez 5 sekund. Stanowi to sygnał, że potrzebna jest interwencja. Dodatkowo na wyświetlaczu LCD przez 10 sekund wyświetlana jest określona informacja – jedno z czterech słów, skojarzone ze źródłem alarmu. Alternatywnym sposobem wyzwalania jest przyciśnięcie jednego z 4 przycisków. System może znaleźć zastosowanie w różnych dziedzinach – w szpitalach, biurach czy nawet restauracjach.

W szpitalu rękawica pomoże pacjentom w codziennych czynnościach, takich jak przyjmowanie leków, spożywanie posiłków, chodzenie. Często pacjent za sprawą choroby lub osłabienia ma trudności z komunikowaniem się z otoczeniem. Rękawica ten problem rozwiązuje, umożliwiając pacjentom łatwe powiadamianie opiekunów.

W przypadku osób niemych trudności komunikacyjne bywają jeszcze większe. W takich przypadkach opisywany system zapewnia skuteczne rozwiązanie szeregu problemów, umożliwiając pacjentom zgłaszanie swoich potrzeb bez użycia mowy.

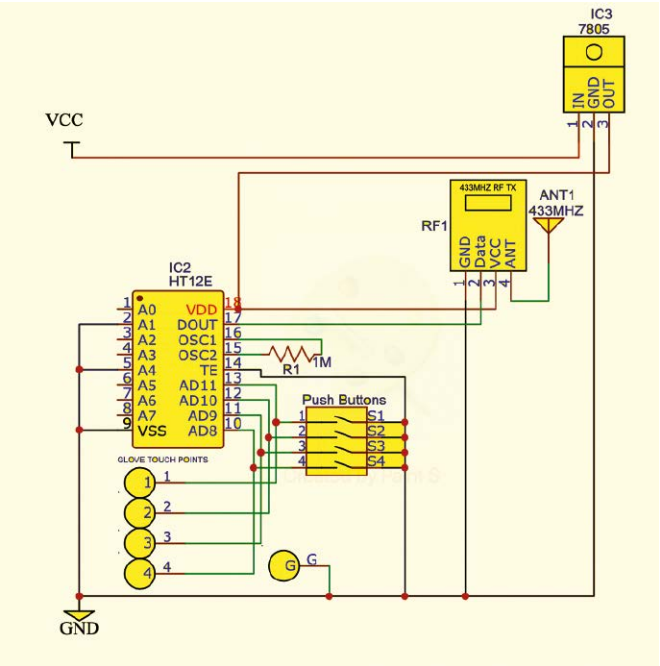
W biurze, zamawianie napojów i przekąsek podczas spotkań i narad zwykle wymaga użycia telefonu i rozmów z obsługą. Rozprasza to uwagę oraz powoduje opóźnienia i przerwy. Dzięki rękawicy zamówienia można składać szybko i dyskretnie, bez zakłóceń, oszczędzając czas.

System okaże się również przydatny w restauracjach. Przy dużej liczbie klientów kelnerzy mają trudności z szybką obsługą. Urządzenie zainstalowane przy stolikach umożliwi klientom składanie zamówień bezpośrednio u kierownika sali lub w kuchni.

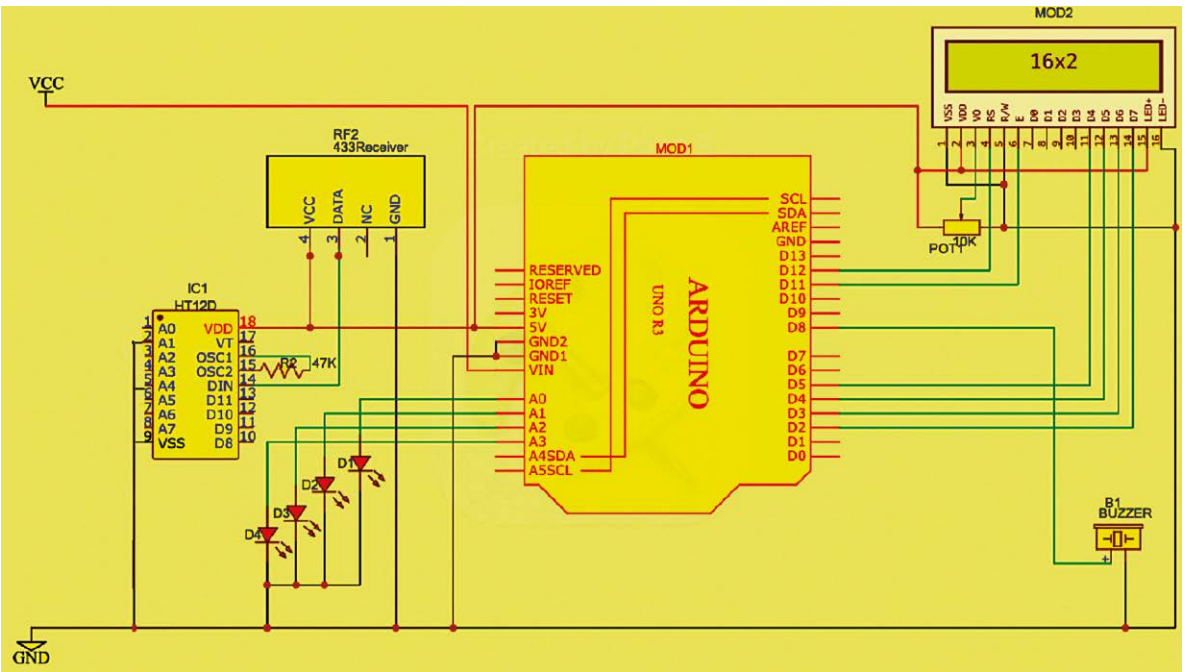
Użyte elementy są wymienione w Liście elementów.

Układ

Urządzenie składa się z dwóch głównych części: nadajnika i odbiornika.

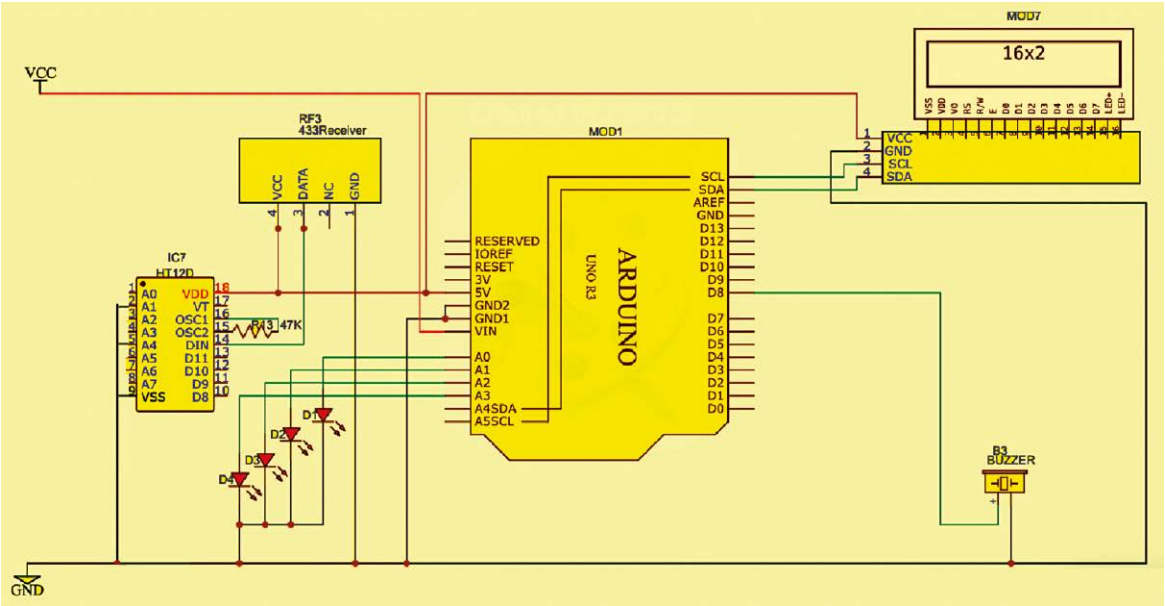


Rysunek 1. Układ nadajnika



Rysunek 2. Układ odbiornika z wyświetlaczem z interfejsem równoległym

eprasa.pl ba02d99ec4



Rysunek 3. Układ odbiornika z wyświetlaczem I²C

```
const int Pin1 = A0;  // First Input pin
const int Pin2 = A1;  // Second Input pin
const int Pin3 = A2;  // Third Input pin
const int Pin4 = A3;  // Forth Input pin
const int buzz = 8;
int State1 = 0;  // variable for reading the First status
int State2 = 0;  //  variable for reading the Second status
int State3 = 0;  //  variable for reading the Third status
int State4 = 0;  //  variable for reading the Forth status
#include <LiquidCrystal.h>
const int rs = 12, en = 11, d4 = 5, d5 = 4, d6 = 3, d7 = 2;
LiquidCrystal lcd(rs, en, d4, d5, d6, d7);
void setup() {
  Serial.begin (9600);
  pinMode(Pin1, INPUT);
  pinMode(Pin2, INPUT);
  pinMode(Pin3, INPUT);
  pinMode(Pin4, INPUT);
  pinMode(buzz, OUTPUT);
 digitalWrite(buzz,LOW);
 lcd.clear();
}
void loop() {
    State1 = digitalRead(Pin1);
    State2 = digitalRead(Pin2);
    State3 = digitalRead(Pin3);
    State4 = digitalRead(Pin4);
    if (State1 == LOW) {
        lcd.begin(16, 2);
        digitalWrite(buzz,HIGH );
   delay(5000);
   digitalWrite(buzz,LOW );
  lcd.print("BREAKFAST");
   delay(10000);
  lcd.clear();
    }
      else
      if (State2 == LOW) {
        lcd.begin(16, 2);
  digitalWrite(buzz,HIGH );
   delay(5000);
   digitalWrite(buzz,LOW );
  lcd.print("LUNCH");
  delay(10000);
  lcd.clear();
    }
```

Rysunek 4. Fragment kodu źródłowego

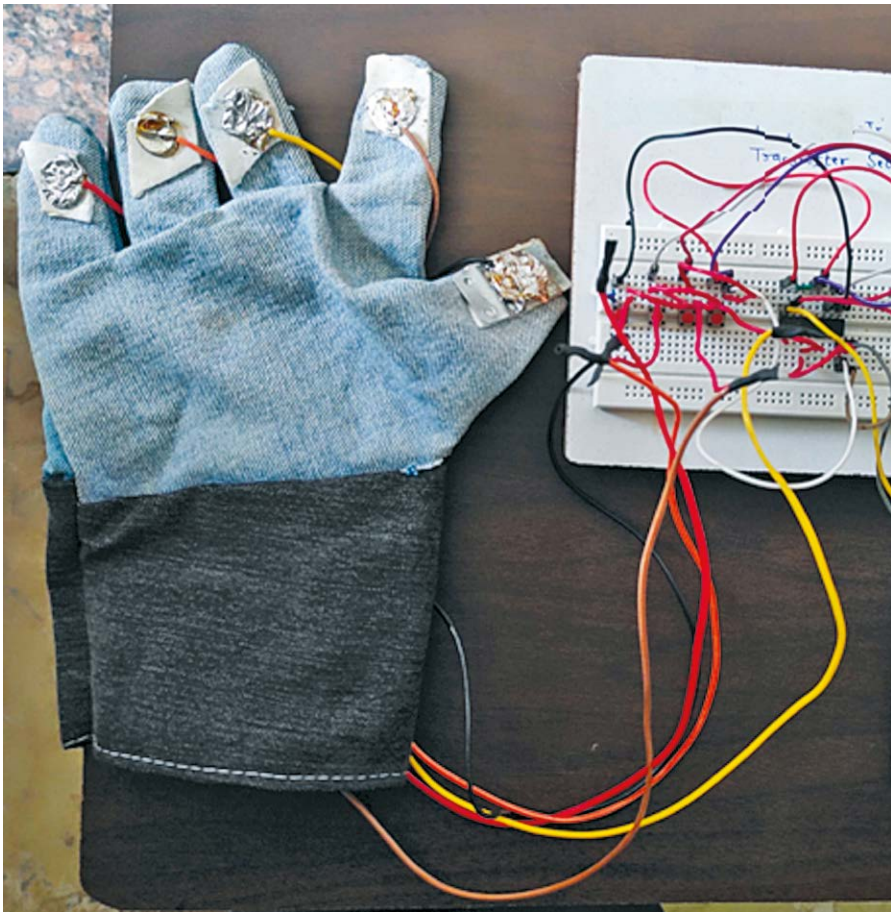
Sekcja nadajnika. Układ (**rysunek 2**) składa się ze scalonego kodera HT12E (IC2), stabilizatora napięcia 5 V 7805 (IC3), nadajnika radiowego 433 MHz (RF1), czterech przycisków (S1 do S4), rezystora 1 MΩ (R1) i kilku innych elementów. Nadajnik nie zawiera mikrokontrolera, nie jest więc do niego wymagany żaden program.

Sekcja odbiornika. Układ (**rysunek 3**) zawiera dekoder HT12D (IC1), zasilacz prądu stałego 5 V, moduł odbiornika radiowego 433MHz (RF2), płytkę Arduino Uno (MOD1), wyświetlacz LCD 16×2 (MOD2), cztery diody LED (D1 do D4), brzęczyk (B1) oraz parę innych elementów. Sekcja odbiornika zawiera program przetwarzający przychodzące sygnały, wyświetlający odpowiednie komunikaty na wyświetlaczu i aktywujący brzęczyk. Program został napisany w środowisku Arduino IDE.

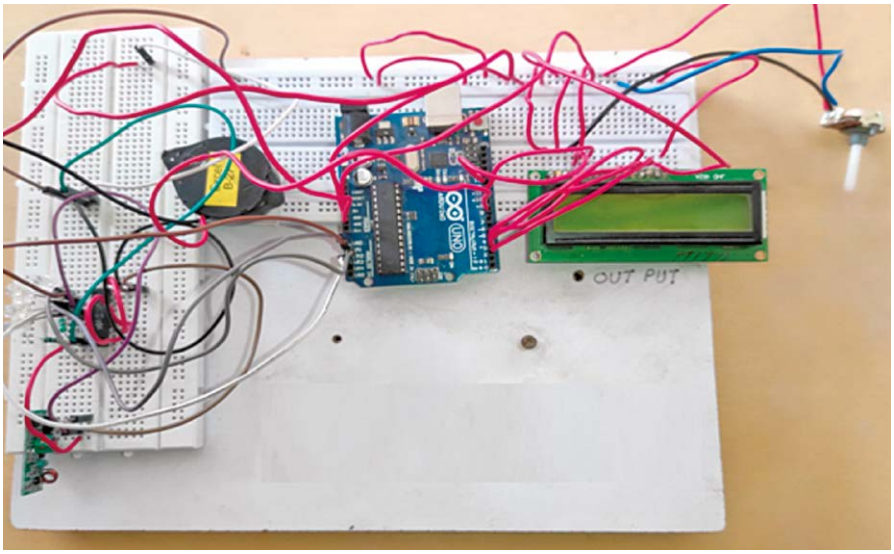
Alternatywny układ odbiornika z wyświetlaczem sterowanym przez I²C pokazano na **rysunku 4**. Prototyp tego układu nie został zbudowany.

Lista elementów	
element	**liczba sztuk**
Moduł radiowy nadawczo-odbiorczy 433MHz (RF1, RF2)	2
Układ scalony dekodera HT12D (IC1)	1
Układ scalony kodera HT12E (IC2)	1
sterownik Arduino Uno (MOD 1)	1
Zasilacz prądu stałego 12V 1A	1
Brzęczyk (B1)	1
Niebieska dioda LED 5 mm (D1...D4)	4
Wyłącznik przyciskowy (S1...S4)	4
Akumulator 3,7 V	2
Obudowa/uchwyt na akumulator	1
Wyświetlacz LCD 16×2 znaków (MOD 2)	1
Stabilizator napięcia 5 V 7805 (IC3)	1
Rezystor 1 MΩ (R1)	1
Rezystor 47 kΩ (R2/R3)	1
Potencjometr dostrojczy 10 kΩ (POT 1)	1

eprasa.pl ba02d99ec4



Rysunek 5. Prototyp nadajnika



Rysunek 6. Prototyp odbiornika

Działanie

Moduły radiowe nadajnika i odbiornika (RF1, RF2) zapewniają bezprzewodową transmisję informacji. System łączy działanie Arduino Uno, modułów radiowych oraz wyświetlacza.

Gdy w rękawicy którymś palcem dotykamy kciuka (lub gdy naciskamy przycisk), nadajnik wysyła przez radio odpowiedni sygnał. Jest on odbierany przez odbiornik (RF2), co jest sygnalizowane krótkim mignięciem niebieskiej diody LED. Odebrane słowo dochodzi do analogowych pinów wejściowych Arduino. Przypis redaktora: na schemacie odbiornika brakuje połączeń z układu dekodera HT12D do Arduino. Należy dołączyć wyjścia D11...D8 do wejść odpowiednio A0...A3). Po odebraniu sygnału, na 5 sekund aktywuje się brzęczyk. Następnie brzęczyk wyłącza się, a na wyświetlaczu jest przez 10 sekund wyświetlany odpowiedni komunikat. W celach demonstracyjnych zaprogramowaliśmy cztery: ‚BREAKFAST', ‚LUNCH', ‚DINNER' i ‚TEA/COFFEE' („śniadanie", „obiad", „kolacja", „herbata/kawa"). Na wyświetlaczu pojawia się jeden z tych komunikatów w zależności od tego, którym palcem dotknięto kciuka lub który przycisk naciśnięto.

Oprogramowanie

Do pisania, kompilowania i przesyłania programów do płytki Arduino służy Arduino IDE – zintegrowane środowisko programistyczne. IDE zawiera wbudowane biblioteki, w tym bibliotekę LiquidCrystal, którą należy zainstalować poprzez menedżera bibliotek. Jako piny wejścia zostają zaprogramowane piny analogowe. Odpowiednio konfigurowane są też piny dla wyświetlacza LCD. Rysunek 4 przedstawia fragment kodu źródłowego do obsługi wyświetlacza.

Uwaga redakcji „Electronics For You": w przypadku użycia wyświetlacza z interfejsem równoległym można również użyć adaptera I²C i sterować go z pinów I²C Arduino (A4 i A5). Użycie wyświetlacza z interfejsem I²C pozwoliłoby uprościć układ, eliminując adapter. W przypadku korzystania z adaptera lub wyświetlacza I²C należy odpowiednio dostosować program.

Konstrukcja i testowanie

Montujemy sekcję nadajnika zgodnie z rysunkiem 2. Przed rozpoczęciem montażu warto zapoznać się ze zdjęciem prototypu Autora (**rysunek 5**).

Co do sekcji odbiornika – należy pamiętać o wgraniu programu do Arduino jeszcze przed montażem. Układ montujemy według rysunku 2 lub 3. Rysunek 6 przedstawia prototyp Autora.

Po zmontowaniu nadajnika i odbiornika oraz sprawdzeniu połączeń oba urządzenia załączamy. Testujemy system, dotykając odpowiednich miejsc na rękawicy i obserwując wyjście wyświetlacza oraz nasłuchując dźwięku brzęczyka. ■

Rakesh Jain

Materiał filmowy do artykułu: https://youtu.be/3tG6VQOEzvY

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

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

eprasa.pl ba02d99ec4

Wykrywanie osób z wykorzystaniem Bluetooth Low Energy (BLE)

Wyobraź sobie radosną reakcję dzieci, kiedy otrzymają powiadomienie, że mama, która wraca z pracy, jest tylko o kilka kroków od drzwi wejściowych. Albo klimatyzację, która włączy się automatycznie, gdy zbliżysz się do domu, i powita Cię świeżym, chłodnym powietrzem. Lub inteligentną bramę garażową, która otworzy się akurat wtedy, gdy będziesz dojeżdżał do podjazdu.

Istnieje wiele tego typu aplikacji z różnymi sposobami powiadamiania. W naszym wypadku sposób powiadamiania będzie prosty i zrozumiały dla dzieci. Jest wykrywany smartwatch – „inteligentny zegarek", komunikujący się przez Bluetooth. Układ powiadamiania wykrywa urządzenia Bluetooth Low Energy (BLE) i reaguje, gdy w jego zasięgu znajdzie się smartwatch o określonym adresie MAC.

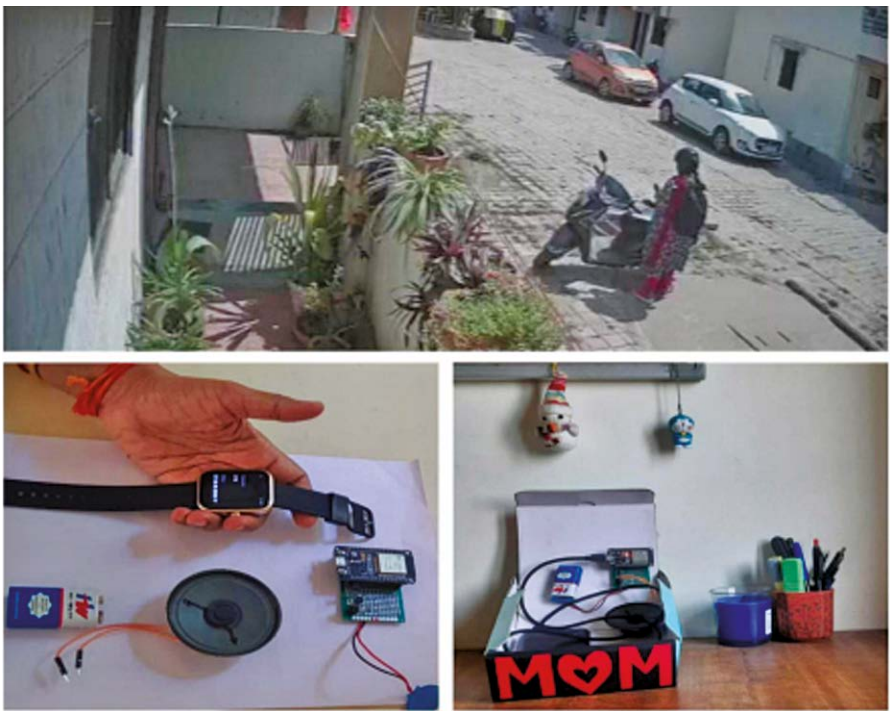
System łączności Bluetooth, choć stosunkowo młody, jest dziś wszechobecny. Wykorzystuje go szereg urządzeń i aplikacji na smartfonach, smartwatchach, tabletach, laptopach oraz iPadach. Dominującym wariantem jest Bluetooth Low Energy (BLE), znajdujący coraz więcej różnorodnych zastosowań. W niniejszym projekcie wykorzystano BLE do identyfikacji osoby poprzez wykrycie jej smartfona czy smartwatcha o określonym adresie MAC, co prowadzi do zgłoszenia powiadomienia o jej obecności.

Rysunek 1 pokazuje prototyp pracujący w konfiguracji eksperymentalnej, demonstrującej wykorzystanie BLE. **Rysunek 2** przedstawia schemat blokowy całego systemu.

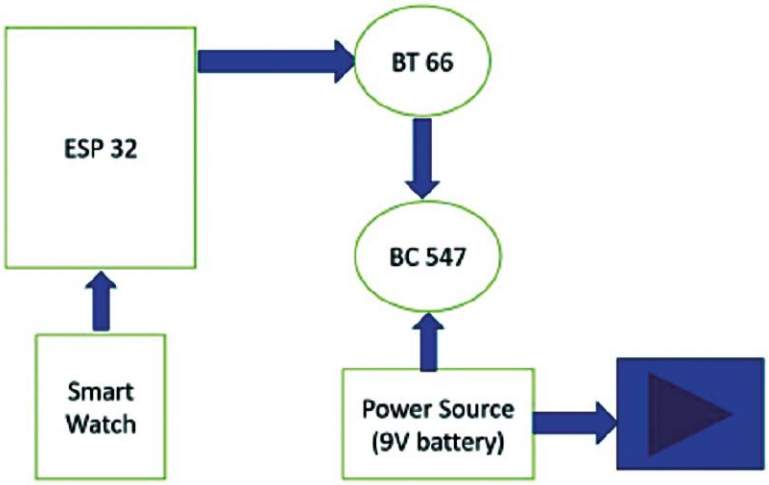
System BLE działa przy najniższym możliwym zużyciu energii, jest też tani i prosty w użyciu, choć ma niską przepustowość.

Tabela 1. Lista elementów

element	ilość
Moduł ESP32 (MOD1)	1
Bateria 9 V	1
Układ BT66 (IC1)	1
Tranzystor BC547 (IC2)	1
Rezystor 1 kΩ (R1)	1
Smartwatch	1
Mały głośnik	1
Przewody połączeniowe	10

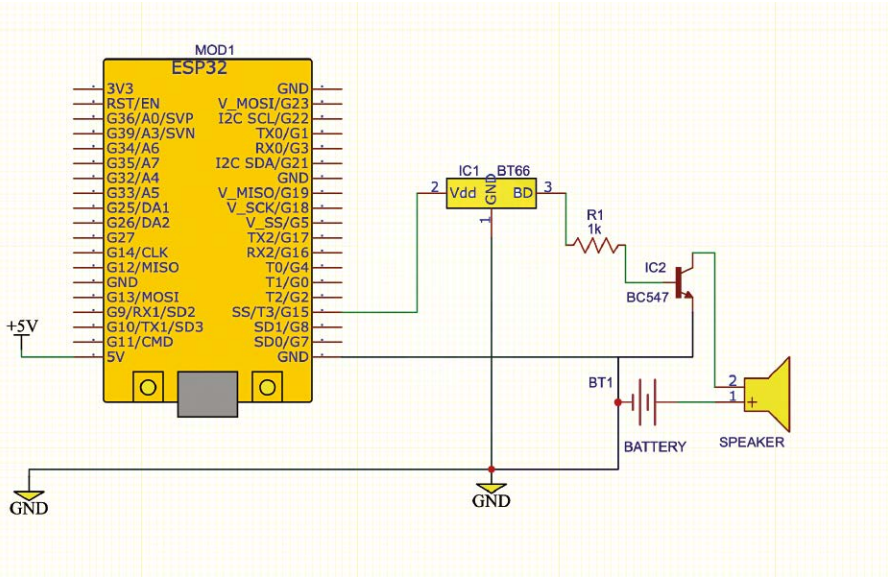


Rysunek 1. Prototyp Autora w systemie eksperymentalnym



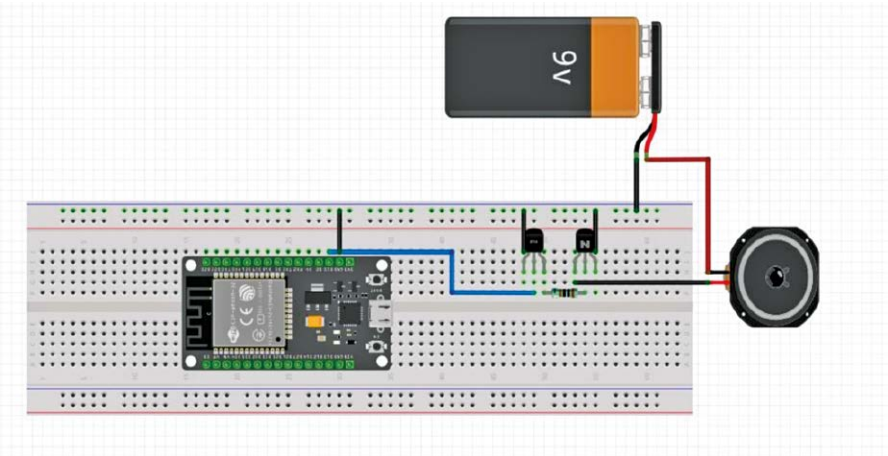
Rysunek 2. Schemat blokowy

eprasa.pl ba02d99ec4



Rysunek 3. Schemat układu powiadamiacza

Standard ten został pierwotnie wprowadzony przez firmę Nokia pod nazwą Wibree, ostatecznie zaś wyłonił się system Bluetooth 4.0 (BLE), standard o rzeczywiście niskim zużyciu energii. Urządzenia BLE mogą działać przez dłuższy czas, czerpiąc zasilanie z baterii wielkości monety. Nie mogą jednak komunikować się z urządzeniami Bluetooth w wersji wcześniejszej niż 4.0. Protokół radiowy, wyższe warstwy protokołu oraz aplikacje są wzajemnie niekompatybilne. BLE, podobnie jak klasyczny Bluetooth, działa w paśmie ISM 2,4 GHz. Jednak, w przeciwieństwie do wariantu klasycznego, BLE pozostaje przez cały czas w trybie uśpienia, z wyjątkiem momentu inicjowania połączenia. Rzeczywisty czas transmisji wynosi zaledwie kilka milisekund, natomiast w klasycznym Bluetooth transmisja zajmuje około 100 ms.



Rysunek 4. Połączenia na płytce stykowej

Listę elementów przedstawiono w **tabeli 1**. Główne różnice między systemami klasycznym Bluetooth i BLE ukazuje **tabela 2**.

BLE może komunikować się z innymi urządzeniami w jednym z dwóch trybów: rozgłoszeniowym (broadcasting) lub połączeniowym (connected). W naszym przypadku wykorzystywana jest metoda rozgłoszeniowa przy użyciu adresu MAC. Zgodnie z wytycznymi ustanowionymi przez ogólny profil dostępu (GAP), komunikacja rozgłoszeniowa obejmuje urządzenie BLE (zwane nadawcą) wysyłające pakiety do dowolnego urządzenia przeprowadzającego skanowanie w jego zasięgu komunikacyjnym. Każde urządzenie zgodne z Bluetooth (zwane obserwatorem) może z łatwością odebrać dane nadawane przez urządzenie BLE. Komunikacja ta jest jednokierunkowa.

Broadcasting wykorzystuje funkcje „reklamowe" BLE (advertising) do wysyłania małych pakietów danych (zazwyczaj 47 bajtów, w tym 31 bajtów danych użytkowych) z wykorzystaniem techniki „przeskakiwania częstotliwości". BLE działa w wolnym od licencji paśmie ISM 2,4 GHz, podzielonym na 40 kanałów komunikacyjnych, każdy o szerokości pasma 2 MHz. Te 40 kanałów obejmuje 3 kanały „reklamowe" i 37 kanałów połączeniowych.

Tabela 2. Główne różnice między klasycznym Bluetooth a BLE

parametr	klasyczny Bluetooth	Bluetooth Low Energy (BLE)
Zasięg	100m	ponad 100 m
Szybkość transmisji danych	1...3 Mbit/s	1 Mbit/s
Przepustowość aplikacji	0,7...2,1 Mbit/s	0,27 Mbit/s
Częstotliwość	2,4 GHz	2,4 GHz
Zabezpieczenie	56/128 bitów	128-bitowy AES z trybem licznika CBC-MAC
Odporność na zakłócenia	Adaptacyjne szybkie przeskakiwanie częstotliwości, FEC, szybkie ASK	24-bitowa kontrola CRC, 32-bitowa kontrola poprawności informacji
Czas dostępu	100 ms	6 ms
Zwłoka	100 ms	3 ms
Obsługa głosowa	Tak	Nie
Topologia sieci	Gwiazda	Gwiazda
Zużycie energii	1 W	0,01...0,5 W
Szczytowy pobór prądu	poniżej 30 mA	poniżej 15 mA

eprasa.pl ba02d99ec4

Tabela 3. Połączenia między ES32, BT66, BC547, głośnikiem, BT1 a rezystorem

ESP32	BT66	R1	BC547	Głośnik	+5V	GND	BT1(-)	BT1(+)
GND	Pin1		E			GND	–	
GPIO15	Pin2							
5V					+5V			
	Pin3	R1						
		R1	B					
			C	2				
				1(+)				+

sketch_may7a.ino

```
1  #include <Arduino.h>
2  #include <BLEDevice.h>
3  #include <BLEUtils.h>
4  #include <BLEScan.h>
5  #include <BLEAdvertisedDevice.h>
6  BLEScan* pBLEScan;
7  BLEClient* pClient = nullptr; // Global variable to hold the BLEClient object int speakerpin=15; // speaker is connected to pin 15
8  class MyAdvertisedDeviceCallbacks : public BLEAdvertisedDeviceCallbacks  {
9  void onResult(BLEAdvertisedDevice advertisedDevice)
10 {
11 Serial.print("Found BLE Device: ");
12 Serial.println(advertisedDevice.getName().c_str());
13 Serial.print("MAC Address: ");
14 String s=advertisedDevice.getAddress().toString().c_str();
15 Serial.println(s);
16 if (s=="XX:XX:XX:XX:XX:XX" || s=="XX:XX:XX:XX:XX:XX")//desired MAC address {
17 digitalWrite(speakerpin, HIGH);
18 delay(5000);
19 digitalWrite(speakerpin, LOW);
20 delay(1800000); // buffer time of half hour
21 delay(1800000); // additional buffer time of half hour
22 }
23 }
24 };
25 void setup()
26 {
27 Serial.begin(115200);
28 Serial.println("Scanning for BLE devices...");
29 pinMode(speakerpin, OUTPUT);
30 BLEDevice::init("");
31 pBLEScan = BLEDevice::getScan();
32 pBLEScan->setAdvertisedDeviceCallbacks(new MyAdvertisedDeviceCallbacks()); pBLEScan->setActiveScan(true);
33 pBLEScan->start(10); // Scan for 10 seconds
34 }
35 void loop()
36 {
37 BLEScanResults foundDevices = pBLEScan->start(5, false);// scans for BLE devices pBLEScan->clearResults(); // delete results fromBLE
38 }
39
```

Rysunek 5. Fragment programu źródłowego

Adres MAC to unikatowy numer o 12 cyfrach szesnastkowych, przypisany do każdego urządzenia podłączonego do sieci. Nadawany jest każdemu egzemplarzowi urządzenia podczas produkcji. Jest zwykle podawany na karcie interfejsu sieciowego urządzenia (NIC).

Adres MAC jest zapisywany na 12 cyfrach szesnastkowych (0...9, A...F) w grupach dwucyfrowych oddzielonych dwukropkami lub myślnikami. Przykład: 01:0A:95:9D:67:16 lub 01-0A-95-9D-67-16. Każda cyfra szesnastkowa reprezentuje cztery bity, każda para cyfr oznacza zatem jeden bajt (oktet). Pierwsze sześć cyfr w adresie MAC wskazuje producenta NIC. Jest to tak zwany „unikatowy identyfikator organizacyjny" (OUI). Pozostałe sześć cyfr jest przypisywanych przez producenta w celu identyfikacji typu i egzemplarza urządzenia.

Adres MAC posiadanego smartwatcha można odczytać, naciskając przycisk „w dół" i przechodząc do ustawień. 12 znaków alfanumerycznych w polu MAC to właśnie wspomniany adres.

Po odczytaniu adresów MAC urządzeń, które mają być wykrywane, można je wpisać do programu skanującego urządzenia BLE znajdujące się w pobliżu. W naszym systemie wykrycie urządzenia o określonym adresie powoduje załączenie generatora melodyjki, który przez tranzystor wysterowuje głośnik. Głośnik nie będzie odtwarzał dźwięku w sposób ciągły, lecz przez ograniczony czas – 5 sekund. Jeśli po tym czasie urządzenie wciąż pozostaje w zasięgu wykrywania, program wykrywa jego obecność, lecz już nie aktywuje głośnika. W programie wprowadzono środek zapobiegający wielokrotnemu powiadamianiu o wykryciu tego samego urządzenia w sytuacji, gdy często znika ono i znów pojawia się w zasięgu. Po pierwszym wykryciu

eprasa.pl ba02d99ec4

i wygenerowaniu melodyjki, wykrywanie zostaje zawieszone na czas 3 600 000 ms, czyli jednej godziny.

Przypis redaktora: w programie Autora do realizacji jednogodzinnej zwłoki użyto podprogramu opóźniającego. Ogromną wadą tego prostego środka jest to, że przez godzinę czekania mikrokontroler nie jest w stanie robić nic innego. Czytelnikom, którzy zdecydują się wykonać opisane urządzenie, można zalecić napisanie lepszego programu, który czas zwłoki wykorzysta efektywniej, np. będzie „inteligentnie" reagować na oddalanie się i ponownie zbliżanie smartwatcha.

Układ i działanie

Rysunek 3 przedstawia schemat układu powiadamiania. Składa się on z płytki ESP32 (MOD1), układu BT66 (IC1), tranzystora NPN BC547 (IC2), niewielkiego głośnika i kilku innych elementów. Połączenia sygnalizatora zrealizowane na płytce stykowej ilustruje **rysunek 4**. W oparciu o ten rysunek można rozmieścić elementy na płytce drukowanej. **Tabela 3** ujmuje połączenia między elementami ES32, BT66, BC547, głośnikiem, baterią 9 V (BT1) i rezystorem.

System Bluetooth Low Energy jest powszechnie stosowany w bezprzewodowych systemach lokalizacji wewnątrz budynków (ILS), gdzie do zlokalizowania obiektu jest najczęściej wykorzystywana siła sygnału odbieranego przez BLE (RSS).

Układ opisany w artykule został przetestowany w pomieszczeniach wielopokojowego budynku z licznymi ścianami, oknami i drzwiami. Działał on prawidłowo z zasięgiem do 15...18 metrów przez ściany i inne przeszkody.

Powiadamiacz wykrywa dowolną osobę, pod warunkiem, że znany jest adres MAC jej smartwatcha. Aby wykluczyć preferowanie którejś z płci, system przeznaczony do informowania dzieci został przetestowany zarówno ze smartwatchem matki jak i ojca. I zadziałało!

Co do programu źródłowego – należy do niego wpisać adres MAC wykrywanego smartwatcha, następnie wybrać typ płytki „ESP32" i wgrać program do płytki. **Rysunek 5** przedstawia fragment kodu źródłowego.

Konstrukcja i testowanie

Po wgraniu kodu źródłowego montujemy płytkę ESP32 i inne elementy na płytce bazowej, jak pokazuje rysunek 3. Załączamy zasilanie układu i zostawiamy go w domu. Bierzemy smartfona, wychodzimy na zewnątrz i oddalamy się. Gdy ponownie zbliżymy się do domu, urządzenie rozpozna ten fakt i powiadomi domowników przez głośnik.

Ten sam układ można zmodyfikować, dodając przekaźnik. Będzie wtedy można automatycznie załączać światło, klimatyzację czy otwierać bramę po powrocie do domu. Układ można również zastosować jako element systemu bezpieczeństwa. Urządzenie będzie wykrywać, że jesteśmy w domu, a po naszym wyjściu automatycznie zablokuje wejście. Ogólnie rzecz biorąc, powiadamiacz można zastosować w wielu obszarach. Zależy to tylko od kreatywności użytkownika. ■

dr Geetali Saha
Maulik Patel

Materiał filmowy do artykułu:
https://youtu.be/9KpTaiRPhC4

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

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

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/ba02d99ec4

TRZECIARĘKA ZD-11P
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – uchwyt z latarką, ZD11P

TRZECIARĘKA ZD-11P-1
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – uchwyt z latarką i lupą, ZD11P-1

TRZECIARĘKA SN-394
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk z lupą 50 mm, przykręcany do blatu Proskit SN-394

BESTSELLERY sklepu AVT – sklep.avt.pl

Trzecia ręka

Rabat dla Czytelników EdW przy zakupie podaj kod **EdW2505TR** **-3%**

Kod ważny do 30.09.2025

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

TRZECIARĘKA ZD-11M-1
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – z uchwytem na szpulkę cyny, ZD11M-1

TRZECIARĘKA ZD-11M-2
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – uchwyt z lupą i podświetleniem LED ZD11M-2

TRZECIARĘKA ZD-11M-3
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – uchwyt z lupą i podświetleniem LED ZD-11M-3

TRZECIARĘKA ZD-11M
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – uchwyt ZD11M

TRZECIARĘKA SN-392
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka” z lupą 90 mm, Proskit SN-392

TRZECIARĘKA
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka” z lupą 60 mm

eprasa.pl ba02d99ec4

ELEKTRONIKA dla wszystkich
nr 03/2026 (21)
JUNIOR

Zosia – Młodzi Entuzjaści Elektroniki, Zagroda CUDów, Trójca

Kostka toczy się po blacie, podskakuje na drewnianym stole w świetlicy, czasem spada na podłogę w szkolnej sali czy w pokoju ośrodka by na koniec zatrzymać się na jednej z sześciu liczb. Rzut kostką w grze to zawsze chwila napięcia i oczekiwania, a towarzysząca temu niepewność sprawia, że gra staje się intrygująca. A co, jeśli zamiast klasycznego sześcianu użyjemy elektroniki? Czy da się odtworzyć ten sam efekt losowości bez bryłki plastiku i bez toczenia po stole? Podczas ostatnich zajęć przekonaliśmy się, że tak – zbudowaliśmy własny, elektroniczny odpowiednik dobrze znanej kostki do gier planszowych.

Ferie zimowe to szczególny czas. Część Juniorów wyjeżdża na obozy, inni odwiedzają dalszą rodzinę, jeszcze inni korzystają z lokalnych zimowych atrakcji. Zorganizowanie zajęć w pełnym składzie bywa wtedy prawdziwym wyzwaniem. Nasza zaprzyjaźniona Szkoła Podstawowa nr 86 we Wrocławiu była oczywiście zamknięta, a większość Juniorów spędzała ferie poza Wrocławiem. Znalezienie osób, które akurat spędzały czas wolny w domu, wymagało niemałej gimnastyki organizacyjnej.

Trop zaprowadził mnie pod Zgorzelec, gdzie ponownie spotkaliśmy się z Juniorami w Zagrodzie CUDów w Trójcy, a przynajmniej częścią z nich. Tym sposobem głównymi bohaterami zajęć zostali Marcel i Zosia. Z wypiekami na twarzach – i w towarzystwie swoich tatów – zmontowali tyle zestawów, że trudno się nam wszystkim było nadziwić.

Co zbudujemy tym razem?

Wśród zmontowanych podczas zajęć projektów znalazła się *Pikająca kostka do gry* (AVTEDU637) – niewielki układ, który przejął rolę tradycyjnej kostki i szybko stał się gwoździem programu. Zamiast rzutu używa się tu przycisku, zamiast toczenia po blacie pojawiają się zmieniające się wskazania diod, a zamiast stukotu plastiku słychać dźwięki z buzzera.

Po naciśnięciu przycisku START układ losuje liczbę od 1 do 6. Wynik przedstawia wzór świecących diod LED odpowiadający klasycznemu rozmieszczeniu oczek. Początkowo zmiany następują szybko, następnie coraz wolniej, aż do całkowitego zatrzymania – jakby kostka rzeczywiście wytracała ruch. Towarzyszą temu charakterystyczne dźwięki, które podkreślają zarówno proces losowania, jak i moment prezentacji wyniku.

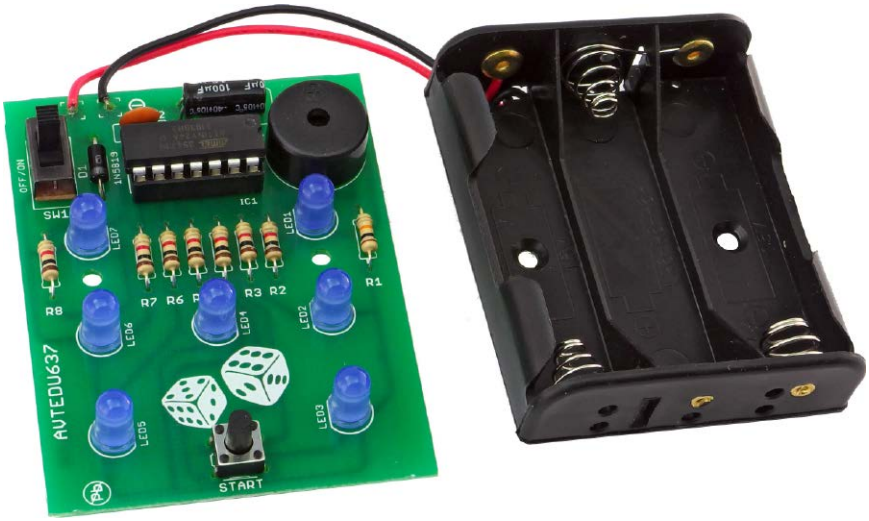
Samodzielnie zmontowany układ może z powodzeniem zastąpić tradycyjną kostkę w grach planszowych, a przy okazji stanowi ciekawy i estetyczny dodatek do rozgrywki.

Na **fotografii 2** pokazano zmontowany układ, a na krótkim filmie pod adresem https://youtu.be/NX-fbZCbKVE możesz zobaczyć, zachowanie kostki podczas losowania.

Schemat montażowy

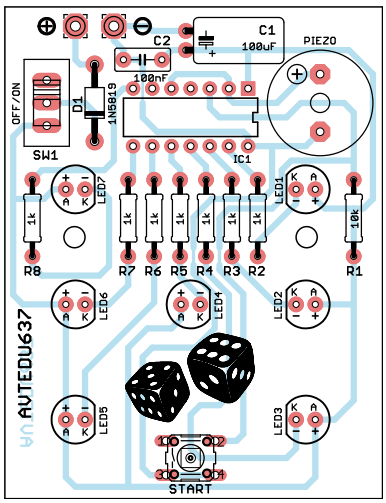
Schemat montażowy to rysunek, który pokazuje, gdzie dokładnie na płytce drukowanej należy umieścić każdy z elementów zestawu.

Fotografia 1. Po lewej Zosia z tatą Wojtkiem, po prawej Marcel z tatą (również Wojtkiem) podczas montażu zestawu *Pikająca kostka do gry* (AVTEDU637). Młodzi Entuzjaści Elektroniki – Zagroda CUDów w Trójcy.



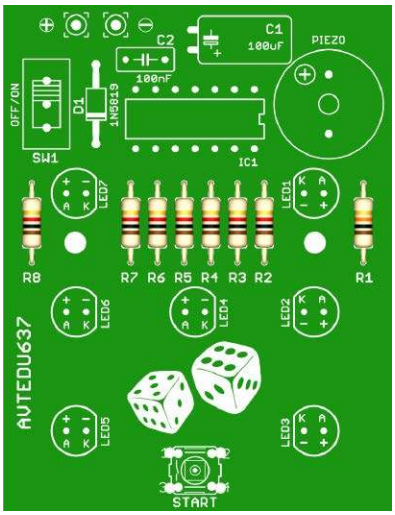
Fotografia 2. ***Pikająca kostka do gry*** **(kod AVTEDU637). Zmontowany układ**

Wykaz elementów:
R1: 10 kΩ (czarny-brązowy-pomarańczowy-złoty)
R2...R8: 1 kΩ (czarny-brązowy-czerwony-złoty)
D1: 1N5819
C1: 100 µF
C2: 100 nF
IC1: ATTINY24A + podstawka
LED1...LED7: niebieska dioda LED 5 mm
START: mikroprzycisk (tact switch)
SW1: włącznik
PIEZO: głośnik piezo
koszyk baterii: czerwony +, czarny –



Rysunek 1. Schemat montażowy układu

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



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

Zanim przystąpisz do montażu...

To już 21. odcinek naszego cyklu dla najmłodszych Czytelników – Juniorów EdW. W związku z tym nie ma potrzeby każdorazowo omawiać zagadnień, które były wielokrotnie przedstawiane i – mamy nadzieję – dobrze przyswojone przez stałych uczestników zajęć.

Jednocześnie, z myślą o nowych osobach dołączających do naszych spotkań, a także dla wygody dotychczasowych uczestników, przypominamy najważniejsze zasady bezpieczeństwa pracy przy montażu układów elektronicznych. Zebraliśmy je w formie krótkich poradników oraz instrukcji BHP – żółty panel z linkami i kodami QR do zeskanowania smartfonem znajduje się na stronie 79.

Szczególnie te ostatnie warto wydrukować w większym formacie (na przykład A3) i umieścić w widocznym miejscu – w swoim pokoju lub w pomieszczeniu przeznaczonym do zajęć z elektroniką.

Montaż rezystorów

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

- Rezystor jest elementem, który ogranicza przepływ prądu w obwodzie elektrycznym. Dzieje się tak dlatego, że ma on określoną rezystancję – właściwość materiału wywołującą spadek napięcia podczas przepływu prądu. Energia elektryczna zamienia się w nim na ciepło, co jest naturalnym skutkiem przepływu prądu przez rezystancję.
- Rezystor nie ma biegunowości – działa tak samo niezależnie od kierunku przepływu prądu. Dlatego jego montaż na płytce nie wymaga uwzględniania orientacji. Ważne jest jedynie, aby w danym miejscu umieścić właściwy rezystor o odpowiedniej wartości. Sam kierunek montażu pozostaje dowolny.
- Rezystory są zazwyczaj jednymi z najniższych elementów montowanych na płytce drukowanej. Ich przylutowanie nie utrudnia późniejszego montażu wyższych komponentów, dlatego lutuje się je zazwyczaj w pierwszej kolejności.
- Spośród wszystkich komponentów znajdujących się w zestawie wyodrębnij rezystory i odłóż je na osobną stertę.
- Pozostałe elementy odłóż na bok, a podczas montażu sięgaj wyłącznie po kolejne rezystory z wcześniej przygotowanej sterty.
- Za każdym razem, gdy weźmiesz do ręki kolejny rezystor, zmierz jego wartość za pomocą multimetru ustawionego w tryb omomierza. Odczytaną rezystancję zapamiętaj.

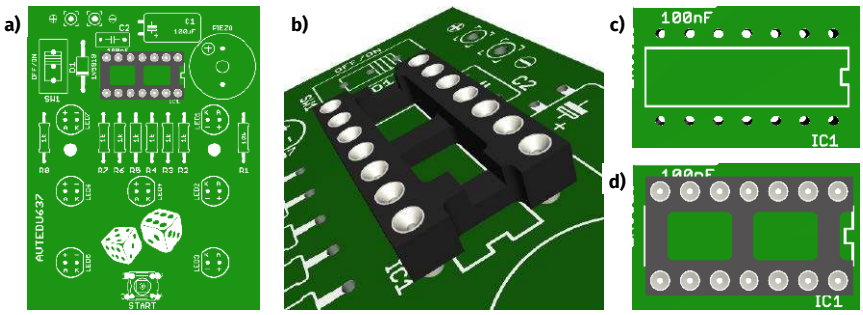
eprasa.pl ba02d99ec4

- Jeśli pomiar rezystorów sprawia Ci trudność, poproś o pomoc kolegę lub osobę prowadzącą zajęcia. Gdy masz dostęp do internetu, możesz też skorzystać z instrukcji dostępnej na stronie https://elportal.pl/do-pobrania – znajdziesz tam dokument „Pomiar wartości rezystorów za pomocą multimetru", przygotowany jako materiał uzupełniający do EdW 11/2024.
- Na dołączonej do zestawu liście elementów odszukaj zmierzoną wcześniej wartość rezystancji (w Ω, kΩ lub MΩ), a następnie odczytaj desygnator lub desygnatory przypisane do tej wartości.
- Zegnij wyprowadzenia rezystora i umieść go w płytce (**rysunek 2**) w miejscu oznaczonym właściwym desygnatorem.
- Zadbaj o to, aby każdy rezystor był włożony do płytki do końca i dobrze do niej przylegał. Estetyczny montaż nie tylko poprawia wygląd gotowego urządzenia, lecz także stabilizuje element w płytce, chroniąc go przed uszkodzeniami mechanicznymi, oraz ułatwia późniejszą diagnostykę i ewentualne naprawy.
- Przylutuj element do płytki. Jeśli nie wiesz, jak to zrobić lub chcesz upewnić się, że wykonujesz tę czynność prawidłowo, przeczytaj sekcję *Zanim przystąpisz do montażu…* oraz zapoznaj się z dostępnymi poradnikami, w szczególności z instrukcjami BHP.
- Usuń nadmiar wyprowadzeń za pomocą obcinaczek. Jeśli nie wiesz, jak to zrobić lub chcesz upewnić się, że wykonujesz tę czynność prawidłowo, przeczytaj sekcję *Zanim przystąpisz do montażu…* oraz zapoznaj się z dostępnymi poradnikami, w szczególności z instrukcjami BHP.

Montaż podstawki pod mikrokontroler

Przylutuj do płytki podstawkę pod układ IC1. Przed przystąpieniem do tej czynności zapoznaj się ze wskazówkami poniżej.

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



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

Dla wygody uczestników, a także po to, by każdy zainteresowany mógł z nich nieodpłatnie skorzystać, dokumenty te umieszczono na Elportalu:

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 ba02d99ec4

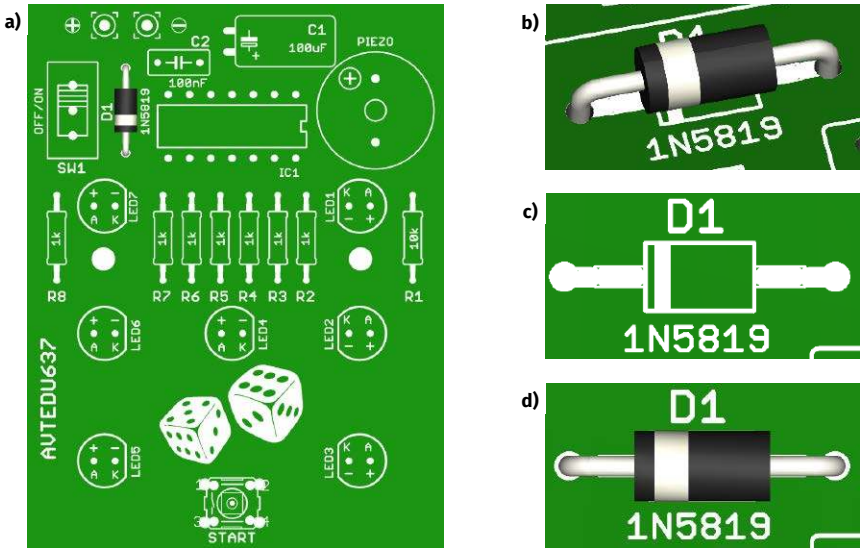
względem blatu. Następnie należy ponownie podgrzać połączone pola lutownicze oraz przy pomocy grotu lutownicy i siły grawitacji pozwolić nadmiarowi cyny spłynąć na blat. Dzięki temu uwolnisz pady podstawki od zwarć.

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

Montaż diody Schottky'ego

Kolejnym elementem do zamontowania jest dioda Schottky'ego D1 typu 1N5819. Przed przystąpieniem do tej czynności zapoznaj się ze wskazówkami poniżej.

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

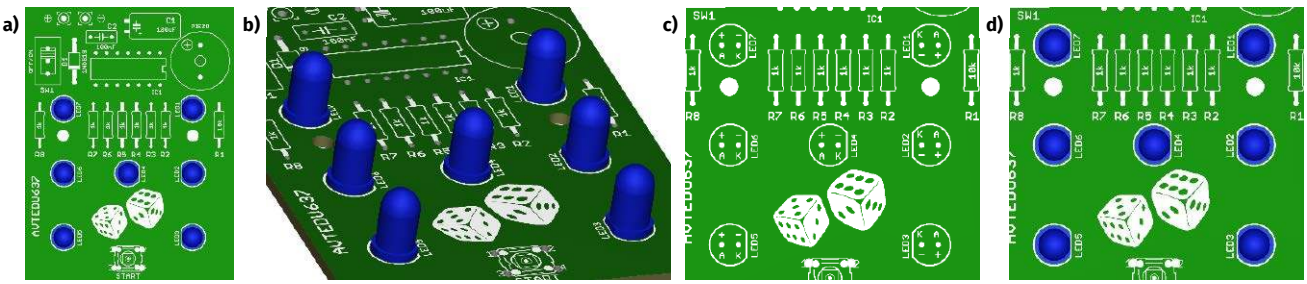


Rysunek 4. a) lokalizacja diody prostowniczej na płytce; b), c), d) poprawny montaż tego elementu z uwzględnieniem kierunku

Montaż diod LED

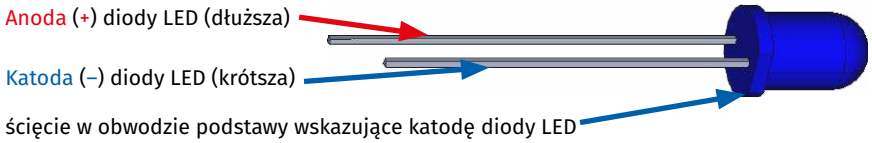
Zgodnie z informacjami z listy elementów na odpowiednich pozycjach przylutuj niebieskie diody LED. Przed przystąpieniem do tej czynności zapoznaj się ze wskazówkami poniżej.

- 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



Rysunek 5. a) lokalizacja diod LED na płytce; b), c), d) poprawny montaż tych elementów z uwzględnieniem kierunku

eprasa.pl ba02d99ec4



Rysunek 6. Opis wyprowadzeń diody LED („plusowe" wyprowadzenie dłuższe, „minusowe" krótsze)

podłączona we właściwym kierunku, inaczej nie zaświeci, a w szczególnym przypadku ulegnie uszkodzeniu. Jej katodę najczęściej oznacza ścięcie na obudowie oraz krótsza nóżka (**rysunek 6**). Przed montażem sprawdź, gdzie na PCB znajduje się oznaczenie katody, i ustaw diodę zgodnie z nim.

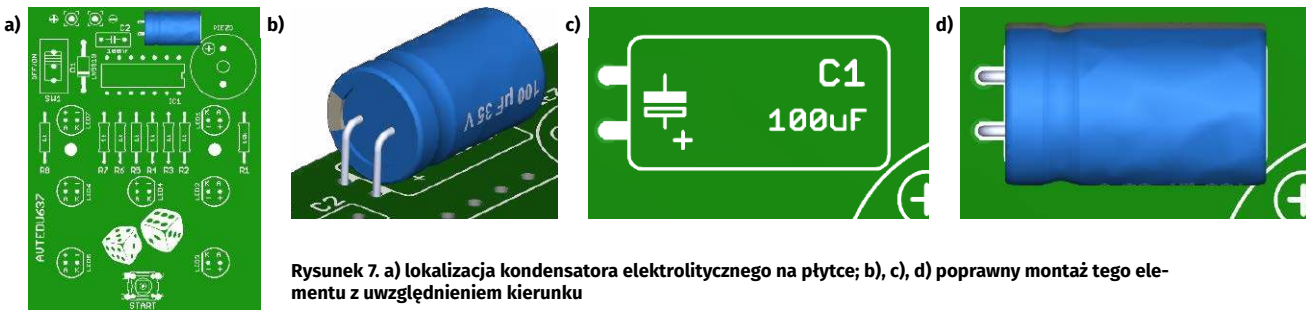
- Dioda LED jest elementem, który od razu przyciąga wzrok obserwatora, dlatego estetyka jej montażu ma duży wpływ na końcowy wygląd budowanego urządzenia. Warto zadbać o to, aby LED była ustawiona prostopadle do płytki i równo do niej przylegała – nawet drobne odchylenia mogą być widoczne po uruchomieniu układu, szczególnie gdy diod jest więcej.
- Z uwagi na powyższe LED-y najlepiej montować na stosunkowo wczesnym etapie lutowania. Rezystory, podstawki pod układy scalone oraz diody prostownicze i sygnałowe są zazwyczaj nieco niższe, ale zaraz po nich warto umieścić na płytce diody LED. W tym momencie pole lutownicze jest wciąż dobrze dostępne, i nic nie zasłania miejsca montażu, co ułatwia przylutowanie LED-ów równo i estetycznie.
- Zanim włożysz diodę LED do płytki, sprawdź w liście elementów, jaki kolor LED-a powinien zostać zamontowany w danej lokalizacji. Same diody – zwłaszcza w bezbarwnych obudowach – mogą wyglądać bardzo podobnie lub wręcz identycznie, dlatego warto upewnić się, jaki kolor świecenia ma LED, który trzymasz w ręku.
- Jeśli w projekcie występuje kilka kolorów diod LED w bezbarwnych obudowach, zasadne jest ich wcześniejsze posegregowanie. Najprościej zrobić to za pomocą multimetru ustawionego w tryb badania diod lub ciągłości obwodu. Przyłożenie sond – czerwonej do anody diody LED i czarnej do jej katody (**fotografia 3**) – spowoduje lekkie świecenie diody LED, co pozwoli od razu ustalić jej kolor. Dzięki temu można przyporządkować poszczególne LED-y do właściwych grup i ułożyć je na osobnych stertach. Takie przygotowanie znacząco zmniejsza ryzyko pomyłek podczas montażu i gwarantuje prawidłowy efekt wizualny w gotowym urządzeniu.
- Jeśli upewniłeś się co do odpowiedniej polaryzacji i kolorów, przylutuj element do płytki. Jeśli nie wiesz, jak to zrobić lub chcesz upewnić się, że wykonujesz tę czynność prawidłowo, przeczytaj sekcję *Zanim przystąpisz do montażu…* oraz zapoznaj się z dostępnymi poradnikami, w szczególności z instrukcjami BHP.
- Usuń nadmiar wyprowadzeń za pomocą obcinaczek. Jeśli nie wiesz, jak to zrobić lub chcesz upewnić się, że wykonujesz tę czynność prawidłowo, przeczytaj sekcję *Zanim przystąpisz do montażu…* oraz zapoznaj się z dostępnymi poradnikami, w szczególności z instrukcjami BHP.

Montaż kondensatora elektrolitycznego

Zgodnie z informacjami z listy elementów przylutuj kondensator elektrolityczny C1 na wskazanej lokalizacji. Przed przystąpieniem do tej czynności zapoznaj się ze wskazówkami poniżej.

- Kondensator elektrolityczny to element spolaryzowany, który może magazynować stosunkowo duży ładunek elektryczny i pełnić w układzie różne funkcje: stabilizować napięcie, wygładzać tętnienia, filtrować zakłócenia lub dostarczać krótkotrwałych impulsów prądowych. Dzięki dużej pojemności w niewielkiej obudowie jest często stosowany w zasilaczach i układach energoelektronicznych.
- Kondensatory elektrolityczne mają zawsze określoną biegunowość. Na obudowie znajduje się wyraźne oznaczenie minusa (zwykle biały pasek), a dłuższa noga oznacza plus zasilania. Montaż odwrotny grozi uszkodzeniem kondensatora, a w skrajnych przypadkach nawet jego rozerwaniem (rozszczelnieniem i dezintegracją). Zawsze upewnij się, że plus i minus znajdują się we właściwych otworach na płytce.
- Przed montażem sprawdź zgodność pojemności i napięcia kondensatora z miejscem, w którym ma zostać umieszczony. Odczytaj nadruk z obudowy (na przykład „100 µF 35 V") i porównaj go z informacją w liście elementów.
- Kondensatory elektrolityczne są wysokimi elementami, dlatego montuje się je dopiero po wlutowaniu wszystkich niższych komponentów, takich jak rezystory, diody, tranzystory czy kondensatory foliowe. Taka kolejność ułatwia

Fotografia 3. Sprawdzanie diody LED za pomocą multimetru ustawionego na funkcję testowania diod. Po przyłożeniu sondy czerwonej do anody, a czarnej do katody, sprawna dioda LED powinna się zaświecić. Jeśli dioda ma odpowiednio długie (jeszcze nie przycięte) wyprowadzenia można się wspomóc krokodylkami



Rysunek 7. a) lokalizacja kondensatora elektrolitycznego na płytce; b), c), d) poprawny montaż tego elementu z uwzględnieniem kierunku

eprasa.pl ba02d99ec4

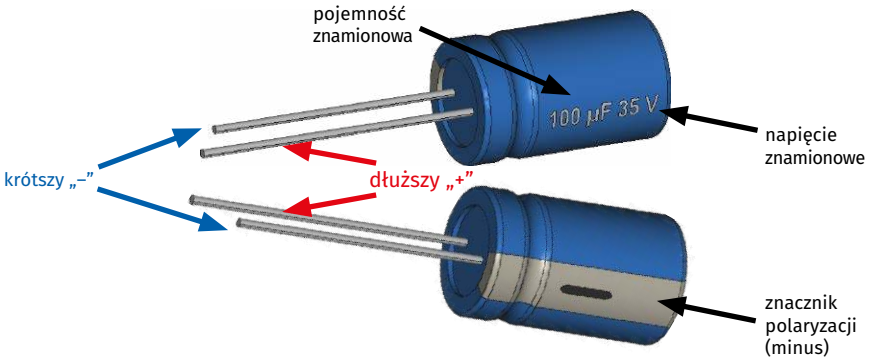
pracę oraz zapewnia stabilne oparcie płytki podczas lutowania.

- Po umieszczeniu kondensatora w otworach sprawdź jeszcze raz jego orientację. W przypadku elementów polaryzowanych warto wyrobić sobie nawyk podwójnego sprawdzania przed przylutowaniem – to pozwala uniknąć potencjalnie niebezpiecznych błędów.
- Aby kondensator nie wypadł podczas obracania płytki, delikatnie odchyl jego wyprowadzenia na zewnątrz. Wystarczy niewielkie odgięcie pod kątem kilku stopni. Zbyt silne zaginanie może utrudnić przycinanie nadmiaru wyprowadzeń, a także przyszły ewentualny demontaż kondensatora.
- Przylutuj element do płytki. Jeśli nie wiesz, jak to zrobić lub chcesz upewnić się, że wykonujesz tę czynność prawidłowo, przeczytaj sekcję *Zanim przystąpisz do montażu…* oraz zapoznaj się z dostępnymi poradnikami, w szczególności z instrukcjami BHP.
- Usuń nadmiar wyprowadzeń za pomocą obcinaczek. Jeśli nie wiesz, jak to zrobić lub chcesz upewnić się, że wykonujesz tę czynność prawidłowo, przeczytaj sekcję *Zanim przystąpisz do montażu…* oraz zapoznaj się z dostępnymi poradnikami, w szczególności z instrukcjami BHP.
- Pamiętaj o bezpieczeństwie. Kondensator elektrolityczny zamontowany odwrotnie lub podłączony do wyższego niż znamionowe napięcie może ulec uszkodzeniu, a nawet gwałtownie wybuchnąć. Dlatego przed pierwszym podłączeniem zasilania zawsze upewnij się, że został zamontowany poprawnie i ma właściwe parametry.
- Przed pierwszym podłączeniem napięcia do układu zawierającego kondensatory elektrolityczne obowiązkowo zakładaj okulary ochronne.

Montaż mikroprzycisku (tact switch)

Zgodnie z informacjami z listy elementów zamontuj mikroprzełącznik START na wskazanej lokalizacji. Przed przystąpieniem do tej czynności zapoznaj się ze wskazówkami poniżej.

- Mikroprzycisk (tact switch) to chwilowy przełącznik, który zwiera styki tylko w czasie naciśnięcia przycisku. Po zwolnieniu nacisku automatycznie wraca do stanu początkowego. Najczęściej wykorzystywany jest jako przycisk sterujący, reset lub przycisk funkcyjny.



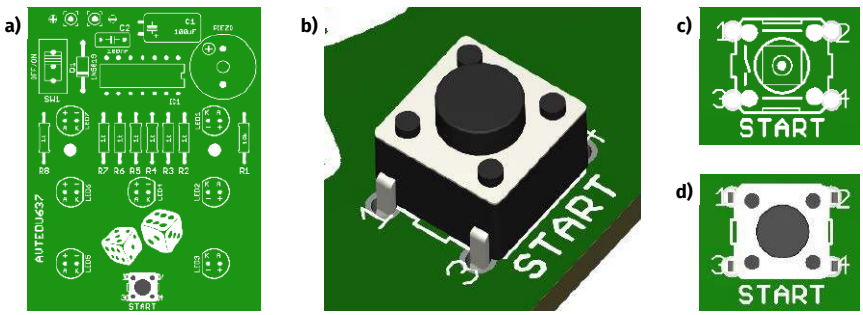
Rysunek 8. Na korpusie kondensatora elektrolitycznego odnajdziesz – między innymi – informacje o nominalnej pojemności oraz dopuszczalnym napięciu pracy a także znacznik polaryzacji

- Typowy mikroprzycisk ma cztery wyprowadzenia, po dwa połączone ze sobą wewnętrznie. Naciśnięcie przycisku powoduje zwarcie obu par styków. Z tego powodu elektrycznie wystarczy wykorzystać dowolne dwa przeciwległe piny.
- Orientacja montażu mikroprzycisku na płytce PCB nie ma znaczenia elektrycznego, o ile jego wyprowadzenia pasują do otworów w płytce. Ważne jest jedynie prawidłowe dopasowanie mechaniczne do footprintu.
- Włóż mikroprzycisk do płytki tak, aby wszystkie cztery wyprowadzenia swobodnie przeszły przez otwory. Element powinien przylegać płasko do powierzchni PCB.
- Wyprowadzenia mikroprzycisku są specjalnie wyprofilowane w taki sposób, aby po włożeniu do płytki były w niej sprężyście trzymane. Dzięki temu element sam utrzymuje się w otworach PCB i nie ma potrzeby wyginania wyprowadzeń ani przytrzymywania przycisku podczas lutowania.
- Mimo wszystko, nie zaszkodzi postąpić w sposób konwencjonalny: najpierw przylutuj jedno wyprowadzenie w narożniku. Pozwoli to ustabilizować położenie przycisku i w razie potrzeby skorygować jego ustawienie 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 mikroprzycisk równo przylega do PCB, przylutuj pozostałe trzy wyprowadzenia. Zapewni to dobrą stabilność mechaniczną elementu.
- 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 działanie przycisku. Powinien dawać wyraźne „kliknięcie” i sprężyście wracać do pozycji wyjściowej po puszczeniu.
- W przypadku mikroprzycisków nie ma potrzeby przycinania ich wyprowadzeń. Po przylutowaniu pozostaw je w oryginalnej długości.

Montaż przełącznika zasilania

Zgodnie z informacjami z listy elementów zamontuj przełącznik SW1 na wskazanej lokalizacji. Przed przystąpieniem do tej czynności zapoznaj się ze wskazówkami poniżej.

- Przełącznik zasilania SW1 to element, który przełącza połączenie pomiędzy pinem środkowym a jednym



Rysunek 9. a) lokalizacja mikroprzycisku na płytce; b), c), d) poprawny montaż tego elementu

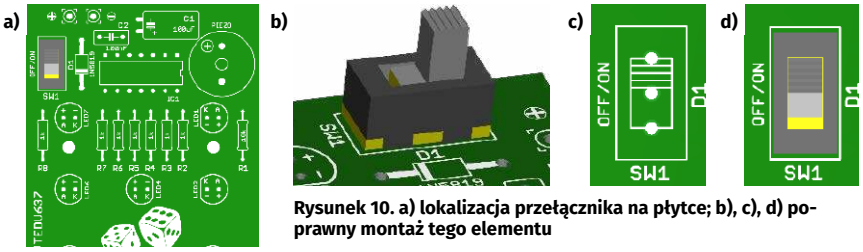
eprasa.pl ba02d99ec4

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.

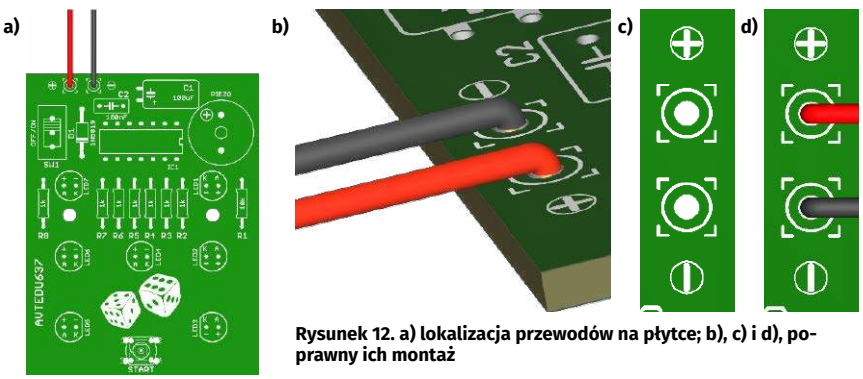
Montaż buzzera pasywnego piezo

Zgodnie z informacjami z listy elementów przylutuj buzzer pasywny, PIEZO we wskazanej lokalizacji. Przed przystąpieniem do tej czynności zapoznaj się ze wskazówkami poniżej.



Rysunek 10. a) lokalizacja przełącznika na płytce; b), c), d) poprawny montaż tego elementu

Rysunek 11. a) lokalizacja buzzera pasywnego piezo na płytce; b), c) i d) poprawny montaż tego elementu z uwzględnieniem kierunku



Rysunek 12. a) lokalizacja przewodów na płytce; b), c) i d), poprawny ich montaż

- Pasywny buzzer piezoelektryczny jest elementem elektroakustycznym, który sam z siebie nie generuje dźwięku po podaniu stałego napięcia. Do pracy wymaga sygnału zmiennego (np. prostokątnego), zwykle o częstotliwości z zakresu słyszalnego.
- Pasywny buzzer piezo ma biegunowość, dlatego podczas montażu należy zwrócić uwagę na oznaczenia wyprowadzeń. Zazwyczaj na obudowie znajduje się znak „+”, który wskazuje biegun dodatni. Nieprawidłowa polaryzacja nie uszkadza elementu, ale może skutkować słabszym dźwiękiem lub jego brakiem.
- Buzzery pasywne są elementami dość wysokimi, dlatego montuje się je po elementach niskich (takich jak rezystory i diody), a przed elementami jeszcze wyższymi.
- Przed montażem upewnij się, że masz do czynienia z buzzerem pasywnym, sprawdzając jego oznaczenia oraz listę elementów. W razie wątpliwości pamiętaj, że po podaniu napięcia stałego buzzer pasywny nie wydaje dźwięku.
- Na dołączonej do zestawu liście elementów odszukaj buzzer pasywny, a następnie sprawdź jego desygnator (np. BZ1, LS1) przypisany do konkretnego miejsca na płytce drukowanej.
- Umieść buzzer w płytce, zwracając uwagę na zgodność biegunowości z oznaczeniami na laminacie. Wyprowadzenia powinny przechodzić przez otwory swobodnie, bez użycia siły.
- Dociśnij buzzer do płytki, tak aby jego obudowa przylegała równo do laminatu. Zapewni to stabilność mechaniczną oraz estetyczny wygląd montażu.
- Przylutuj element do płytki. Jeśli nie wiesz, jak to zrobić lub chcesz upewnić się, że wykonujesz tę czynność prawidłowo, przeczytaj sekcję *Zanim przystąpisz do montażu…* oraz zapoznaj się z dostępnymi poradnikami, w szczególności z instrukcjami BHP.
- Usuń nadmiar wyprowadzeń za pomocą obcinaczek. Jeśli nie wiesz, jak to zrobić lub chcesz upewnić się, że wykonujesz tę czynność prawidłowo, przeczytaj sekcję *Zanim przystąpisz do montażu…* oraz zapoznaj się z dostępnymi poradnikami, w szczególności z instrukcjami BHP.

Montaż koszyczka baterii

Na koniec przylutuj kabelki koszyczka na trzy baterie AA. Przed przystąpieniem

eprasa.pl ba02d99ec4

do tej czynności zapoznaj się ze wskazówkami poniżej (**rysunek 12**).

Pierwsze podłączenie zasilania do płytki

Zanim włożymy drogi i kłopotliwy w nabyciu, zaprogramowany mikrokontroler do podstawki, warto na chwilę podłączyć zasilanie do jeszcze „nieukończonej" płytki i sprawdzić, czy napięcie na złączu zasilania lub na bateriach nie spada do zera – taki spadek oznaczałby błąd montażowy lub zwarcie w obwodzie zasilania.

Przed przystąpieniem do opisanych poniżej czynności koniecznie zapoznaj się z dokumentem *Zagadnienia BHP związane z uruchamianiem zmontowanego układu* dostępnym na Elportalu pod adresem: https://elportal.pl/files/2026/02/15/3682-zagadnienia-bhp-zwiazane-zuruchamianiem-zmontowanego-ukladu.pdf

Na początku ustawiamy włącznik w pozycji OFF i mierzymy napięcie na wejściu, czyli na przewodach baterii lub zasilacza. Jeśli pojawia się tam spodziewana wartość (napięcie znamionowe zasilacza lub kompletu baterii), oznacza to, że źródło zasilania działa poprawnie. Następnie przełączamy włącznik zasilania oznaczony na płytce desygnatorem SW1 w pozycję ON i sprawdzamy, czy napięcie nie znika. Na tym etapie napięcie za przełącznikiem można zmierzyć bezpośrednio na wyprowadzeniach kondensatora C1 (**rysunek 13**).

Zanik napięcia wskazywałby na usterkę montażową zbudowanego układu, na przykład przypadkowe zwarcie powstałe przez połączenie cyną dwóch sąsiednich pól lutowniczych. W namierzeniu takich pomyłek bardzo pomaga schemat montażowy, na którym dokładnie widać przebieg ścieżek, rozmieszczenie padów oraz to, które połączenia powinny istnieć, a których być nie powinno. Po odnalezieniu usterki należy ją oczywiście wyeliminować. Gdy napięcie wejściowe jest prawidłowe i stabilne, upewniamy się, że po ustawieniu włącznika w pozycję ON pojawia się ono również na odpowiednich pinach podstawki mikrokontrolera.

Numery pinów zasilających zazwyczaj da się odczytać ze schematu ideowego danego układu. Tym razem jest inaczej – na symbolu układu IC1 próżno szukać wyprowadzeń oznaczonych numerami 1 oraz 14. Zostały one „wirtualnie podłączone" do odpowiednich biegunów zasilania na etapie tworzenia elementu bibliotecznego dla tego układu scalonego. Dzięki temu lista połączeń, która trafiła do modułu rysowania płytki drukowanej zawierała informację o tym, że wyprowadzenia te mają zostać odpowiednio podłączone do zasilania, i ścieżki są do tych wyprowadzeń odpowiednio podłączone. Na schemacie tego nie widać, pozostaje nam więc posłużyć się albo notą katalogową mikrokontrolera ATTiny24A (https://tinyurl.com/ATTiny24A), gdzie na rysunku 1-1 (strona 8) przekonamy się, że wyprowadzenie 1 (VCC) to takie, na którym powinniśmy oczekiwać napięcia dodatniego, a wyprowadzenie 14 to masa (GND). Przykładając zatem multimetr nastawiony na funkcję woltomierza napięć stałych (VDC) w zakresie „do 20 V" – odpowiednio sondę w kolorze czerwonym do wyprowadzenia 1 oraz sondę czarną do wyprowadzenia 14 (**rysunek 14**) powinniśmy odczytać dodatnią wartość liczbową zbliżoną do napięcia nominalnego trzech szeregowo połączonych baterii AA (4,5 V).

Takie testowe podłączenie zasilania oraz pomiary wykonane na źródle zasilania i na odpowiednich pinach podstawki pozwalają wstępnie zweryfikować poprawność montażu oraz uchronić najdroższe i najbardziej wrażliwe elementy – układy scalone, w tym mikrokontroler – przed uszkodzeniem.

Montaż układu scalonego w podstawce

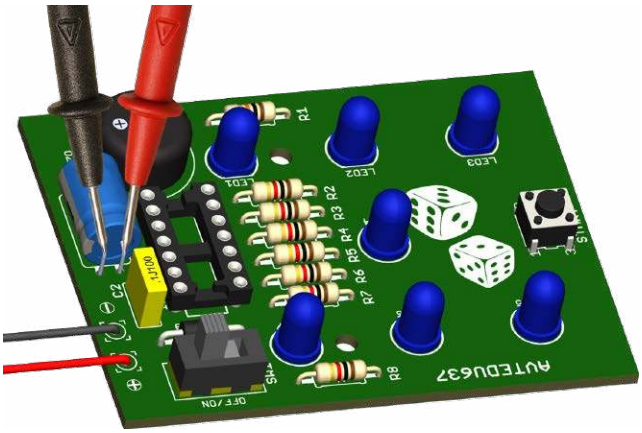
Jeśli woltomierz podczas pomiaru napięcia na źródle zasilania oraz na odpowiednich pinach podstawki wskazał właściwe wartości (tu około 4,5 V) możesz odłączyć baterie, wyłączyć przełącznik SW1 i zamontować mikrokontroler w podstawce. W przeciwnym wypadku, musisz odłączyć zasilanie, odnaleźć i naprawić usterkę montażową.

Włożenie układu scalonego do podstawki wydaje się łatwe, ale trzeba przy tym zachować uwagę i ostrożność. Ważne jest, aby układ był skierowany we właściwą stronę (co wytłumaczę za moment) oraz by wszystkie jego nóżki trafiły dokładnie w otwory podstawki. Nóżki nie mogą się wygiąć ani tym bardziej złamać. A gdyby jednak któraś się urwała, nic straconego – można ją zastąpić kawałkiem odciętego pinu z innego elementu już przylutowanego do płytki.

Drugą, obok ostrożności podczas montażu sprawą, o jaką należy zadbać, to właściwy kierunek montażu układu scalonego w podstawce. W tym celu należy przypilnować, by kropka lub wycięcie na układzie scalonym, wskazujące kierunek montażu, pokrywało się z pozostałymi znacznikami w podstawce oraz na warstwie opisowej PCB (**rysunek 15**). Gdy lokalizacja znacznika na układzie scalonym zgadza się z pozostałymi, można przystąpić do wciśnięcia układu w podstawkę.

Podsumowanie montażu

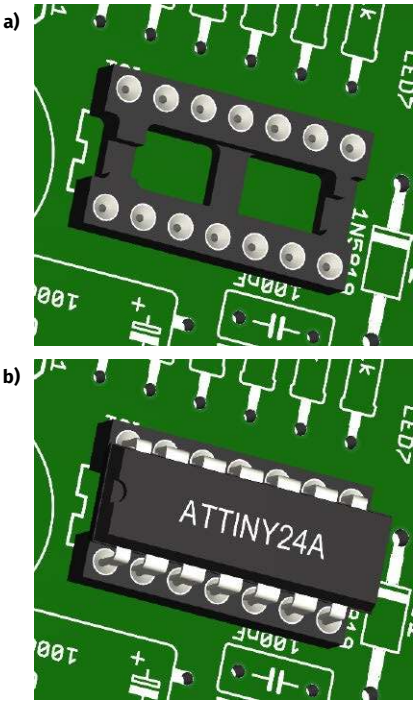
Po ukończeniu montażu sprawdź, proszę, czy wszystkie połączenia lutowane są błyszczące i nie ma zimnych lutów oraz czy żadne sąsiednie pola lutownicze nie są ze sobą błędnie połączone.



Rysunek 13. Pomiar napięcia na kondensatorze C1 po ustawieniu SW1 w pozycji ON

Rysunek 14. Pomiar napięcia zasilającego mikrokontroler na odpowiednich wyprowadzeniach podstawki po ustawieniu przełącznika SW1 w pozycję ON. Użyj noty katalogowej mikrokontrolera lub schemat montażowy, by ustalić właściwe wyprowadzenia lub skorzystaj z rysunku powyżej

eprasa.pl ba02d99ec4



Rysunek 15. Przed zamontowaniem mikrokontrolera w podstawce należy upewnić się, że znaczniki kierunku montażu – na płytce, w podstawce i na mikrokontrolerze – znajdują się w tej samej pozycji

W przypadku wątpliwości dotyczących poprawności wykonanych połączeń lutowanych skorzystaj z poradnika *Lutowanie komponentów przewlekanych do płytki drukowanej*, dostępnego na stronie Elportalu: https://elportal.pl/files/2026/02/15/3678-lutowanie-komponentow-przewlekanych-do-plytki-drukowanej.pdf

Ale właściwie... dlaczego to działa? Mikrokontroler, przycisk START i diody LED

Na schemacie ideowym przedstawionym na rysunku 16 centralnym elementem układu jest uprzednio zaprogramowany przez producenta zestawu mikrokontroler ATtiny24A (IC1). Oznacza to, że praca urządzenia sterowana jest przez program napisany przez człowieka, a następnie przetłumaczony z języka wysokiego poziomu na kod wynikowy składający się z zer i jedynek – trudny do bezpośredniej interpretacji przez człowieka, lecz w pełni zrozumiały dla mikrokontrolera.

Program zawiera definicje konfiguracji sprzętu, dzięki którym po każdym włączeniu zasilania mikrokontroler „wie", jaką funkcję ma pełnić każde z jego wyprowadzeń. Część linii zostaje ustawiona jako wyjścia – przykładowo wyprowadzenia o numerach od 7 do 13 sterują diodami LED, natomiast wyprowadzenia 2 i 5 obsługują element piezo. Inne piny konfigurowane są jako wejścia; taką rolę pełni wyprowadzenie 3 (PB1), do którego podłączony jest przycisk START.

Po zakończeniu konfiguracji, wykonywanej każdorazowo po załączeniu zasilania, mikrokontroler przechodzi do realizacji właściwego programu. W jego głównej pętli nieustannie monitorowany jest stan logiczny na wejściu PB1. Przycisk START połączony jest jednym wyprowadzeniem z masą (GND), a drugim z wejściem mikrokontrolera. Dodatkowo rezystor R1 łączy to wejście z dodatnim biegunem zasilania. Taki sposób podłączenia powoduje, że w stanie spoczynku – gdy przycisk nie jest wciśnięty – na PB1 utrzymuje się stan wysoki. Rezystor R1 pełni funkcję tzw. rezystora podciągającego (pull-up), zapewniającego stabilny poziom logiczny.

W chwili naciśnięcia przycisku START wejście PB1 zostaje zwarte do masy. Napięcie, które wcześniej było obecne na tym pinie, odkłada się wówczas na rezystorze R1, natomiast samo wejście przyjmuje niski poziom logiczny. Mikrokontroler, wykonując zapisany w pamięci program – swoisty „przepis zachowań" opracowany przez programistę – wykrywa tę zmianę stanu i interpretuje ją jako polecenie rozpoczęcia procedury losowania.

Od tego momentu uruchamiana jest sekwencja generowania liczby z zakresu od 1 do 6. W kolejnych krokach mikrokontroler odpowiednio włącza i wyłącza diody LED, tworząc animację przypominającą obracającą się kostkę, a równocześnie steruje elementem piezo, generując charakterystyczny sygnał dźwiękowy. Po zakończeniu animacji na diodach LED pozostaje wyświetlony ostateczny wynik – elektroniczny odpowiednik wyrzuconej liczby oczek.

Jak mikrokontroler „losuje" liczby?

Mikrokontroler nie potrafi być naprawdę przypadkowy. To urządzenie wykonujące ściśle określone instrukcje zapisane w programie. Jeśli uruchomimy ten sam program w identycznych warunkach, zawsze wykona dokładnie te same operacje. Skąd więc bierze się „losowość" w elektronicznej kostce do gry?

Odpowiedź jest sprytna: mikrokontroler wykorzystuje zjawiska fizyczne, które w praktyce nie są idealnie przewidywalne.

Jednym z takich zjawisk są drobne zakłócenia elektryczne, zwane szumem. W mikrokontrolerze znajduje się przetwornik analogowo-cyfrowy (A/C), czyli układ, który potrafi zmienić napięcie elektryczne na liczbę. Jeśli zmierzymy napięcie na wejściu, do którego nic nie jest podłączone, wynik pomiaru będzie się minimalnie różnił przy każdej próbie. Te niewielkie różnice, ukryte zwykle w najmniej znaczących bitach wyniku, są trudne do przewidzenia. Można je potraktować jako „ziarno niepewności", czyli początkowy punkt startowy dla dalszego generowania liczb.

Istnieje jednak jeszcze bardziej popularna metoda – wykorzystanie czasu.

W mikrokontrolerze pracuje bardzo szybki licznik sprzętowy, który nieustannie odlicza impulsy zegarowe. Gdy użytkownik naciska przycisk START, program odczytuje aktualną wartość tego licznika. I właśnie tu pojawia się naturalna nieprzewidywalność. Nikt nie jest w stanie nacisnąć przycisku w identycznym ułamku sekundy. Reakcja człowieka zawsze różni się o kilka, kilkanaście czy kilkadziesiąt milisekund. Dodatkowo styki przycisku przez chwilę drgają, a wewnętrzny zegar mikrokontrolera także nie jest absolutnie idealny. Te mikroskopijne różnice powodują, że odczytana liczba niemal za każdym razem będzie inna.

Taka liczba staje się tzw. ziarnem (ang. seed) dla generatora pseudolosowego.

Warto przy tym zauważyć, że w omawianym układzie wszystkie linie przetwornika A/C (PA0…PA7) zostały wykorzystane do sterowania diodami LED. Nie ma tu wolnego wejścia, które można by pozostawić „w powietrzu" i mierzyć jego przypadkowe zakłócenia. To sugeruje, że konstruktor prawdopodobnie nie korzysta z metody opartej na szumie analogowym. Znacznie bardziej logiczne wydaje się wykorzystanie odczytu licznika w chwili naciśnięcia przycisku START oraz naturalnych odchyleń czasowych wewnętrznego zegara.

Gdy mikrokontroler ma już swoje „ziarno losowości", uruchamia algorytm pseudolosowy. Jest to matematyczny przepis, który z jednej liczby potrafi wygenerować kolejne w taki sposób, że wyglądają one na przypadkowe. W rzeczywistości nie jest to prawdziwy przypadek – jeśli zaczniemy od tego samego ziarna, otrzymamy dokładnie tę samą sekwencję liczb. Jednak jeśli ziarno pochodzi z nieprzewidywalnego momentu naciśnięcia przycisku, efekt dla użytkownika jest praktycznie nie do odróżnienia od losowania.

W przypadku elektronicznej kostki do gry to rozwiązanie jest w pełni wystarczające. Każde naciśnięcie przycisku daje nowy, trudny do przewidzenia punkt startowy,

eprasa.pl ba02d99ec4

a mikrokontroler w ułamku sekundy przelicza kolejne wartości i wybiera liczbę od 1 do 6. Dla gracza liczy się jedno: wynik jest nieprzewidywalny – dokładnie tak jak w tradycyjnym rzucie kostką.

Włącznik zasilania

Mikrokontroler zasilany jest z koszyczka z bateriami za pośrednictwem szeregowo włączonej diody D1 oraz włącznika SW1, który umożliwia całkowite rozłączenie obwodu, zapobiegając rozładowaniu baterii w czasie, gdy układ nie jest używany.

Zabezpieczenie przed odwrotną polaryzacją

Rolą diody **D1** jest ochrona układu przed błędnym podłączeniem zasilania. Jeśli przez pomyłkę podłączysz baterie odwrotnie, dioda zablokuje przepływ prądu (pomijając bardzo niewielki prąd wsteczny), zapobiegając uszkodzeniu elementów wrażliwych na zamianę polaryzacji, takich jak mikrokontroler czy kondensator elektrolityczny.

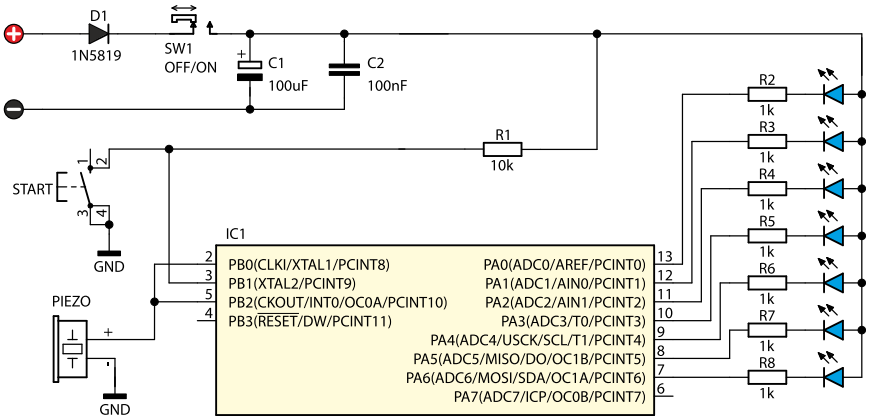
Szeregowo włączona w obwód w kierunku przewodzenia dioda Schottky'ego typu 1N5819 powoduje znacznie mniejszy spadek napięcia niż klasyczna dioda krzemowa – typowo około 0,2...0,4 V (zależnie od płynącego prądu). Oznacza to, że napięcie mierzone względem ujemnego bieguna baterii za diodą będzie tylko nieznacznie niższe niż napięcie przed nią.

W tym prostym układzie takie obniżenie napięcia nie stanowi problemu, a zastosowanie diody Schottky'ego dodatkowo zmniejsza straty mocy i poprawia sprawność zasilania – co ma znaczenie zwłaszcza przy zasilaniu bateryjnym.

Filtracja zasilania

Kondensator elektrolityczny **C1** o pojemności 100 µF odpowiada za filtrację napięcia zasilania. Jego zadaniem jest tłumienie wolniejszych wahań napięcia oraz krótkotrwałych spadków wynikających z impulsowego poboru prądu przez mikrokontroler i diody LED. Dzięki temu układ pracuje stabilnie, bez niepożądanych resetów czy zakłóceń generowanych przez obciążenie.

Uzupełnieniem filtracji jest kondensator **C2** o pojemności 100 nF (ceramiczny), włączony równolegle do C1. Odpowiada on za tłumienie szybkich zakłóceń o wysokiej częstotliwości, które powstają podczas przełączania wyjść mikrokontrolera. Ze względu na bardzo małą indukcyjność i rezystancję szeregową kondensator 100 nF skutecznie filtruje krótkie impulsy i szpilki napięciowe, których kondensator elektrolityczny nie jest w stanie wyeliminować.



Rysunek 16. Schemat ideowy układu

W praktyce dopiero współpraca obu kondensatorów – o dużej i małej pojemności – zapewnia skuteczną filtrację w szerokim paśmie częstotliwości i stabilne zasilanie całego układu.

Obwód resetu

Na przedstawionym schemacie może dziwić fakt, że wyprowadzenie RESET mikrokontrolera ATtiny24A nie ma zewnętrznego rezystora podciągającego do dodatniego napięcia zasilania. W wielu projektach – zwłaszcza starszych lub bardziej „książkowych" – niemal zawsze można znaleźć rezystor 10 kΩ między pinem RESET a VCC. Tutaj go nie ma, co może sprawiać wrażenie, że linia resetu „wisi w powietrzu".

Wyjaśnienie jest jednak proste: ATtiny24A ma wewnętrzny rezystor podciągający na pinie RESET. W nocie katalogowej (rozdział 1.1.3 Port B (PB3:PB0), strona 2) podano, że port B ma wewnętrzne rezystory podciągające, a PB3 posiada dodatkowo funkcję RESET. Z kolei w opisie wyprowadzenia RESET (rozdział 1.1.4 RESET, strona 3) czytamy, że niski poziom na tym pinie powoduje reset mikrokontrolera.

Oznacza to, że w stanie spoczynku pin RESET jest utrzymywany w stanie wysokim przez wewnętrzny rezystor podciągający i mikrokontroler pracuje normalnie – nawet bez zewnętrznego rezystora. W prostym, bateryjnym układzie edukacyjnym jest to w zupełności wystarczające.

W bardziej rozbudowanych urządzeniach, szczególnie narażonych na zakłócenia elektromagnetyczne, często stosuje się jednak dodatkowy rezystor 10 kΩ (a czasem także niewielki kondensator do masy), aby zwiększyć odporność układu na przypadkowe impulsy zakłócające. W naszym projekcie uproszczenie schematu jest świadomą decyzją – korzystamy z wbudowanych mechanizmów mikrokontrolera, które w tym zastosowaniu są w pełni wystarczające.

Rezystory w gałęziach z diodami LED

Każda z diod LED (LED1…LED7) została połączona szeregowo z rezystorem 1 kΩ (R2…R8). Rezystory te ograniczają prąd płynący przez diody oraz chronią wyjścia mikrokontrolera przed przeciążeniem.

Układ zasilany jest z trzech baterii AA. Nowe ogniwa dają około 3×1,5 V, czyli 4,5 V. Napięcie to przechodzi jeszcze przez diodę 1N5819, na której „gubi się" około 0,3 V. W praktyce do układu dociera więc mniej więcej 4,2 V.

Niebieskie diody LED potrzebują do świecenia około 3 V. Oznacza to, że z dostępnych 4,2 V około 3 V „zużywa" sama dioda, a na rezystorze pozostaje mniej więcej 1 V.

A teraz najprostsze liczenie: jeśli na rezystorze 1 kΩ mamy około 1 V, to prąd wynosi około 1 mA (bo 1 V podzielone przez 1000 Ω daje 0,001 A, czyli 1 mA).

To niewielki prąd, ale nowoczesne niebieskie LED świecą wyraźnie już przy takiej wartości. Jednocześnie jest to poziom całkowicie bezpieczny dla portów mikrokontrolera i korzystny dla baterii, które dzięki temu starczają na dłużej.

Warto też pamiętać, że gdy świeci kilka diod naraz, napięcie baterii może nieco się obniżyć (baterie mają swoją rezystancję wewnętrzną). Oznacza to, że prąd diod minimalnie się zmieni, a ich jasność może bardzo delikatnie się wahać – choć zmiany te będą raczej niezauważalne ludzkim okiem.

W tym układzie diody LED są sterowane bezpośrednio z wyprowadzeń portu A mikrokontrolera. Oznacza to, że prąd potrzebny do świecenia diody płynie przez wewnętrzne tranzystory wyjściowe mikrokontrolera. Rezystory 1 kΩ pełnią więc podwójną

eprasa.pl ba02d99ec4

rolę: ograniczają prąd diody oraz chronią wyjścia mikrokontrolera przed przeciążeniem.

Wyjście mikrokontrolera nie jest idealnym przewodnikiem – wewnątrz znajdują się tranzystory, na których także występuje niewielki spadek napięcia. Przy tak małym prądzie (około 1 mA) jest on jednak bardzo mały i w praktyce nie wpływa zauważalnie na jasność świecenia.

Niewielki prąd diod ma dodatkową zaletę: zmniejsza zużycie baterii. Dzięki temu elektroniczna kostka może działać dłużej bez wymiany ogniw. Dobór rezystorów 1 kΩ jest więc kompromisem między jasnością świecenia, bezpieczeństwem mikrokontrolera i oszczędnością energii.

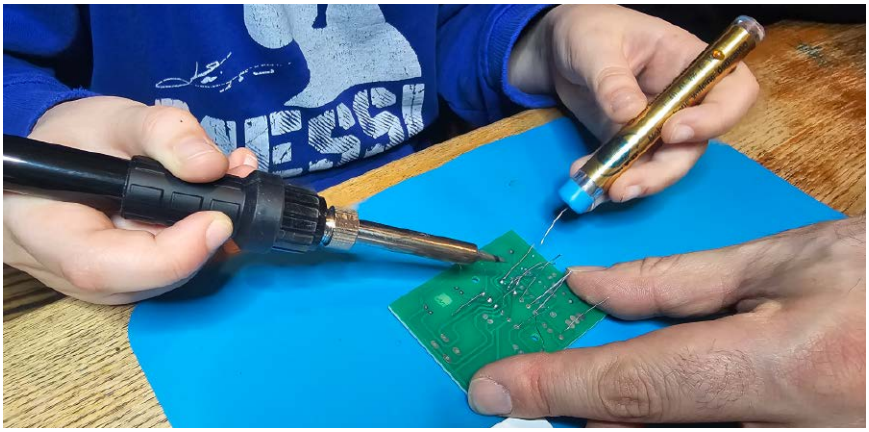
Fotorelacja

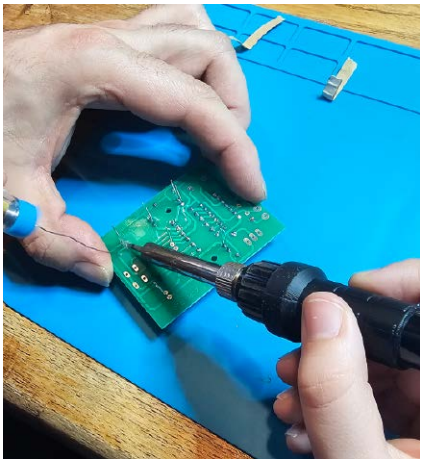
Istnieje prawdopodobieństwo graniczące z pewnością, że zarówno budowa, jak i późniejsze wykorzystywanie *Pikającej kostki do gry* przyniosą Ci tyle samo radości, ile dały Juniorom podczas zajęć stacjonarnych. I nie jest to kurtuazyjna uprzejmość redaktora – wystarczy spojrzeć na efekty ich pracy.

Tym razem warsztaty odbywały się wspólnie z rodzicami i stały się czymś znacznie więcej niż tylko zajęciami technicznymi. Były spotkaniem pokoleń przy jednym stole, rozmową bez pośpiechu i wspólnym szukaniem rozwiązań. Okazało się, że lutownica naprawdę potrafi łączyć pokolenia – niezależnie od tego, czy trzyma ją syn, czy córka. Elektronika nie wybiera, kogo zafascynować. Ciekawość działania świata jest uniwersalna.

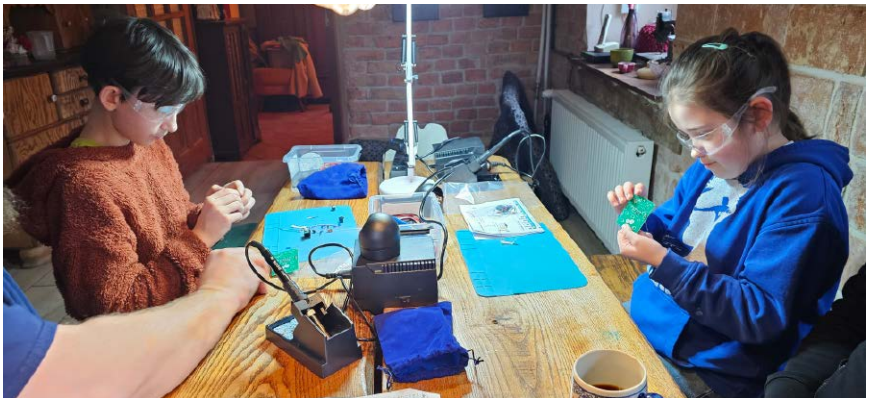
Z wieloma rzeczami można dyskutować. Można mieć różne opinie, różne oczekiwania, różne pomysły na naukę elektroniki. Ale trudno polemizować z autentyczną dumą młodych konstruktorów, którzy własnymi rękami zmontowali działający układ.

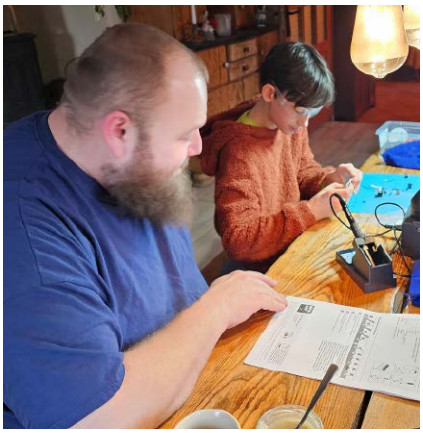
eprasa.pl ba02d99ec4





eprasa.pl ba02d99ec4





Fotorelacja z zajęć nie pozostawia wątpliwości – to była prawdziwa satysfakcja z tworzenia, zdrowa ekscytacja i to bezcenne: „zrobiłem to sam!”.

To doświadczenie wraca co miesiąc i za każdym razem buduje pewność siebie. A tym razem odkryliśmy coś więcej. Równie wielką radość – a czasem nawet większą – daje wspólne działanie. „Zrobiliśmy to razem” brzmi inaczej niż „wygrałem”, bo zamiast rywalizacji pojawia się współpraca. I właśnie takiej przemianie współzawodnictwa w współdziałanie kibicujemy z pełnym przekonaniem.

I właśnie to jest najważniejsze. Nie sama kostka, nie diody LED, nie mikrokontroler. Najważniejsze jest doświadczenie sprawczości – świadomość, że potrafisz z kilku elementów stworzyć coś, co naprawdę działa. To fundament każdej inżynierskiej drogi.

Jeśli dziś działa Twoja kostka, jutro może zadziałać znacznie bardziej złożony projekt. A za kilka lat – kto wie? Być może to Ty będziesz projektował urządzenia, z których inni będą korzystać. Każdy duży krok zaczyna się od małego pomysłu i pierwszego, odważnego działania.

Buduj, testuj, poprawiaj. masz powód do dumy – i pełne prawo do optymizmu.

Podsumowanie

Zmontowana dziś *Pikająca kostka do gry* to niewielki układ: kilka diod LED, mikrokontroler i przycisk START – a mimo to potrafi wywołać prawdziwe emocje. Naciśnięcie przycisku uruchamia sekwencję świateł oraz krótkich dźwięków o różnych tonach, po czym układ prezentuje „wylosowany” wynik, zupełnie jak tradycyjna kostka.

Projekt pokazuje coś bardzo ciekawego: nawet z pozoru chaotyczne działanie może być efektem precyzyjnie napisanego programu. Mikrokontroler wykonuje instrukcje krok po kroku, a wynik wydaje się przypadkowy tylko dlatego, że nie śledzimy wszystkich obliczeń. W elektronice „losowość” często oznacza po prostu sprytne wykorzystanie czasu, zakłóceń lub zmiennych warunków startowych.

W życiu bywa podobnie. Czasem mówimy: „tak wypadło”, „taki był los”, „miałem pecha”. A jednak wiele zdarzeń jest konsekwencją wcześniejszych decyzji – naszych albo cudzych. Rzut kostką to czysty przypadek. Wybory, które podejmujemy na co dzień, już nie.

Budując ten projekt, po raz kolejny ćwiczyłeś coś więcej niż tylko lutowanie. Uczyłeś się cierpliwości, dokładności i sprawdzania połączeń. Jeden źle wlutowany element potrafi zmienić działanie całego układu. To dobra lekcja: małe szczegóły mają znaczenie.

Elektronika pokazuje też, że nie wszystko da się kontrolować w 100%. Nawet najlepszy programista musi uwzględnić niepewność – napięcie baterii spada, elementy mają tolerancję, świat zewnętrzny wprowadza zakłócenia. Dlatego projektuje się układy z zapasem bezpieczeństwa. W życiu ten „zapas” to rozsądek, wiedza i umiejętność przewidywania skutków.

Mamy nadzieję, że *Pikająca kostka do gry* dała Ci nie tylko satysfakcję z własnoręcznie zmontowanego urządzenia, ale też pokazała, że technologia potrafi być jednocześnie prosta i fascynująca. A za miesiąc zaprosimy Cię do kolejnego projektu – bo najlepszą metodą nauki jest działanie.

Do zobaczenia w następnym numerze! ■

Mariusz Ciszewski

Sprostowanie (EdW Junior 2/2026)

W artykule opisującym zestaw AVTEDU620, w podpunkcie „Dzielnik napięcia z termistorem” błędnie opisano kierunek zmian napięcia w punkcie TH.

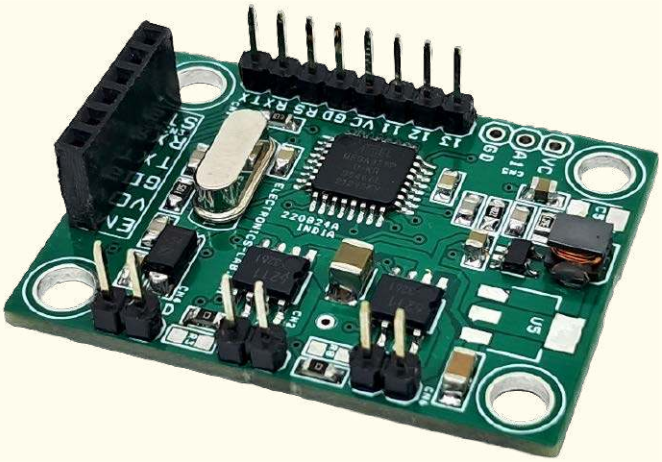
W przedstawionym układzie termistor NTC znajduje się po stronie dodatniego zasilania, dlatego wraz ze wzrostem temperatury jego rezystancja maleje, a napięcie w punkcie TH rośnie.

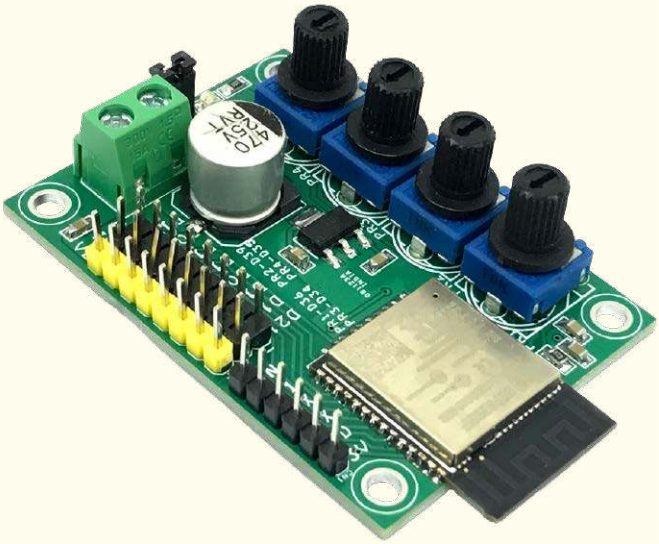
Fragment po poprawce powinien brzmieć:

„Przy niższej temperaturze rezystancja termistora jest większa, a napięcie w punkcie TH przyjmuje wartość bliższą masie (GND, czyli ujemnemu biegunowi baterii). Wraz ze wzrostem temperatury rezystancja NTC maleje, co powoduje wzrost napięcia w punkcie TH.”

Dziękujemy Panu Łukaszowi Budzyńskiemu za zwrócenie uwagi na tę nieścisłość.

eprasa.pl ba02d99ec4





Bezprzewodowy kontroler samochodu-robota Bluetooth

Projekt ten przedstawia kontroler samochodu-robota wykorzystujący bezprzewodowy kontroler Bluetooth, umożliwiający użytkownikom sterowanie małym samochodem-robotem za pomocą smartfona i aplikacji na Androida. System składa się z mikrokontrolera Arduino (ATMEGA328), modułu Bluetooth HC-05, dwóch sterowników silnika BD6211 H-Bridge oraz wbudowanego przetwornika DC-DC, który dostarcza napięcie 5 V do mikrokontrolera i powiązanych obwodów.

https://youtu.be/rj21XreGToY

Kontroler ramienia robotycznego wykorzystujący bezprzewodowego pada z konsoli PS3

Projekt ten umożliwia użytkownikowi bezprzewodowe sterowanie ramieniem robota opartym na serwomechanizmie RC. Płytka oparta jest na module Bluetooth/Wi-Fi ESP32-WROOM 32E, dzięki czemu można sparować z nią bezprzewodowy pilot PS3 lub PS4.

https://youtu.be/GL9dZ3VTvkc

Niektóre projekty aktualnie dostępne tylko dla prenumeratorów EdW w rubryce DIY PLUS na www.elportal.pl:

1. 7-segmentowy mini zegar wykorzystujący PIC16F628A i DS1307 RTC
2. Światło LED oparte na czujniku zbliżeniowym
3. OLEDUINO – wyświetlacz OLED kompatybilny z Arduino
4. Inteligentny regulator lutownicy – precyzyjny regulator grzałki
5. Wskaźnik poziomu paliwa z wyświetlaczem OLED
6. Bezprzewodowy odbiornik wilgotności i temperatury
7. Przerwania zewnętrzne (sprzętowe) i przerwania zegara w MicroPython
8. Laserowy czujnik odległości z wyświetlaczem OLED i RP2040
9. Inklinometr z 17-segmentowym wyświetlaczem słupkowym
10. Izolowany repeater USB – USB 2.0
11. Knight Rider Light – 16 diod LED dużej mocy (kompatybilny z Arduino)
12. Dźwięk do kolorowych efektów świetlnych (kompatybilny z Arduino)
13. Nowy i ulepszony licznik Geigera – teraz z Wi-Fi!
14. Detektor zalania
15. Lampa nastrojowa LED o dużej mocy
16. Kontroler dzwonów kościelnych
17. Arduino Nano – włączanie/wyłączanie urządzeń za pomocą pilota na podczerwień (dwa kanały)
18. Lampa sufitowa LED z czujnikiem ruchu PIR – kompatybilna z Arduino
19. Inteligentny ściemniacz LED z Bluetooth – 4-kanałowy włącznik/wyłącznik Bluetooth
20. Czterokanałowy izolator cyfrowy, wzmocniony, szybki, o niskim poborze mocy
21. Sterowanie prędkością, kierunkiem i zatrzymaniem silnika DC z modułem RF NRF24L01
22. Nadajnik zdalnego sterowania z pojedynczym joystickiem wykorzystujący NRF24L01
23. 8-kanałowy zdalny nadajnik RF z protokołami: Holtek i szeregowym
24. 8-kanałowy zdalny odbiornik RF z protokołami: Holtek i szeregowym
25. Pojemnościowy czujnik wilgotności do konwertera wyjścia analogowego
26. Mostek H dla wysokiej mocy szczotkowego silnika prądu stałego z czujnikiem prądu
27. Przetwornica DC-DC buck 12...75 V na 10 V na wyjściu
28. Czujnik prądu low-side 10 μA...10 mA
29. Kontroler ramienia robota z bezprzewodowym pilotem PS3
30. Termiczny czujnik masowego przepływu powietrza – anemometr stałotemperaturowy
31. Precyzyjny wzmacniacz transimpedancyjny z przełączanym integratorem
32. Wysokowydajny monofoniczny wzmacniacz audio klasy D o mocy 20 W
33. Kontroler pełnego mostka z przesunięciem fazowym i prostowaniem synchronicznym wykorzystujący UCC28950
34. Monitorowanie poziomu cieczy za pomocą czujnika ciśnienia – wyświetlacz słupkowy
35. Sterowanie silnikiem DC za pomocą joysticka
36. 16-kanałowy sterownik serwomechanizmów RC z interfejsem I²C

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 ba02d99ec4

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 ba02d99ec4

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

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

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

BESTSELLERY sklepu AVT – sklep.avt.pl

Mierniki Testery FNIRSI

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

Kod ważny do 30.09.2025

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

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

FN-LCR-P1
Tester elementów FNIRSI LCR-P1

FN-HRM10
Tester rezystancji wewnętrznej akumulatorów FNIRSI HRM-10

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

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

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