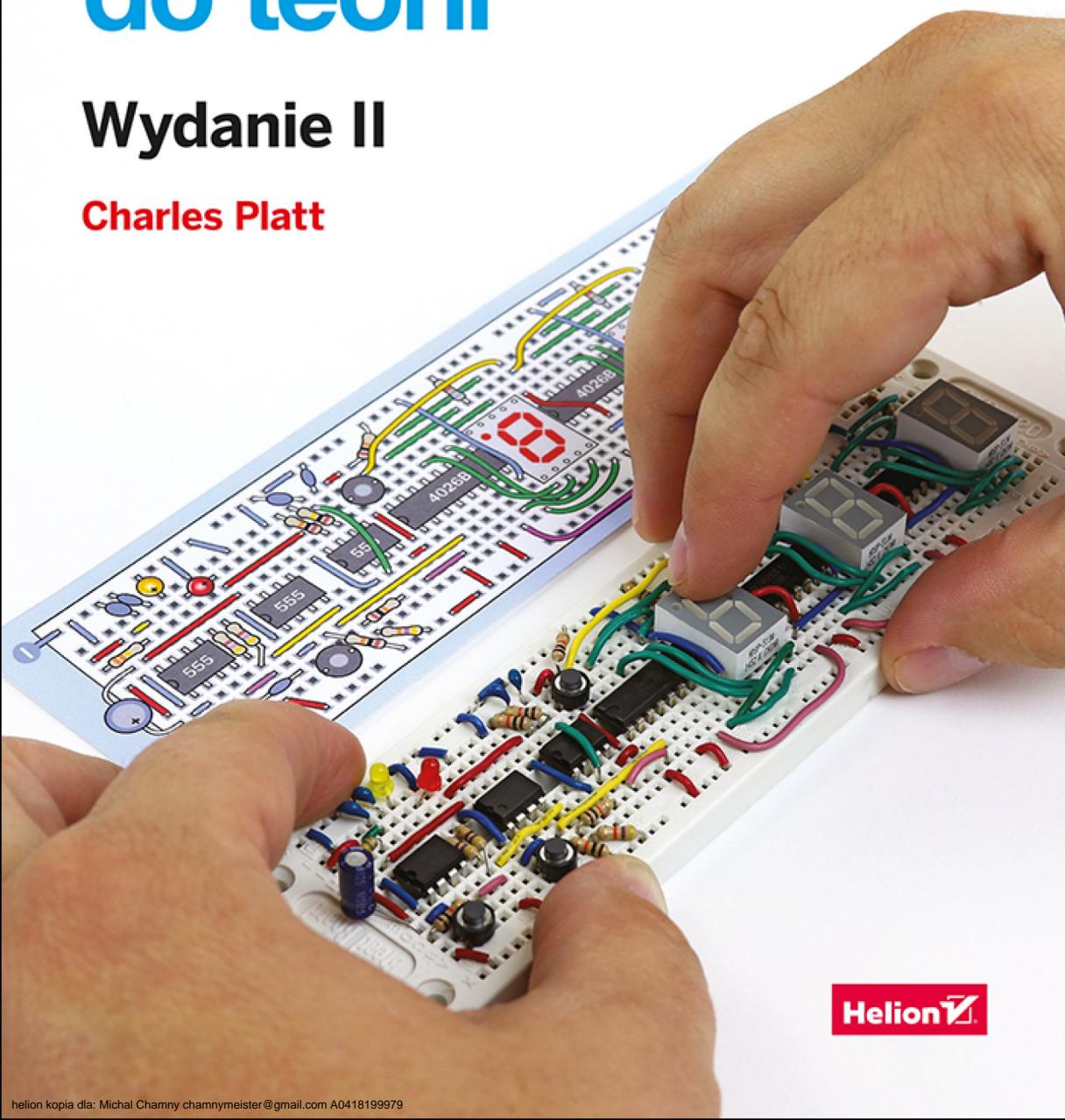


# Elektronika

## Od praktyki do teorii

Wydanie II

Charles Platt



Helion

Tytuł oryginału: Make: Electronics, Second Edition

Tłumaczenie: Konrad Matuk

ISBN: 978-83-283-2284-4

© 2016 Helion SA.

Authorized Polish translation of the English edition of Make: Electronics 2nd Edition  
ISBN 9781680450262 © 2015 Charles Platt, published by Maker Media Inc.

This translation is published and sold by permission of O'Reilly Media, Inc.,  
which owns or controls all rights to publish and sell the same.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any  
form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording  
or by any information storage retrieval system, without permission from the Publisher.

Wszelkie prawa zastrzeżone. Nieautoryzowane rozpowszechnianie całości lub fragmentu  
niniejszej publikacji w jakiejkolwiek postaci jest zabronione. Wykonywanie kopii metodą  
kserograficzną, fotograficzną, a także kopiowanie książki na nośniku filmowym,  
magnetycznym lub innym powoduje naruszenie praw autorskich niniejszej publikacji.

Wszystkie znaki występujące w tekście są zastrzeżonymi znakami firmowymi  
bądź towarowymi ich właścicielami.

Autor oraz Wydawnictwo HELION dołożyli wszelkich starań, by zawarte w tej książce  
informacje były kompletne i rzetelne. Nie biorą jednak żadnej odpowiedzialności ani za ich  
wykorzystanie, ani za związane z tym ewentualne naruszenie praw patentowych lub autorskich.  
Autor oraz Wydawnictwo HELION nie ponoszą również żadnej odpowiedzialności  
za ewentualne szkody wynikłe z wykorzystania informacji zawartych w książce.

Wydawnictwo HELION  
ul. Kościuszki 1c, 44-100 GLIWICE  
tel. 32 231 22 19, 32 230 98 63  
e-mail: [helion@helion.pl](mailto:helion@helion.pl)  
WWW: <http://helion.pl> (księgarnia internetowa, katalog książek)

Drogi Czytelniku!  
Jeżeli chcesz ocenić tę książkę, zajrzyj pod adres  
[http://helion.pl/user/opinie/eleod2\\_ebook](http://helion.pl/user/opinie/eleod2_ebook)  
Możesz tam wpisać swoje uwagi, spostrzeżenia, recenzję.

- [Poleć książkę na Facebook.com](#)
- [Kup w wersji papierowej](#)
- [Oceń książkę](#)

- [Księgarnia internetowa](#)
- [Lubię to! » Nasza społeczność](#)

*Niniejsze wydanie dedykuję czytelnikom pierwszego wydania książki Elektronika. Od praktyki do teorii, którzy zasugerowali wiele z modyfikacji wprowadzonych w tym wydaniu. To w szczególności: Jeremy Frank, Russ Sprouse, Darral Teebles, Andrew Shaw, Brian Good, Behram Patel, Brian Smith, Gary White, Tom Malone, Joe Everhart, Don Girvin, Marshall Magee, Albert Qin, Vida John, Mark Jones, Chris Silva i Warren Smith. Niektórzy z nich byli ochotnikami, którzy dokonali korekty tekstu niniejszego wydania.*

*Wsparcie czytelników jest dla mnie czymś niezastąpionym.*



# Spis treści

<b>Podziękowania</b> . . . . .	XV
<b>Co nowego w drugim wydaniu?</b> . . . . .	XVII
<b>Wstęp. Jak przyjemnie spędzić czas z tą książką</b> . . . . .	XIX
<b>Rozdział 1. Podstawy</b> . . . . .	1
Lista zakupów: eksperymenty od 1 do 5 . . . . .	1
Multimetr . . . . .	1
Ustalanie zakresu pomiarowego . . . . .	3
Wielkości . . . . .	3
Okulary ochronne . . . . .	4
Baterie i złącza . . . . .	4
Przewody probiercze . . . . .	5
Potencjometry . . . . .	5
Bezpieczniki . . . . .	6
Diody elektroluminescencyjne (LED) . . . . .	6
Rezystory . . . . .	7
Eksperyment 1: Posmakuj mocy! . . . . .	7
Procedura . . . . .	7
Przygotowanie miernika do pracy . . . . .	8
Pomiar rezystancji języka . . . . .	9
Dalsze badania . . . . .	11
Sprzątanie i recyklikacja . . . . .	12
Eksperyment 2: Jak nie należy używać baterii . . . . .	13
Ciepło powstające w wyniku przepływu prądu . . . . .	14
Jak przepalić bezpiecznik? . . . . .	16
Sprzątanie i recyklikacja . . . . .	19
Eksperyment 3: Twój pierwszy obwód . . . . .	19
Przygotowanie . . . . .	19
Generowanie światła za pomocą diod LED . . . . .	21
Sprawdzanie rezystorów . . . . .	22
Sprzątanie i recyklikacja . . . . .	23

Eksperyment 4: Zmiana rezystancji . . . . .	23
Zajrzyj do wnętrza swojego potencjometru . . . . .	23
Testowanie potencjometru . . . . .	24
Przyciemnianie diody LED . . . . .	25
Pomiar różnicy potencjałów . . . . .	26
Sprawdzanie przepływu . . . . .	27
Pomiar prądu . . . . .	28
Wykonywanie pomiarów . . . . .	28
Stosowanie prawa Ohma . . . . .	31
Jak dużego rezystora potrzebuje dioda LED . . . . .	32
Sprzątanie i recyklikacja . . . . .	36
Eksperyment 5: Zróbmy własną baterię . . . . .	36
Przygotowania . . . . .	37
Test cytryny — część I . . . . .	37
Mówiąc praktycznie . . . . .	41
Sprzątanie i recyklikacja . . . . .	43
<b>Rozdział 2. Przełączanie i nie tylko . . . . .</b>	<b>45</b>
Lista zakupów: eksperymenty od 6 do 11 . . . . .	45
Zestaw małych śrubokrętów (niezbędny) . . . . .	45
Małe kombinerki o długich szczeękach (niezbędne) . . . . .	45
Szczypce precyzyjne (zalecane) . . . . .	46
Szczypce do cięcia drutu (niezbędne) . . . . .	46
Cażki (zalecane) . . . . .	46
Szczypce do zdejmowania izolacji (niezbędne) . . . . .	47
Płytki prototypowe (niezbędne) . . . . .	48
Zaopatrzenie . . . . .	49
Części . . . . .	52
Coś jeszcze? . . . . .	55
Eksperyment 6: Bardzo proste przełączanie . . . . .	55
Iskrzenie . . . . .	58
Sprawdzanie przełącznika . . . . .	59
Wprowadzenie do schematów . . . . .	60
Konwencje tworzenia schematów . . . . .	64
Krzyżowanie się przewodów . . . . .	64
Kolory przewodów . . . . .	65
Eksperyment 7: Zabawa z przekaźnikiem . . . . .	65
Przekaźnik . . . . .	66
Procedura . . . . .	66
Jak to działa? . . . . .	67
Inne przekaźniki . . . . .	68
Otwieranie przekaźnika . . . . .	69

Eksperyment 8: Oscylator zbudowany na przekaźniku . . . . .	71
Początki pracy z płytą prototypową . . . . .	72
Tworzenie przewodów połączeniowych . . . . .	73
Zasilanie . . . . .	73
Wewnątrz płytka . . . . .	74
Wyjaśnienie działania obwodu z przekaźnikiem . . . . .	74
Dodawanie funkcji brzęczenia . . . . .	75
Dodawanie pojemności . . . . .	76
Eksperyment 9: Czas i kondensatory . . . . .	81
Ładowanie kondensatora . . . . .	81
Układ RC . . . . .	82
Napięcie, rezystancja i pojemność . . . . .	83
Doświadczenie weryfikujące teorię . . . . .	86
Sprzężenie pojemnościowe . . . . .	86
Prąd przesunięcia . . . . .	88
Prąd przemienny . . . . .	89
Eksperyment 10: Przełączanie tranzystorami . . . . .	90
Test palca . . . . .	91
Jak zadziałał test palca? . . . . .	92
Dodawanie potencjometru . . . . .	93
Napięcie i natężenie prądu . . . . .	95
Eksperyment 11: Światło i dźwięk . . . . .	98
Fluktuacje . . . . .	98
Krok po kroku . . . . .	100
Kondensator sprzągający . . . . .	102
Jak obwód rozpoczyna pracę? . . . . .	102
Dlaczego jest to tak skomplikowane? . . . . .	102
Przetworzony impuls . . . . .	102
Zwiększenie szybkości . . . . .	103
Dalsze modyfikacje . . . . .	104
<b>Rozdział 3. Wkraczamy głębiej . . . . .</b>	<b>107</b>
Lista zakupów: eksperymenty od 12 do 15 . . . . .	107
Zasilacz (niezbędny) . . . . .	107
Lutownica kolbową o niskiej mocy (zalecana) . . . . .	108
Lutownica ogólnego przeznaczenia (zalecana) . . . . .	109
Statyw lutowniczy (niezbędny) . . . . .	109
Szkło powiększające (niezbędne) . . . . .	110
Przewody pomiarowe z końcówkami zaciskanymi (niezbędne) . . . . .	111
Opalarka (niezbędna) . . . . .	111
Sprzęt przydatny przy rozlutowywaniu (zalecany) . . . . .	112
Podstawka na lutownicę (zalecana) . . . . .	112

Miniaturowa piła ręczna (zalecana) . . . . .	113
Gratownik (zalecany) . . . . .	113
Suwmiarka (zalecana) . . . . .	113
Zaopatrzenie . . . . .	113
Części . . . . .	116
<b>Eksperyment 12: Łączenie dwóch przewodów w jeden . . . . .</b>	<b>117</b>
Twoje pierwsze połączenie lutowane . . . . .	118
Twoje drugie połączenie lutowane . . . . .	122
Dodawanie izolacji . . . . .	124
Modyfikacja zasilacza . . . . .	125
Skracanie kabla zasilającego . . . . .	127
Co dalej? . . . . .	130
<b>Eksperyment 13: Podgrzewanie diody . . . . .</b>	<b>130</b>
Dokąd odpytynęto ciepło? . . . . .	132
Zasady odprowadzania ciepła . . . . .	133
<b>Eksperyment 14: Pulsujące światło nadające się na ozdobę . . . . .</b>	<b>133</b>
Weryfikacja fluktuacji . . . . .	133
Zegnij druty, dodaj cynę . . . . .	135
Krok po kroku . . . . .	136
Zakończenie prac . . . . .	136
<b>Eksperyment 15: Alarm antywłamaniowy — część I . . . . .</b>	<b>140</b>
Lista oczekiwania . . . . .	141
Implementacja listy życzeń . . . . .	142
Przelączniki magnetyczne . . . . .	142
Przerwa na wykonanie obwodu tranzystorowego . . . . .	143
Przekaźnik samozatrząskowy . . . . .	145
Blokada szkodliwego napięcia . . . . .	146
Rozwiązywanie jednego problemu tworzy kolejny problem . . . . .	147
Rozwiązywanie problemu . . . . .	148
Dioda zabezpieczająca . . . . .	149
Montaż obwodu na płytce prototypowej . . . . .	149
Dodawanie generatora dźwięku . . . . .	150
Podsumowanie: To warto zapamiętać . . . . .	151
<b>Rozdział 4. Układy scalone . . . . .</b>	<b>153</b>
Lista zakupów: eksperymenty od 16 do 24 . . . . .	153
Narzędzia . . . . .	153
Komponenty . . . . .	154
<b>Eksperyment 16: Generowanie impulsów . . . . .</b>	<b>158</b>
Poznaj swój układ scalony . . . . .	159
Test monostabilny . . . . .	159
Określanie czasu trwania impulsu . . . . .	162

Eksperyment 17: Ustawianie wysokości tonu . . . . .	169
Test astabilny . . . . .	170
Modyfikacje trybu astabilnego . . . . .	174
Łączenie kości w łańcuch . . . . .	174
Generowanie dźwięku syreny . . . . .	177
Eksperyment 18: Prawie gotowy alarm antywłamaniowy . . . . .	178
Wykonaj w pełni sprawne urządzenie w trzech krokach . . . . .	179
Co z syreną? . . . . .	185
Co z mechanizmem włączania i wyłączania? . . . . .	186
Finalizacja projektu . . . . .	186
Najczęstsze błędy popełniane podczas montowania	
w płytce perforowanej . . . . .	187
Obudowa projektu . . . . .	189
Lutowanie przełączników . . . . .	191
Montaż płytki obwodu . . . . .	191
Test końcowy . . . . .	192
Instalacja alarmu . . . . .	192
Podsumowanie . . . . .	193
Eksperyment 19: Miernik czasu reakcji . . . . .	194
Szybka demonstracja . . . . .	195
Generowanie impulsów . . . . .	200
Czas opracować plan . . . . .	201
System sterowania . . . . .	201
Postęp w pracy nad projektem . . . . .	202
Opóźnienie . . . . .	203
Testowanie . . . . .	204
Jak to działa? . . . . .	204
Kolejne cyfry . . . . .	205
Kalibracja . . . . .	205
Udoskonalanie . . . . .	207
Co dalej? . . . . .	207
Eksperyment 20: Podstawy logiki cyfrowej . . . . .	207
Regulator . . . . .	208
Zastosowanie . . . . .	209
Twoja pierwsza bramka logiczna . . . . .	209
Czego nie potrzebujesz . . . . .	216
Eksperyment 21: Funkcjonalne połączenie . . . . .	219
Uwaga na gwarancję . . . . .	219
Schemat trzyczęściowego obwodu . . . . .	220
Jak to działa? . . . . .	221
Więcej niż jeden przycisk? . . . . .	222
Aktywacja przekaźnika . . . . .	222
Kość z układami logicznymi . . . . .	222

Czas połączyć obwód! . . . . .	223
Przygotowanie obwodu do pracy . . . . .	223
Testowanie . . . . .	224
Praca z diodami . . . . .	225
Pytania . . . . .	225
Połączenie z komputerem . . . . .	226
Udoskonalanie . . . . .	227
<b>Eksperyment 22: Wyścig . . . . .</b>	<b>229</b>
Cel . . . . .	230
Od koncepcji do układu . . . . .	230
Montaż na płytce prototypowej . . . . .	235
Udoskonalanie . . . . .	237
<b>Eksperyment 23: Przetaczanie i odbijanie . . . . .</b>	<b>237</b>
Zasada działania . . . . .	239
Niwelowanie odbić za pomocą bramek NOR . . . . .	239
Niwelowanie odbić za pomocą bramek NAND . . . . .	240
Przerzutniki zatraskowe	
i przerzutniki z wejściem zegarowym . . . . .	241
<b>Eksperyment 24: Rzucanie kości mi . . . . .</b>	<b>242</b>
Licznik binarny . . . . .	242
Testowanie licznika . . . . .	243
Narastające i opadające zbocze impulsu . . . . .	245
Moduł . . . . .	246
Tworzenie modułu 6 . . . . .	246
Rozwiązywanie innych niż wyświetlacz siedmiosegmentowy . . . . .	247
Wybór bramek . . . . .	248
Ostateczna wersja obwodu . . . . .	250
Dobre wieści . . . . .	252
Liczniki tworzące łańcuch . . . . .	252
Udoskonalanie . . . . .	253
Problem zwalniania . . . . .	253
Alternatywna koncepcja spowalniania pracy obwodu . . . . .	254
<b>Rozdział 5. Co dalej? . . . . .</b>	<b>257</b>
Narzędzia, wyposażenie, podzespoły i zaopatrzenie . . . . .	257
Przystosowanie Twojego miejsca pracy . . . . .	257
Opisywanie pudełek . . . . .	260
Co na biurku? . . . . .	261
źródła informacji w sieci . . . . .	262
Książki . . . . .	263
<b>Eksperyment 25: Magnetyzm . . . . .</b>	<b>265</b>
Procedura . . . . .	265

Eksperyment 26: Generowanie prądu na własnym biurku . . . . .	268
Procedura . . . . .	268
Zasilanie diody LED . . . . .	269
Opcjonalna rozbudowa projektu . . . . .	271
Ładowanie kondensatora . . . . .	273
Następny eksperyment: Audio . . . . .	273
Eksperyment 27: Destrukcja głośnika . . . . .	273
Procedura . . . . .	274
Eksperyment 28: Zabawa z cewką . . . . .	277
Procedura . . . . .	277
Zanikające pole . . . . .	278
Rezystory, kondensatory i cewki . . . . .	279
Eksperyment 29: Filtrowanie częstotliwości . . . . .	280
Obudowa głośnika . . . . .	281
Wzmacniacz w formie pojedynczego czipu . . . . .	281
Test 1-2-3 . . . . .	282
Przygoda z dźwiękiem . . . . .	284
Kaleczenie muzyki . . . . .	287
Eksperyment 30: Przesterowanie . . . . .	289
Modyfikacja obwodu . . . . .	290
Eksperyment 31: Radio bez lutowania i zasilania . . . . .	294
Krok 1: Cewka . . . . .	294
Antena i masa . . . . .	296
Udoskonalenia . . . . .	298
Eksperyment 32: Elektronika i programowanie . . . . .	301
Definicje . . . . .	301
Zastosowania mikrokontrolerów . . . . .	301
Adekwatny dobór narzędzia do zadania . . . . .	302
Jedna płytka, wiele czipów . . . . .	302
Czy należy bać się podróbkę? . . . . .	303
Instalacja . . . . .	304
Instalacja w systemie Linux . . . . .	305
Instalacja w systemie Windows . . . . .	305
Windows — rozwiązywanie problemów . . . . .	306
Instalacja w systemie Mac OS . . . . .	307
Gdy wszystko zawiodło . . . . .	307
Test — szkic Blink . . . . .	308
Weryfikacja i komplikacja . . . . .	310
Załaduj i uruchom . . . . .	311
Programowanie polega na uważaniu na szczegóły . . . . .	312
Trwałość . . . . .	314
Starzenie się . . . . .	314
Obwody hybrydowe . . . . .	314

Komponenty dyskretne — zalety . . . . .	315
Komponenty dyskretne — wady . . . . .	315
Mikrokontrolery — zalety . . . . .	315
Mikrokontrolery — wady . . . . .	315
Podsumowanie . . . . .	315
<b>Eksperyment 33: Interakcja z otoczeniem . . . . .</b>	<b>316</b>
Korzystanie z termistora . . . . .	317
Konwersja zakresu . . . . .	317
Połączenia . . . . .	318
Gdzie są efekty pracy przetwornika? . . . . .	319
Histereza . . . . .	320
Analiza kodu programu . . . . .	322
Dodatkowe informacje dotyczące programowania . . . . .	322
Rozbudowa projektu . . . . .	323
<b>Eksperyment 34: Udoskonalona kostka . . . . .</b>	<b>324</b>
Ograniczenia nauki przez odkrywanie . . . . .	324
Losowość . . . . .	325
Pseudokod . . . . .	326
Sygnały wejściowe przycisków . . . . .	327
Zegar systemowy . . . . .	328
Ostateczna wersja pseudokodu . . . . .	329
Praca nad płytą obwodu . . . . .	329
Kod programu . . . . .	330
Krótkie i długie wartości całkowitoliczbowe . . . . .	333
Funkcja setup . . . . .	333
Pętla for . . . . .	334
Funkcja generująca liczby losowe . . . . .	334
Instrukcje if . . . . .	335
Szybkość migania . . . . .	335
Tworzenie nowej funkcji . . . . .	335
Struktura . . . . .	336
Czy nie jest to zbyt skomplikowane? . . . . .	337
Rozbudowa programu obsługującego kostkę . . . . .	338
Inne mikrokontrolery . . . . .	338
Wyprawa w nieznane . . . . .	339
Zakończenie . . . . .	340
<b>Rozdział 6. Narzędzia, wyposażenie, komponenty i zasoby . . . . .</b>	<b>341</b>
Zestawy . . . . .	341
Szukanie komponentów i zakupy w internecie . . . . .	341
Sztuka szukania . . . . .	342
Skorzystaj z komunikatora . . . . .	342

Google i podzespoły . . . . .	342
Dokumentacja . . . . .	343
Ogólne zasady korzystania z wyszukiwarki . . . . .	343
Wykluczanie . . . . .	343
Alternatywy . . . . .	344
Zbyt dużo pisania? . . . . .	344
Katalog dystrybutora . . . . .	344
Co kliknąć najpierw? . . . . .	344
Szukanie a rzeczywistość . . . . .	345
Serwisy aukcyjne . . . . .	346
Amazon . . . . .	347
Wyłączanie automatycznego uzupełniania . . . . .	347
Czy warto zadawać sobie tyle trudu, aby znaleźć niezbędne komponenty? . . . . .	347
<b>Lista zasobów i komponentów . . . . .</b>	<b>347</b>
Zasoby . . . . .	348
Komponenty . . . . .	349
Pozostałe komponenty . . . . .	351
Zakupy: Rozdział 1. . . . .	353
Zakupy: Rozdział 2. . . . .	354
Zakupy: Rozdział 3. . . . .	355
Zakupy: Rozdział 4. . . . .	356
Zakupy: Rozdział 5. . . . .	358
Kupowanie narzędzi i wyposażenia . . . . .	360
Narzędzia i sprzęt niezbędne do pracy nad projektem opisany w rozdziale 1. . . . .	360
Narzędzia i sprzęt niezbędne do pracy nad projektem opisany w rozdziale 2. . . . .	361
Narzędzia i sprzęt niezbędne do pracy nad projektem opisany w rozdziale 3. . . . .	361
Dystrybutorzy . . . . .	362
<b>O autorze . . . . .</b>	<b>364</b>
<b>Kolofon . . . . .</b>	<b>364</b>



# Podziękowania

Elektronikę odkryłem wraz z moimi kolegami ze szkoły. Byliśmy nerdami, jeszcze zanim wymyślono ten termin. Patrick Fagg, Hugh Levinson, Graham Rogers i John Witty wprowadzili mnie w świat elektroniki.

Mark Frauenfelder sprawił, że ponownie zacząłem tworzyć. Gareth Branwyn umożliwił mi wydanie książki *Elektronika. Od praktyki do teorii*. Dzięki Brianowi Jepsonowi możliwe było napisanie jej kontynuacji i stworzenie tego nowego wydania. Te trzy osoby są najlepszymi redaktorami, jakich miałem okazję poznać. Większość pisarzy nie ma aż tyle szczęścia.

Jestem wdzięczny Dale'owi Dougherty'emu za zapoczątkowanie czegoś, co stało się dla mnie bardzo ważne (nigdy się tego nie spodziewałem), i zaproszenie mnie do udziału w tym przedsięwzięciu.

Russ Sprouse i Anthony Golin zbudowali obwody przedstawione w tej książce i sprawdzili ich działanie. Philipp Marek, Fredrik Jansson i Steve Conklin dokonali korekty merytorycznej. Jeżeli uda Ci się znaleźć jakieś błędy w tej książce, to nie obwiniaj ich o nie. Pamiętaj, że dużo łatwiej jest popełnić błąd autorowi, niż komuś innemu go znaleźć i poprawić.



# Co nowego w drugim wydaniu?

Cała treść pierwszego wydania została napisana ponownie. Większość fotografii i schematów została zastąpiona.

Pracując nad projektami, będziemy korzystali (tak jak w książce *Elektronika. Od praktyki do teorii. kolejne eksperymenty*) z  **płytka prototypowych wyposażonych w jedną szynę zasilającą**. Dzięki temu prawdopodobieństwo nieprawidłowego połączenia obwodu jest o wiele mniejsze. Zastosowanie płytka tego typu wymagało przebudowania obwodów, ale myślę, że było warto.

Fotografie obwodów wykonanych na płytach prototypowych zastąpiłem **schematami wykonawczymi** pokazującymi ułożenie komponentów tworzących obwód na płytce. Myślę, że wygodniej jest korzystać ze schematów.

Na **rysunkach przedstawiających połączenia znajdujące się wewnątrz płytki** uwzględniono wymienione wcześniej zmiany.

W książce znajdziesz również **nowe fotografie** narzędzi i komponentów. Małe elementy zostały sfotografowane na tle linijki, co uwiadcznia ich wymiary.

Tam, gdzie było to możliwe, zastosowałem tańsze, alternatywne komponenty. Ponadto zmniejszyłem ilości komponentów, które musisz kupić w celu wykonania projektów opisanych w tym wydaniu.

Trzy eksperymenty zostały opisane od podstaw:

- W projekcie „Rzucanie kościami”, w którym w poprzednim wydaniu zastosowałem układy scalone z serii LS 74xx, tym razem zastosowałem układy 74HCxx. Dzięki temu we wszystkich projektach korzystam z takich samych, nowoczesnych układów.
- W projekcie, w którym zastosowałem wcześniejszy z tranzystora jednozłączowego, tym razem skorzystałem z astabilnego układu multiwibratora opartego na dwóch tranzystorach bipolarnych.
- W sekcji dotyczącej mikrokontrolerów wziętem pod uwagę to, że Arduino jest obecnie najpopularniejszym mikrokontrolerem stosowanym w amatorskich projektach.

Ponadto zrezygnowałem z umieszczenia dwóch projektów związanych z obróbką tworzywa ABS, ponieważ wielu czytelników uznało, że są one zbędne.

Zmieniłem układ elementów na stronie. Dzięki temu książka będzie wyglądała atrakcyjnie również na ekranach urządzeń elektronicznych. Tekst został sformatowany za pomocą jawnych znaczników, a więc jego kolejne modyfikacje będą o wiele łatwiejsze. Chcę, aby książka była aktualna i przydatna jeszcze przez wiele lat.

— Charles Platt, 2015



# Wstęp.

## Jak przyjemnie spędzić czas z tą książką

Każdy używa urządzeń elektronicznych, ale większość osób nie wie, co dzieje się w ich wnętrzu.

Oczywiście, możesz uważać, że nie musisz tego wiedzieć. Skoro jeździsz samochodem bez wiedzy na temat zasady działania silnika spalinowego, to do czego przyda Ci się wiedza dotycząca elektryczności i elektroniki?

Rozumienie podstaw elektryki i elektroniki jest przydatne z trzech powodów:

- Uczęc się zasad funkcjonowania danej technologii, zaczynasz lepiej kontrolować świat wokół siebie, zamiast być kontrolowanym przez niego. Kiedy napotkasz jakiś problem, możesz spróbować go rozwiązać, zamiast zwyczajnie popadać w frustrację z powodu zaistniałej sytuacji.
- Nauka elektroniki może stanowić doskonałą rozrywkę, o ile tylko podejdziesz do całego procesu z odpowiednim nastawieniem. Nie musisz na to wydawać dużych pieniędzy.
- Znajomość elektroniki może podnieść Twoją wartość jako pracownika lub być może otworzyć przed Tobą zupełnie nową ścieżkę kariery.

### Nauka przez odkrywanie

Większość książek wprowadzających do elektroniki zaczyna od definicji oraz faktów, a dopiero później stopniowo przechodzi do zadań praktycznych, w trakcie których postępując według instrukcji, budujesz proste obwody.

W podobny sposób wygląda nauka w większości szkół. Proces ten nazywam **nauką przez wyjaśnianie**.

Ta książka odwraca ten proces. Chcę, abyś zaczął od połączenia komponentów, a kiedy zaobserwujesz działający układ, zrozumiesz, jakie procesy zachodzą w jego wnętrzu. Uważam, że **nauka przez odkrywanie** pozwala lepiej utrwalić wiedzę, a ponadto jest o wiele przyjemniejsza i interesująca.

Po drodze będziesz popełniał błędy. Tak ma być. Pomyłki są istotnym elementem procesu nauki. Chcę, żebyś palił i niszczył części, ponieważ w ten sposób dowiesz się, gdzie kończą się granice możliwości części elektronicznych i materiałów. Będziemy używać niskich napięć i prądów, nie ma zatem ryzyka porażenia prądem, poparzenia ani wzniecenia pożaru.

Najważniejszą rzeczą związaną z nauką przez odkrywanie jest własnoręczna praca. Oczywiście zdobędziesz pewne wiadomości poprzez lekturę tej książki, ale tylko samodzielna praca nad projektami pozwoli Ci zdobyć cenne doświadczenie.

Na szczęście niezbędne narzędzia i komponenty są tanie. Hobbystyczne zajmowanie się elektroniką nie powinno być droższe od innych rekreacyjnych zajęć, takich jak np. haftowanie, a ponadto nie musisz mieć własnego warsztatu. Wszystko możesz wykonać na swoim biurku.

### Jakiego stopnia trudności mogę się spodziewać?

Zakładam, że jesteś osobą poczatkującą, bez jakiejkolwiek wiedzy na temat elektroniki. Dlatego też kilka pierwszych eksperymentów będzie bardzo prostych, bez konieczności lutowania lub używania płyt prototypowych do zbudowania układu.

Nie uważam, aby elektronika w wydaniu dla hobystów musiała być trudna. Może tak być, jeśli chcesz studiować elektronikę w sposób bardziej systematyczny i osiągnąć poziom, który pozwoli Ci na samodzielne projektowanie układów. Ale w tej książce narzędzia i potrzebne części będą niedrogie, cele do zrealizowania jasno określone, a potrzebna wiedza matematyczna ograniczy się do dodawania, odejmowania, mnożenia, dzielenia i umiejętności przesuwania miejsca dziesiętnego z jednego miejsca w inne.

## Jak korzystać z tej książki?

W książce takiej jak ta istnieją dwa sposoby prezentowania informacji: samouczki i sekcje zawierające informacje teoretyczne. Ja zamierzam użyć obu metod. Samouczki będą się składać z następujących części:

- eksperymentów,
- listy zakupów,
- uwag.

Najważniejszą częścią tej książki są eksperymenty, które zostały ułożone w kolejności pozwalającej na stopniowe nabywanie wiedzy — na początku będziesz pracował nad prostymi projektami, a wiedza zdobыта podczas pracy nad nimi przyda Ci się podczas pracy nad kolejnymi projektami. Powinieneś wykonywać kolejne eksperymenty zgodnie z numerami, którymi zostały one oznaczone, starając się pomijać pracę nad jak najmniejszą liczbą projektów.

Informacje z zakresu teorii znajdziesz w sekcjach zaczynających się od nagłówków:

- Podstawy.
- Teoria.

Uważam, że sekcje dotyczące teorii są ważne (gdyby nie były, nie umieszczałbym ich w tej książce), ale jeżeli jesteś niecierpliwy, to możesz zapoznawać się tylko z tymi sekcjami, które dotyczą interesujących Cię zagadnień; możesz też je pomijać i wracać do nich później.

## Gdyby coś nie działało

Zwykle jest tylko jeden sposób na zbudowanie działającego obwodu, a obwód niedziałający prawidłowo można zbudować na setki sposobów. Podczas pracy musisz zachować ostrożność. Pracując ostrożnie i zgodnie z zasadami, unikniesz wielu błędów.

Wiem, jak irytująca jest sytuacja, gdy zainstalowane komponenty nie pracują. Jeżeli przytrafi Ci się problem, to jego rozwiązywanie zaczni od wykonania procedury opisanej w sekcji „Podstawy: wyszukiwanie uszkodzeń” na stronie 79. Staram się odpowidać na e-maile, w których czytelnicy opisują swoje problemy, ale przed wysłaniem prośby o pomoc postaraj się rozwiązać problem samodzielnie.

## Publikowanie opinii w internecie

W internecie znajdziesz wiele forów dyskusyjnych, na których możesz zrecenzować tę książkę i opisać napotkane przez siebie problemy. Pamiętaj o tym, że jako czytelnik dysponujesz bardzo ważnym głosem — korzystaj z niego rozważnie. Nawet jedna negatywna opinia o książce może pociągnąć za sobą znacznie dotkliwsze skutki, niż Ci się wydaje. Może ona być znacznie bardziej przekonująca niż kilkanaście pozytywnych recenzji.

Moje książki zostały dość ciepło przyjęte przez czytelników, ale spotkałem również kilka recenzji, w których czytelnicy wyrażali swoje niezadowolenie spowodowane podenerwowaniem wynikającym z drobnych niedogodności, takich jak np. niemożność znalezienia zalecanego przeze mnie podzespołu w sklepach internetowych. Gdyby autorzy tych recenzji zwróciли się do mnie z prośbą o pomoc, to zasugerowałbym im właściwe źródła poszukiwanych przez nich podzespołów.

Czytam recenzje moich książek umieszczane przez użytkowników serwisów takich jak Amazon i zawsze odpowiadam na nie, gdy zachodzi taka konieczność.

Jeżeli nie podoba Ci się sposób, w jaki napisałem tę książkę, to oczywiście możesz to swobodnie wyrazić.

## Dalszy rozwój

Po lekturze niniejszej książki będziesz rozumiał wiele podstawowych zagadnień związanych z elektroniką. Mam nadzieję, że chcąc poszerzyć swoją wiedzę, sięgniesz po moją kolejną książkę — *Elektronika. Od praktyki do teorii. Kolejne eksperymenty*. Zaprezentowano w niej nieco trudniejsze zagadnienia, ale oparłem ją na tej samej zasadzie „nauki przez odkrywanie”. Po lekturze obu moich książek powinieneś rozumieć „średnio zaawansowane” zagadnienia związane z elektroniką.

Nie posiadam kwalifikacji niezbędnych do napisania „zaawansowanego” podręcznika, a więc nie napiszę kontynuacji mojego cyklu składającego się z dwóch książek.

Jeżeli chcesz wiedzieć więcej, to możesz sięgnąć po książkę *Practical Electronics for Inventors* napisaną przez Paula Scherza. Jest to najczęściej polecana przeze mnie pozycja. Jest to książka przeznaczona dla konstruktorów, ale przyda się każdej osobie zainteresowanej elektroniką.

## Pytania i komentarze

Wszelkie uwagi odnośnie do tej książki możesz zamieścić na jej stronie:

<http://helion.pl/ksiazki/eleod2.htm>

Znajdziesz tu również aktualną erratę oraz dodatkowe informacje, np. zamieszczone w książce schematy.



# Podstawy

Rozdział 1. obejmuje eksperymenty od 1 do 5.

W eksperymencie 1 chciałbym, abyś — dosłownie — zakosztował prądu. Doświadczysz wpływu prądu nie tylko na przewody i komponenty elektroniczne, ale także na otaczający Cię świat; odkryjesz także naturę oporu elektrycznego.

Eksperymenty od 1 do 5 ilustrują, czym jest napięcie i natężenie prądu elektrycznego, a dodatkowo dowiesz się, jak można wygenerować prąd elektryczny za pomocą przedmiotów codziennego użytku.

Nawet jeśli posiadasz już jakąś wiedzę na temat elektroniki, powinieneś spróbować tych eksperymentów, zanim przejdziesz do dalszej części książki. Praca nad tymi eksperymentami to zabawa, która pozwoli Ci lepiej zrozumieć pewne podstawowe koncepcje.

## **Lista zakupów:** **eksperymenty od 1 do 5**

Każdy rozdział tej książki rozpoczyna się od opisu narzędzi, przyrządów i komponentów niezbędnych do wykonania eksperymentów. Po zdobyciu odpowiedniej wiedzy na ich temat możesz zajrzeć na koniec książki, gdzie wymieniono różnych dostawców.

- Przed zakupem narzędzi i wyposażenia stanowiska pracy zajrzyj do sekcji „Kupowanie narzędzi i wyposażenia” (znajdziesz ją w rozdziale 6.).
- Przed zakupem komponentów zajrzyj do sekcji „Komponenty” (znajdziesz ją w rozdziale 6.).
- Przed zakupem elementów eksploatacyjnych zajrzyj do sekcji „Zasoby” (znajdziesz ją w rozdziale 6.).

- Jeżeli interesuje Cię zakup zestawu komponentów, to zajrzyj do sekcji „Zestawy” (znajdziesz ją w rozdziale 6.).

**Narzędzia i przyrządy** są rzeczami, które powinny służyć stale. Są to przedmioty takie jak kombinerki i multimetru. **Elementy eksploatacyjne**, takie jak drut i spoiwo lutownicze, będą zużywane podczas pracy nad kolejnymi projektami. Jeżeli kupisz je w podanych przez mnie ilościach, to z pewnością nie zabraknie Ci ich podczas pracy. Przed każdym projektem znajdziesz listę **komponentów**, które zostaną w nim zastosowane.

## **Multimetr**

Listę niezbędnych narzędzi rozpoczynam od multimetru, ponieważ uważam, że to najważniejszy przyrząd, z jakiego będziesz korzystać. Miernik uniwersalny pozwala na pomiar różnicy potencjału pomiędzy dwoma punktami obwodu, pomiar natężenia prądu płynącego przez obwód, rezystancji i pojemności (zdolność gromadzenia ładunku) poszczególnych komponentów.

Jeżeli dopiero zaczynasz swoją przygodę z elektroniką, to pojęcia, którymi operuję, mogą Ci się wydawać niezrozumiałe, a multimeter możesz uznać za urządzenie trudne w obsłudze. To nieprawda. Multimetr ułatwia proces nauki, pokazując to, czego nie widać gołym okiem.

Zanim napiszę, jaki miernik kupić, omówię mierniki, których powinieneś unikać. Nie powinieneś pracować ze starym miernikiem wskazówkowym (patrz rysunek 1.1). Mierniki takie określamy mianem mierników **analogowych**.



Rysunek 1.1. Taki analogowy miernik uniwersalny nie nadaje się do pracy nad projektami, potrzebujesz urządzenia cyfrowego

Powinieneś pracować z miernikiem **cyfrowym** wyświetlającym mierzone wielkości w formie cyfr. Postanowiłem przedstawić Ci kilka przykładowych mierników tego typu.

Na rysunku 1.2 przedstawiłem najtańszy miernik, jaki udało mi się znaleźć. Jest on tańszy od powieści w miękkiej oprawie i sześciopaku napojów gazowych. Nie potrafi jednak mierzyć bardzo wysokich rezystancji i bardzo niskich napięć. Charakteryzuje się wysoką niepewnością pomiarową i nie potrafi mierzyć pojemności elektrycznej. Jeśli jednak dysponujesz ograniczonym budżetem, to prawdopodobnie będzie on najlepszym wyborem do pracy nad eksperymentami przedstawionymi w tej książce.



Rysunek 1.2. Najtańszy znaleziony przeze mnie multimeter

Przyrząd pomiarowy przedstawiony na rysunku 1.3 jest o wiele dokładniejszy i oferuje więcej funkcji. Rozpoczynając przygodę z elektroniką, warto kupić sobie taki (lub podobny) miernik.



Rysunek 1.3. Jeżeli rozpoczynasz swoją przygodę z elektroniką, to warto kupić miernik podobny do tego

Multimetr przedstawiony na rysunku 1.4 jest nieco droższy, ale o wiele lepiej wykonany. Model przedstawiony na tym rysunku nie jest już produkowany, ale w sklepach znajdziesz wiele podobnych modeli. Miernik tego typu kosztuje około 2 – 3 razy więcej od modelu firmy NT przedstawionego na rysunku 1.3. Firma Extech jest solidną firmą, która stara się dbać o jakość w czasach pogoni za jak najniższą ceną produktu.



Rysunek 1.4. Lepiej wykonany, nieco droższy multimeter

Na rysunku 1.5 przedstawiono mój aktualnie ulubiony miernik. Charakteryzuje się on surowym wyglądem i posiada wszystkie oczekiwane przeze mnie funkcje, oferuje szeroki zakres pomiarów i wysoką dokładność, ale kosztuje ponad 20 razy więcej od najtańszego multimetru. Zakup takiego urządzenia traktuję jako długoterminową inwestycję.



Rysunek 1.5. Miernik wysokiej jakości

Jak wybrać, który miernik kupić? Gdybyś uczył się jeździć samochodem, to nie potrzebowałbyś drogiego samochodu, a rozpoczęjąc naukę elektroniki, nie musisz kupować drogiego miernika. Niestety najtańszy miernik może mieć pewne wady, takie jak wbudowany, trudny do wymiany bezpiecznik lub przełącznik obrotowy, którego styki szybko się zużywają. Oto zasada, dzięki której kupisz tani miernik o akceptowalnej jakości:

- Znajdź najtańszy multymetr dostępny w serwisie Allegro, przemnóż jego cenę przez dwa, a następnie poszukaj miernika w tym zakresie cenowym.

Niezależnie od tego, ile pieniędzy chcesz przeznaczyć na zakup miernika, musisz zwrócić uwagę na parametry opisane w kolejnych sekcjach.

## Ustalanie zakresu pomiarowego

Mierniki mogą dokonywać pomiaru tak szerokiego spektrum wielkości, że niezbędnym jest ograniczenie zakresu pomiarowego. Niektóre mierniki pozwalają na **ręczne określenie zakresu pomiarowego** — są wyposażone w pokrętło przełączające tryby pracy. Możesz np. wybrać tryb pomiaru napięcia prądu w zakresie od 2 do 20 V.

Inne mierniki **automatycznie określają zakres pomiarowy** — taki miernik wystarczy podłączyć do punktów pomiarowych i poczekać, aż sam ustali zakres pomiarowy. Pocześć... Pracując z miernikiem automatycznie określającym zakres pomiarowy, trzeba każdorazowo odczekać kilka sekund, aż

elektronika miernika dokona niezbędnych operacji. Jestem niecierpliwy, a więc wolę korzystać z mierników wymagających ręcznego określenia zakresu pomiarowego.

Kolejnym problemem związanym z korzystaniem z urządzeń automatycznie określających zakres pomiarów jest to, że trzeba uważać na małe litery wyświetlane na ekranie obok jednostek. Na przykład rezystancja  $1 \text{ k}\Omega$  jest tysiąc razy mniejsza od rezystancji  $1 \text{ M}\Omega$ . W związku z tym:

- Na początek przygody z elektroniką radzę Ci, abyś kupił multymetr wymagający ręcznego określenia zakresu pomiarowego. Ogranicza on możliwość popełnienia błędu i jest nieco tańszy.

Producent powinien dostarczyć informacje dotyczące tego, jak dany miernik dobiera zakres pomiarowy. Jeżeli nie znajdziesz takich informacji, to wystarczy, że popatrzyz na pokrętło wyboru trybu pomiarowego. Jeżeli wokół pokrętła nie znajdziesz żadnych liczb, to znaczy, że masz do czynienia z miernikiem automatycznie dobierającym zakres pomiarowy. Przykład takiego miernika pokazano na rysunku 1.4. Pozostałe multimetry nie posiadają funkcji automatycznego doboru zakresu pomiarowego.

## Wielkości

Na pokrętłe znajdziesz również informacje dotyczące tego, jakie wielkości mogą być mierzone przez dany multymetr.

**Wolty, ampery i omły** są oznaczane za pomocą liter V, A i symbolu greckiej litery omega (patrz rysunek 1.6). Teraz możesz nie wiedzieć, co określają te wielkości, ale stanowią one podstawy elektrotechniki.



Rysunek 1.6. Trzy przykłady greckiej litery omega będącej symbolem rezystancji (oporu elektrycznego)

Twój multymetr powinien również pozwalać na pomiar miliamperów (**mA**) i miliwoltów (**mV**). Może to nie być widoczne na pokrętłe miernika, ale z pewnością informacje na ten temat znajdziesz w specyfikacji urządzenia pomiarowego.

**DC** jest symbolem prądu stałego, a **AC** prądu zmiennego. Opcje te mogą być przełączane za pomocą przycisku lub wybierane za pomocą głównego pokrętła. Przełączanie za pomocą przycisku jest prawdopodobnie bardziej wygodne.

**Sprawdzanie ciągłości** jest przydatną funkcją pozwalającą na wykrycie przerwań obwodu. Miernik wykrywający ciągłość obwodu powinien emitować dźwięk. Na rysunku 1.7 przedstawiono symbol tej funkcji.



Rysunek 1.7. Symbol bardzo praktycznej funkcji sprawdzania ciągłości obwodu

Wydając nieco więcej pieniędzy, możesz kupić miernik dysponujący następującymi trybami pomiarowymi (wymieniono je w kolejności od najważniejszych do mniej ważnych):

**Pojemność.** Kondensatory są małymi komponentami, które muszą występować w większości obwodów elektronicznych. Na najmniejszych kondensatorach nie nadrukowuje się informacji o ich pojemności, a możliwość pomiaru ich pojemności zapobiegnie pomieszanemu ze sobą kondensatorów o różnej pojemności. Najtańsze multymetry nie mierzą pojemności kondensatorów. Zwykle funkcja ta jest oznaczana literą F (pojemność jest wyrażana w faradach). Spotkałem się również z oznaczeniem CAP.

**Testowanie tranzystorów.** Istnienie tej funkcji można rozpoznać po znajdujących się w obudowie multymetru małych otworach oznaczonych etykietami E, B, C i E. Testowanie to pozwala na określenie funkcji

złączy tranzystora lub sprawdzenie, czy tranzystor nie uległ uszkodzeniu.

**Częstotliwość.** Oznaczana jest zwykle etykietą Hz. Funkcja ta nie przyda się podczas pracy nad eksperymentami opisanymi w tej książce, ale może przydać Ci się w przyszłości.

Wszystkie pozostałe funkcje możesz uznać za nieważne.

Jeżeli wciąż nie zdecydowałeś się, jaki multymetr wybrać, to przeczytaj dalszą część tego rozdziału i zobacz, jak będziemy korzystać z multymetru w eksperymentach numer 1, 2, 3 i 4.

## Okulary ochronne

Okulary ochronne przydadzą Ci się podczas eksperymentu numer 2. Wystarczy, że kupisz najtańsze plastikowe okulary ochronne. Rozerwanie baterii jest mało prawdopodobne, ale nawet gdyby do niego doszło, to najprawdopodobniej nie charakteryzowałoby się ono dużą siłą.

Möżesz skorzystać również ze standardowych okularów. Eksperiment możesz oglądać również przez kawałek przezroczystego plastiku wyciętego np. z butelki po wodzie.

## Baterie i złącza

Baterie i złącza są częścią obwodu, a więc zaliczam je do tej samej kategorii co komponenty. Więcej informacji na temat zamawiania komponentów znajdziesz w sekcji „Pozostałe komponenty” znajdującej się w rozdziale 6.

Prawie wszystkie eksperymenty przedstawione w tej książce będą zasilane prądem o napięciu 9 woltów. Prąd taki może dostarczyć bateria płaska 9 V, którą znajdziesz w większości sklepów. Później zasugeruję Ci zasilanie projektów za pomocą zasilacza, ale na razie zasilacz nie będzie Ci do niczego potrzebny.

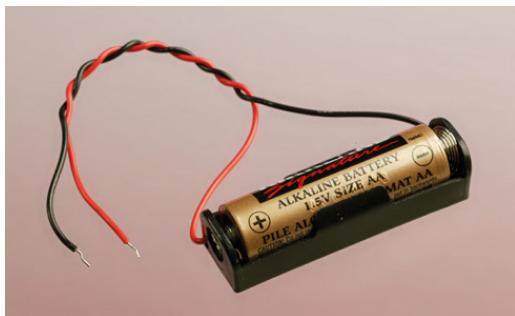
Do przeprowadzenia eksperymentu numer 2 będziesz potrzebował pary ogniw AA o napięciu 1,5 V. Muszą być to ogniwka alkaliczne. Pod żadnym

pozorem nie przeprowadzaj tego eksperymentu, korzystając z akumulatorów.

W celu podłączenia baterii do obwodu będziesz potrzebował złącza baterii 9 V (patrz rysunek 1.8), a także koszyka na jedno ognisko AA (patrz rysunek 1.9). Do pracy nad eksperymentami wystarczy jeden koszyk, ale radzę Ci, abyś z myślą o kolejnych eksperymentach kupił trzy złącza baterii 9 V.



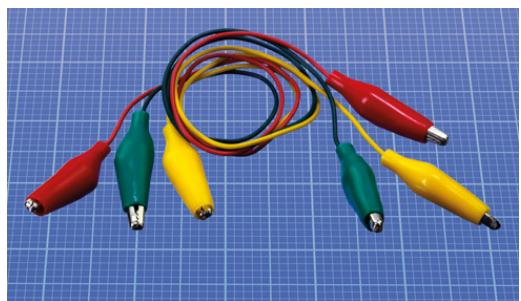
Rysunek 1.8. Złącze pozwalające na podłączenie baterii 9 V do obwodu



Rysunek 1.9. Potrzebujesz koszyka na jedno ognisko AA, nie kupuj koszyków na dwa, trzy lub cztery ogniska

## Przewody probiercze

W kilku pierwszych eksperymentach będziesz łączyć komponenty za pomocą przewodów probierczych. Potrzebujesz przewodów zakończonych z obu stron zaciskiem typu **krokodyl** (patrz rysunek 1.10). W celu wykonania pewnego połączenia wystarczy założyć ten zacisk na przewodnik, co zwalnia Cię z obowiązku przytrzymywania łączonych komponentów.



Rysunek 1.10. Przewody probiercze obustronne zakończone zaciskami typu krokodyl

Nie kupuj przewodów połączeniowych obustronnie zakończonych wtykiem. Przewody tego typu określa się mianem **przewodów połączeniowych**.

W tej książce przewody zaliczane są do sprzętu. Więcej informacji na ich temat znajdziesz w rozdziale 6., w sekcji „Kupowanie narzędzi i wyposażenia”.

## Potencjometry

Potencjometry pełniły funkcje regulatorów głośności w starym sprzęcie audio. Egzemplarze pokazane na rysunku 1.11 są obecnie uważane za duże, ale takich właśnie potencjometrów potrzebujesz, ponieważ będziesz je podłączać do zacisków typu krokodyl. Najlepiej, gdybyś kupił potencjometr o średnicy 2,5 cm. Kup egzemplarz o znamionowej rezystancji 1 k $\Omega$ . Więcej informacji związanych z zakupem potencjometru znajdziesz w rozdziale 6., w sekcji „Pozostałe komponenty”.



Rysunek 1.11. Potencjometry ogólnego stosowania niezbędne do wykonania pierwszych eksperymentów

## Bezpieczniki

Bezpiecznik przerywa obwód, gdy płynie przez niego zbyt duży prąd. Najlepiej byłoby, gdybyś kupił bezpiecznik samochodowy 3 A przedstawiony na rysunku 1.12 — łatwo go złapać za pomocą zacisków przewodów probierczych, a dodatkowo jego wnętrze jest wyraźnie widoczne. Bezpieczniki samochodowe charakteryzują się różnymi rozmiarami, ale rozmiar nie ma dla nas znaczenia. Wystarczy, że kupisz bezpiecznik charakteryzujący się znamionowym prądem 3 A. Kup trzy takie same bezpieczniki na wypadek ich celowego lub przypadkowego uszkodzenia. Jeżeli nie chcesz korzystać z bezpieczników samochodowych, to możesz kupić szklany bezpiecznik 3 A o rozmiarze 2AG (patrz rysunek 1.13). Znajdziesz go w każdym sklepie z częściami RTV, ale trudniej gołączyć w obwód.



Rysunek 1.12. Bezpiecznik samochodowy jest łatwiejszy dołączenia w obwód niż standardowy bezpiecznik stosowany w sprzęcie elektronicznym



Rysunek 1.13. Możesz również korzystać ze standardowych bezpieczników, ale pamiętaj o tym, że trudniej jest je złapać za pomocą zacisków typu krokodyl

## Diody elektroluminescencyjne (LED)

Diody elektroluminescencyjne (**LED**) mają różne kształty i rozmiary. Będziemy korzystać z tzw. **wskażników diodowych**, które w katalogach często są określane mianem **standardowych diod LED przeznaczonych do montażu przeplatanego**. Na rysunku 1.14 przedstawiono przykładową diodę LED o średnicy 5 mm, ale czasami, gdy brakuje miejsca, łatwiej jest podłączyć do obwodu diodę LED o średnicy 3 mm.



Rysunek 1.14. Dioda elektroluminescencyjna (LED) o średnicy około 5 mm

W tej książce terminem **standardowe diody LED** będę określał najtańsze diody nieemitujące światła o wysokiej intensywności (występują one często w wersjach emitujących światło czerwone, żółte i zielone). Są one często sprzedawane w opakowaniach zbiorczych. A ponieważ są często stosowane, powinieneś kupić sobie kilka zestawów diod tego typu o różnych kolorach.

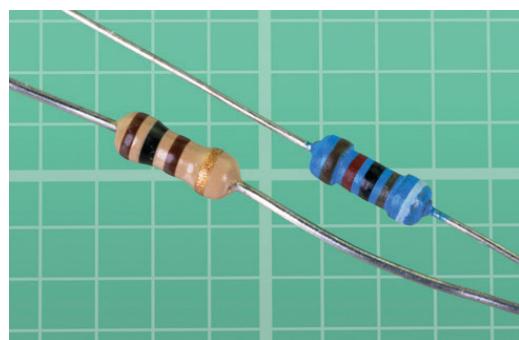
Niektóre diody są zamknięte w przezroczystych obudowach, ale emittują światło o określonym zabarwieniu. Inne diody są zamknięte w obudowach o takim samym kolorze jak światło, które emitują. Oba rodzaje diod nadają się do zastosowania w projektach opisanych w tej książce.

W kilku eksperymentach polecam zastosowanie **niskoprądowych diod LED**. Są one nieco droższe, ale do świecenia wystarcza im prąd o małym natężeniu. Przydadzą się one np. w eksperymencie numer 5, w którym będziesz generował prąd za pomocą samodzielnie skonstruowanej baterii. Jeżeli

nie korzystasz z zestawu komponentów, to więcej wskazówek na temat zakupu diod LED znajdziesz w rozdziale 6., w sekcji „Pozostałe komponenty”.

## Rezystory

Rezystory przydadzą Ci się w celu zmniejszenia napięcia i natężenia prądu w różnych częściach obwodu. Kup komponenty wyglądające tak jak te, które przedstawiono na rysunku 1.15. Kolor korpusu rezystora nie ma dla nas znaczenia. Później dowiesz się, jak odczytuje się kod paskowy rezistorów.



Rysunek 1.15. Dwa przykładowe rezystory o mocy 0,25 W (potrzebujesz rezistorów tego typu)

Rezystory są tak małe i tanie, że głupotą byłoby kupować tylko te, które wymieniono na listach komponentów niezbędnych do wykonania projektów. Kup większy zestaw rezistorów za pośrednictwem serwisu Allegro. Jest to bardziej opłacalne rozwiązanie. Więcej informacji na temat rezistorów stosowanych w projektach opisanych w tej książce znajdziesz w rozdziale 6., w sekcji „Komponenty”.

Do wykonania pierwszych pięciu eksperymentów nie będziesz potrzebował żadnych innych komponentów, a więc przystąpmy do pracy!

## Eksperyment 1: Posmakuj mocy!

Czy można posmakować prądu? Może nie, chociaż uczucie jest podobne.

### Potrzebne będą:

- bateria 9 V,
- miernik uniwersalny.

To wszystko!

### UWAGA: Nie więcej niż 9 V

Bateria o napięciu 9 V nie zrobi Ci krzywdy. *Nie* wykonuj jednak tego eksperymentu z baterią o większym napięciu lub baterią, która jest w stanie dostarczyć prądu o większym natężeniu. Jeżeli nosisz na zębach metalowy aparat korekcyjny, uważaj, aby nie dotknąć nim baterii. Nigdy nie przykładaj żadnych baterii do ran!

### Procedura

Zwilż język i dotknij jego czubkiem do zacisków baterii 9 V (patrz rysunek 1.16). Twój język nie musi być tak duży, jak język osoby przedstawionej na tym rysunku (mój język jest o wiele mniejszy). Eksperyment można wykonać językiem dowolnej wielkości.



Rysunek 1.16. Dzielny konstruktor sprawdza działanie baterii alkalicznej

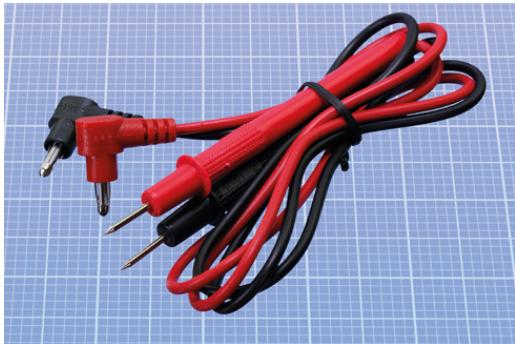
Poczułeś to uklucie? Odlóż baterię. Wystaw język i osusz jego czubek za pomocą chusteczki. Ponownie dotknij baterią do czubka języka. Powinieneś poczuć słabsze uklucie.

Co się dzieje? Zaraz to wyjaśnimy za pomocą miernika.

## Przygotowanie miernika do pracy

Czy w Twoim mierniku zainstalowano już baterię? Wybierz dowolny tryb pomiarowy za pomocą pokrętła i zobacz, czy na wyświetlaczu pojawiają się cyfry. Jeżeli na ekranie nie pojawiają się cyfry, to przed przystąpieniem do pracy otwórz obudowę miernika i włóż do niego baterię. Wskazówki dotyczące montażu baterii znajdziesz w instrukcji swojego miernika.

Do miernika dołączone są dwa przewody: czarny i czerwony. Każdy z nich zakończony jest z jednej strony wtykiem, a z drugiej stalowym próbniakiem. Wtyki należy podłączyć do miernika, a próbniki służą do stykania się z miejscami obwodu, w których chcesz przeprowadzać pomiary (patrz rysunek 1.17). Próbniaki wykrywają elektryczność. Próbniaki nie emitują prądu o znacznym natężeniu. W eksperymentach opisanych w tej książce będziesz miał do czynienia z małymi napięciami i natężeniami, a więc próbniaki nie mogą Cię zranić (chyba że uklujesz się ich ostrymi końcówkami).



Rysunek 1.17. Przewody probiercze zakończone metalowymi próbniakami

Większość mierników jest wyposażona w trzy złącza, ale niektóre z nich są wyposażone w cztery złącza (patrz rysunki 1.18, 1.19 i 1.20). Oto ogólne zasady korzystania z nich:

- Jedno ze złączy powinno być oznaczone etykietą COM. Jest to złącze **współne** dla wszystkich pomiarów. Podłącz do niego czarny przewód i nie przełączaj go nigdzie indziej.
- Inne złącze powinno być oznaczone symbolem omega ( $\Omega$  — om) i literą V (wolty). Ze złącza tego można korzystać podczas pomiarów napięcia i rezystancji. Podłącz do niego czerwony przewód.
- Złącze V/ $\Omega$  może być również stosowane do pomiaru małych natężeń prądu wyrażonych w miliamperach (mA), ale Twój miernik może być również wyposażony w specjalnie do tego przeznaczone złącze — w takim przypadku będziesz musiał czasami przełączyć do niego kabel. Wróćmy do tego tematu później.
- Twój miernik może być wyposażony w złącza oznaczone etykietą 2A, 5A, 10A, 20A lub podobną wskazującą maksymalne natężenie prądu wyrażone w amperach. Złącze to jest przeznaczone do pomiaru dużych natężeń prądu. Nie będziemy z niego korzystać podczas wykonywania projektów opisanych w tej książce.



Rysunek 1.18. Zwrót uwagi na etykiety gniazd tego miernika



Rysunek 1.19. Ten miernik charakteryzuje się inną konfiguracją złączy



Rysunek 1.20. Gniazda innego miernika

## PODSTAWY: Omły

Będziemy określać rezystancję Twojego języka wyrażoną w omach. Czym jest om?

Odległość mierzmy w kilometrach lub milach, ciężar w kilogramach lub funtach, temperaturę w stopniach Celsjusza lub kelwinach, natomiast rezystancję elektryczną w omach. Om jest jednostką międzynarodową. Jej nazwa pochodzi od nazwiska jednego z pionierów elektryczności — Georga Simona Ohma.

Do wyrażenia omów używana jest grecka litera omega ( $\Omega$ ). Zapis  $k\Omega$  (alternatywnie litera k lub K) oznacza **kiloom**, czyli 1000 omów, czyli  $1,5 k\Omega$  to 1500 omów. Zapis  $M\Omega$  (ewentualnie litera m) oznacza **megaom**, czyli 1 000 000 omów. W mowie potocznej rezistor 2,2  $M\Omega$  określa się mianem rezystora „dwa przecinek dwa mega”.

W tabeli 1.1 przedstawiono sposób konwersji wartości pomiędzy omami, kiloomami i megaomami.

Tabela 1.1. Konwersja pomiędzy najczęściej spotykanymi mnożnikami liczby omów

Liczba omów	Liczba kiloomów	Liczba megaomów
<b>1 Ω</b>	0,001 kΩ	0,000001 MΩ
10 Ω	0,01 kΩ	0,00001 MΩ
100 Ω	0,1 kΩ	0,0001 MΩ
<b>1000 Ω</b>	<b>1 kΩ</b>	0,001 MΩ
10 000 Ω	10 kΩ	0,01 MΩ
100 000 Ω	100 kΩ	0,1 MΩ
1 000 000 Ω	1000 kΩ	<b>1 MΩ</b>

- Na europejskich schematach bardzo często w roli separatora dziesiętnego stosuje się litery R, K i M. Ma to na celu zmniejszenie prawdopodobieństwa pomyłki. Na takim schemacie można np. spotkać zapis 5K6, który odwołuje się do rezystancji  $5,6 k\Omega$ , lub zapis 6M8, który odwołuje się do rezystancji  $6,8 M\Omega$ , lub zapis 6R8, który odwołuje się do rezystancji  $6,8 \Omega$ . Nie posługuję się tą konwencją, ale możesz ją spotkać na niektórych schematach.

Materiał posiadający bardzo dużą rezystancję nazywany jest **izolatorem**. Większość plastików, włączając w to kolorowe osłony przewodów, jest izolatorami.

Materiały o bardzo małej rezystancji nazywane są **przewodnikami**. Metale takie jak miedź, aluminium, srebro i złoto są doskonałymi przewodnikami.

## Pomiar rezystancji języka

Spójrz na pokrętło swojego multimetru. Zobaczysz, że jedna z pozycji jest oznaczona symbolem  $\Omega$ . Jeżeli Twój miernik posiada automatyczny dobór zakresu, to ustawi pokrętło miernika na pozycję oznaczoną symbolem  $\Omega$  (patrz rysunek 1.21). Dotknij delikatnie języka próbownikami i poczekaj, aż miernik dobierze właściwy zakres pomiarowy. Przyjrzyj się



Rysunek 1.21. Jeżeli posiadasz miernik automatyczny doborający zakres pomiarowy, to wystarczy, że ustawisz pokrętło miernika na symbolu  $\Omega$

literze K wyświetlonej na ekranie urządzenia. Pod żadnym pozorem nie wbijaj próbników w język!

Jeżeli posiadasz miernik o ręcznym doborze zakresów, zacznij od wartości nie mniejszej niż 200 000 omów (200 K). Pamiętaj o tym, że podane wartości są wartościami maksymalnymi, czyli wybrany przez nas zakres jest przeznaczony do pomiaru rezystancji 200 k $\Omega$  lub mniejszej. Na rysunkach 1.22 i 1.23 przedstawiono zbliżenia pokrętła mierników ustawionych na wspomniany zakres pomiarowy.



Rysunek 1.22. Miernik wymagający ręcznego wybrania zakresu pomiarowego

Dotknij języka końcówkami pomiarowymi, w odległości około 2,5 cm. Zanotuj odczytaną wartość, która powinna wynosić około 50 k $\Omega$ . Odlóż końcówki, weź chusteczkę i dokładnie osuszą język. Nie dopuszczając do ponownego zawilgocenia języka,



Rysunek 1.23. Pokrętło innego miernika wymagającego ręcznego określenia zakresu pomiarowego

powtórz test — odczytana wartość powinna być wyższa. Jeżeli korzystasz z miernika wymagającego ręcznego określenia zakresu pomiarowego, to w celu zmierzenia drugiej rezystancji może zastąpić konieczność wybrania większego zakresu pomiarowego.

- Kiedy Twoja skóra jest wilgotna (na przykład pod wpływem pocenia), jej rezystancja maleje. Ta zasada jest wykorzystywana w wariografach (zwanych potocznie wykrywaczami kłamstw), ponieważ osoba podejrzewana o wypowiadanie kłamstwa ma tendencję do pocenia się pod wpływem stresu.

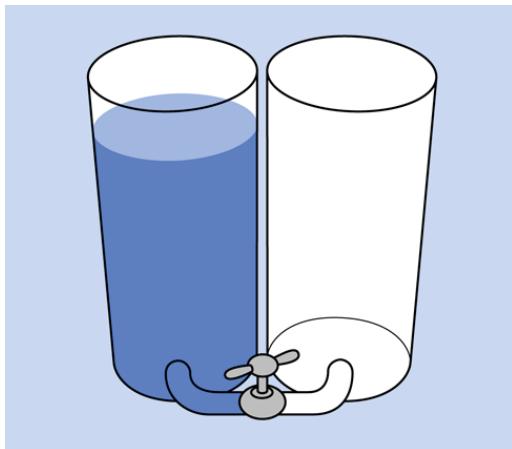
Oto wniosek wynikający z tego eksperymentu. Niższa rezystancja pozwala na przepływ prądu o wyższym natężeniu, a jak wiesz z pierwszego doświadczenia, większe natężenie prądu wywołuje mocniejsze uszczypnięcie.

## PODSTAWY: Wewnętrz baterii

Nie opisałem Ci zasady działania baterii przed wykonaniem pierwszego eksperymentu. Czas nadrobić te zaległości.

9-woltowa bateria zawiera związki chemiczne powodujące uwalnianie **elektronów** (częstek elektrycznych), które w wyniku zachodzących reakcji chemicznych chcą pływać z jednej końcówki do drugiej.

Dwa ogniwa wewnętrz baterii możesz traktować jak dwa zbiorniki wodne — jeden pełny, drugi pusty. Jeżeli oba zostaną połączone rurą, woda będzie przepływać między nimi aż do uzyskania równych poziomów. Rysunek 1.24 powinien pomóc Ci wyobrazić sobie ten przypadek. Podobnie, kiedy utworzysz elektryczne połączenie między dwiema końcówkami baterii, elektrony będą przepływać z jednej do drugiej, nawet jeśli ścieżka ta zbudowana jest z wilgocią na Twoim języku.



Rysunek 1.24. Wyobraź sobie, że bateria przypomina dwa połączone ze sobą zbiorniki

Elektrony przepływają łatwiej przez pewne substancje (takie jak wilgość na Twoim języku) niż przez inne (takie jak suchy język).

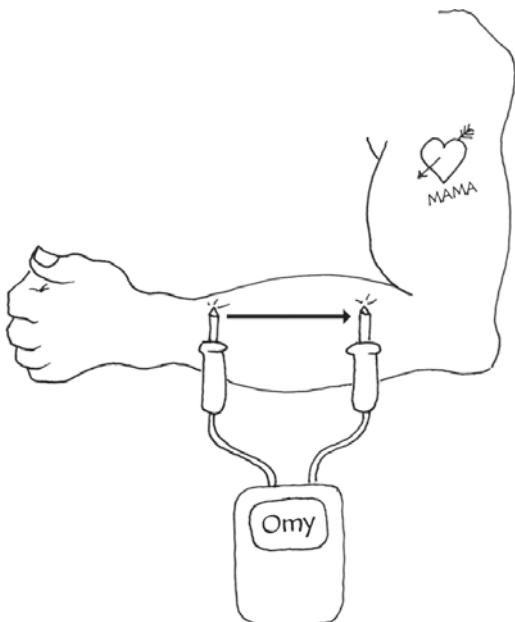
## Dalsze badania

Eksperyment z miernikiem rezystancji języka nie charakteryzował się wysoką powtarzalnością. Odległość pomiędzy próbnikami mogła zmieniać się podczas wykonywania kolejnych pomiarów. Czy odległość ta ma wpływ na mierzoną rezystancję?

Użyj miernika, aby zmierzyć rezystancję swojego języka, zmieniając tym razem odległość pomiędzy końcówkami pomiarowymi tak, aby wynosiła ona około 0,5 cm (język powinien być mokry). Teraz powtórz eksperyment, oddalając wskazówki na około 2,5 cm. Jakie wartości wskazał Twój multimeter?

Kiedy prąd podróży przez krótszy dystans, napotyka mniejszą rezystancję całkowitą. W wyniku prąd (przepływ elektronów na sekundę) zwiększa się.

Möesz spróbować wykonać podobny eksperyment na swoim ramieniu, tak jak pokazuje to rysunek 1.25. Möesz wykonać kilka pomiarów, za każdy razem zwiększając odległość o 0,5 cm. Zapisz wyniki kolejnych pomiarów. Czy dwukrotne zwiększenie odległości spowoduje dwukrotny wzrost rezystancji? Jak möesz uzasadnić swoją odpowiedź?



Rysunek 1.25. Zwiększ odległość pomiędzy próbnikami i zapisuj wyniki kolejnych pomiarów

Jeżeli rezystancja będzie na tyle wysoka, że Twój miernik nie będzie w stanie jej zmierzyć, to na jego ekranie wyświetlony zostanie komunikat błędu. Może on mieć np. postać litery L i ciągu cyfr. Spróbuj zwilżyć skórę, a następnie powtórzyć pomiar. Jedynym problemem jest to, że wilgość paruje ze skórą, co powoduje zmianę rezystancji. Już widzisz, że trudno jest kontrolować wszystkie uwarunkowania wpływające na wynik pomiaru. Czynniki losowe określa się mianem **niekontrolowanych zmiennych**.

Istnieje jeszcze jedna zmienna wpływająca na wynik pomiaru. Jest to wpływ siły nacisku próbników

na skórę. Gdy przyciśniesz je do skóry mocniej, to rezystancja będzie mniejsza. Czy można wyeliminować tę zmienną? Czy potrafisz zaprojektować eksperyment tak, aby zmienna ta nie wpływała na wynik prowadzonych pomiarów?

Jeżeli masz już dość mierzenia rezystancji skóry, to spróbuj zanurzyć próbki w szklance wody. Powtórz ten eksperyment po rozpuszczeniu w wodzie szczypty soli. Zapewne słyszałeś, że woda przewodzi prąd, ale nie jest to do końca prawda. W przewodzeniu prądu przez wodę dużą rolę odgrywają znajdujące się w niej zanieczyszczenia.

Jak myślisz, jaka jest rezystancja idealnie czystej wody? W celu sprawdzenia tego musisz uzyskać dostęp do idealnie czystej wody. Woda **źródlana** czy **mineralna** nie nadaje się do tego celu, ponieważ zawiera dodatek mineralów. Potrzebujesz **wody destylowanej**, zwanej również **wodą deionizowaną**. Jest ona dostępna w większości supermarketów. Rezystancja próbników zanurzonych w tej wodzie i znajdujących się w odległości 2,5 cm od siebie będzie wyższa od rezystancji Twojego języka. Sprawdź to.

To wszystkie eksperymenty związane z rezystancją, które przyszły mi do głowy. Teraz chciałbym, żebyś zdobył wiedzę teoretyczną związaną z zaobserwowanymi zjawiskami.

## TEORIA: Człowiek, który odkrył rezystancję

Georg Simon Ohm, przedstawiony na rysunku 1.26, urodził się w Bawarii w 1787 roku i pracował w zapomnieniu przez większość swojego życia, studując naturę prądu przy użyciu skonstruowanego samodzielnie przewodu metalowego (we wczesnych latach XIX w. nie istniały jeszcze supermarkety budowlane, do których można byłoby podjechać po szpule przewodu elektrycznego).

Pomimo ograniczonych możliwości i nieodpowiedniego przygotowania matematycznego Ohm był



Rysunek 1.26. Georg Simon Ohm, po uhonorowaniu za swoją pionierską pracę, której większą część wykonał bez żadnego rozmów.

w stanie zademonstrować w roku 1827, że rezystancja przewodnika, takiego jak miedź, jest odwrotnie proporcjonalna do jego powierzchni w przekroju, a płynący przez niego prąd jest proporcjonalny do przyłożonego napięcia, pod warunkiem zachowania stałej temperatury. Czternaście lat później Towarzystwo Królewskie w Londynie w końcu uznalo wagę jego prac naukowych i odznaczyło go Medalem Copleya. W naszych czasach jego odkrycie znane jest pod pojęciem prawa Ohma. Wyjaśnię je w eksperymencie numer 4.

## Sprzątanie i recyklikacja

W wyniku przeprowadzonych eksperymentów Twoja bateria nie powinna ulec uszkodzeniu lub znaczącemu rozładowaniu. Będziesz mógł użyć jej ponownie.

Nie zapomnij wyłączyć swój miernik przed odłożeniem go na półkę. Niektóre mierniki są wyposażone w funkcję dźwiękowego powiadamiania użytkownika o konieczności ich wyłączenia, gdy są dłużej

nieużywane, ale nie jest to standardowa funkcja implementowana we wszystkich multimetrach. Włączony miernik pobiera mały prąd nawet wtedy, gdy nie wykonujesz żadnych pomiarów.

## Eksperyment 2: Jak nie należy używać baterii

Aby lepiej doświadczyć elektryczności, zrobisz coś, co większość książek odradza. Dokonasz zwarcia baterii. **Zwarcie** to bezpośrednie połączenie obu biegunów źródła zasilania.

### UWAGA: Korzystaj z małej baterii

Opisany przeze mnie eksperyment jest bezpieczny, czego nie można powiedzieć o wszystkich zwarcach. Nie próbuj testować zwarcia w gniazdku elektrycznym: usłyszysz jedynie głośny trzask, zobaczyš jasny rozbłysk, a przewód lub narzędzie, którego użyłeś, ulegnie częściowemu stopieniu. Dodatkowo rozrzucone kawałki rozgrzanego metalu mogą Cię poparzyć lub oślepić.

Jeżeli zewrzesz akumulator samochodowy, doprowadzi to do tak dużego przepływu prądu, że sam akumulator będzie mógł eksplodować, oblewając Cię żrącym kwasem. Może potwierdzić to (o ile będzie w stanie mówić) ofiara zwarcia przedstawiona na rysunku 1.27.

Również baterie litowe są niebezpieczne. Baterie takie są używane do zasilania elektronarzędzi, laptopów i innych urządzeń przenośnych. Nigdy nie próbuj ich zwierać. Mogą ulec zapaleniu, prowadząc do poparzenia (patrz rysunek 1.28). Litowe baterie pierwszych laptopów mogły ulec samoczynnej eksplozji. W związku z tym późniejsze baterie składające się z ogniw litowych zostały zmodyfikowane, aby zapobiec takim problemom, ale zwieranie nawet współczesnych baterii litowych jest bardzo złym pomysłem.



**Rysunek 1.27.** Każdy, kto przez przypadek upuścił metalowy klucz na niezabezpieczone końcówki akumulatora samochodowego, powie Ci, że zwarcia mogą być niebezpieczne już przy „zaledwie” 12 voltach, jeśli tylko bateria jest dostatecznie duża



**Rysunek 1.28.** Nigdy nie wyglupiaj się, pracując z bateriami litowymi

W tym eksperymencie używaj wyłącznie baterii alkalicznej i tylko jednego ogniska AA. Powinieneś również założyć okulary ochronne, na wypadek gdyby Twoja bateria była uszkodzona.

## Potrzebne będą:

- 1,5-woltowa bateria typu AA, liczba: 2,
- koszyk na pojedynczą baterię, liczba: 1,
- 3-amperowy bezpiecznik, liczba: 3,
- okulary ochronne (wystarczą zwykłe okulary lub okulary przeciwstłoneczne),
- przewód obustronnie zakończony zaciskiem typu krokodyl, liczba: 2.

## Ciepło powstające w wyniku przepływu prądu

Użyj baterii alkalicznej. Nie używaj żadnej baterii wielokrotnego ładowania.

Umieśc baterię w koszyku zaprojektowanym do przechowywania pojedynczego ogniska z dwoma wyprowadzonymi przewodami (patrz rysunek 1.9). Końcówki przewodów pozbawione izolacji spleć ze sobą tak, jak pokazano na rysunku 1.29. Na początku możesz odnieść wrażenie, że nic się nie dzieje, ale po chwili odczujesz ciepło promieniujące z przewodów. Oczekaj kolejną minutę, a zobacysz, że bateria jest również rozgrzana.



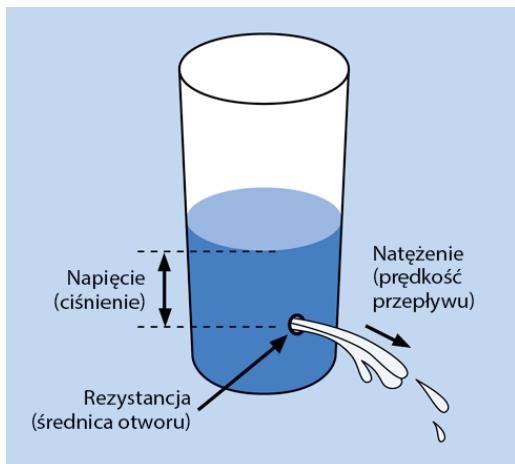
Rysunek 1.29. Jeżeli zachowasz odpowiednie środki ostrożności, to możesz doprowadzić do zwarcia baterii alkalicznej

Ciepło jest wynikiem przepływu prądu przez przewody i sam **elektrolit** ( płyn przewodzący) wewnętrz baterii. Jeżeli kiedykolwiek używasz pompki do napompowania dętki rowerowej, wiesz, że pompa nagrzewa się. Podobne zachowanie wykazuje

przepływający prąd. Możesz sobie go wyobrazić jako zbiór cząstek (elektronów), które nagrzewają przewód, próbując się przez niego przecisnąć. To porównanie nie jest doskonale, ale w zupełności wystarczające do naszych potrzeb.

Skąd biorą się elektryny? Są one uwalniane w wyniku reakcji chemicznych zachodzących wewnątrz baterii. Reakcje te powodują powstanie ciśnienia elektrycznego. Właściwą nazwą dla tego ciśnienia jest **napięcie**, mierzone w voltach — nazwa tej jednostki pochodzi od nazwiska Alessandra Volty, pioniera w dziedzinie elektryczności.

Wracając do analogii z pojemnikami wody: wysokość stupa wody w pojemniku jest proporcjonalna do ciśnienia tej wody i porównywalna z napięciem. Rysunek 1.30 powinien pomóc Ci wyobrazić sobie tę sytuację.



Rysunek 1.30. Napięcie źródła prądu można porównać do ciśnienia źródła wody

Ale wolty to dopiero połowa historii. Kiedy elektryny przepływają przez przewód, sam przepływ określany jest mianem **natężenia** albo, potocznie, prądu. To właśnie prąd — natężenie — generuje ciepło.

- Traktuj napięcie jak ciśnienie.
- Natężenie prądu traktuj jak prędkość przepływu.

## TEORIA: Dlaczego Twój język się nie nagrzał?

Kiedy dotknąłeś 9-woltową baterią swojego języka, poczułeś mrowienie, ale nie uczucie ciepła. Kiedy zwarłeś baterię, wygenerowałas zauważalną ilość ciepła, mimo że napięcie było znacznie mniejsze. Jak możemy to解释aczyć?

Po przeprowadzeniu pomiarów wiesz, że rezystancja Twojego języka jest bardzo duża, co znacznie redukuje przepływ elektronów.

Rezystancja przewodu elektrycznego jest wielokrotnie mniejsza, zatem jeśli jedynie drut łączy dwa wyprowadzenia baterii, będzie przez niego płynąć znacznie większy prąd niż przez Twój język, generując przy tym więcej ciepła. Jeżeli wszystkie inne czynniki pozostają niezmienne:

- Mniejsza rezystancja pozwala na przepływ większego prądu.
- Ciepło generowane przez prąd jest proporcjonalne do jego natężenia (ilości prądu przepływającego przez przewodnik w jednostce czasu). Zależność ta nie jest dokładnie spełniona, gdy rezystancja przewodu zmienia się wraz z jego nagrzewaniem się. W takim przypadku jest ona spełniona jedynie w przybliżeniu.

Oto kilka innych podstawowych praw:

- Przepływ prądu w jednostce czasu (sekundzie) jest wyrażany w **amperach** (symbolem tej jednostki jest wielka litera A).
- Ciśnienie elektryczne, mierzone w **woltach**, wywołuje przepływ prądu (symbolem tej jednostki jest wielka litera V).
- Rezystancja (opór) przepływu jest mierzona w **omach**.
- Wyższa rezystancja ogranicza przepływ prądu.
- Wyższe napięcie przeciwiała rezystancji i zwiększa prąd.

Na rysunku 1.31 przedstawiono zależność pomiędzy napięciem (ciśnieniem), rezystancją (oporem napotykającym przez wodę) i natężeniem (przepływem).



Rysunek 1.31. Wzrost rezystancji powoduje spadek ciśnienia i ograniczenie przepływu

## PODSTAWY: Wolty

Wolt jest jednostką układu SI oznaczaną wielką literą V. W Polsce oraz w wielu krajach europejskich w domowych instalacjach elektrycznych płynie prąd przemienny o napięciu 230 V. Instalacje elektryczne wyposażone są w specjalne obwody siłowe mogące dostarczyć prąd o napięciu 400 V. Komponenty półprzewodnikowe standardowo wymagają zasilania prądem stałym o napięciu od 5 V do 20 V, a nowoczesne komponenty przeznaczone do montażu powierzchniowego mogą pracować nawet pod napięciem niższym od 2 V. Niektóre komponenty, takie jak np. mikrofony, generują prąd o napięciu wyrażanym w miliwoltach (mV). Miliwolt jest jedną tysięczną wolta. Prąd przesyłany na duże odległości charakteryzuje się napięciem wyrażanym w kilowoltach (kV). Niektóre linie przesyłowe pracują pod napięciem wyrażanym w megawoltach. W tabeli 1.2 przedstawiono sposób przeliczania napięcia pomiędzy miliwoltami, woltami i kilowoltami.

**Tabela 1.2.** Konwersja pomiędzy najczęściej spotykanyimi mnożnikami liczby woltów

Liczba miliwoltów	Liczba woltów	Liczba kilowoltów
<b>1 mV</b>	0,001 V	0,000001 kV
10 mV	0,01 V	0,00001 kV
100 mV	0,1 V	0,0001 kV
1000 mV	<b>1 V</b>	0,001 kV
10 000 mV	10 V	0,01 kV
100 000 mV	100 V	0,1 kV
1 000 000 mV	1 000 V	<b>1 kV</b>

**Tabela 1.3.** Konwersja pomiędzy najczęściej spotykanyimi mnożnikami liczby amperów

Liczba mikroamperów	Liczba miliamperów	Liczba amperów
<b>1 µA</b>	0,001 mA	0,000001 A
10 µA	0,01 mA	0,00001 A
100 µA	0,1 mA	0,0001 A
1000 µA	<b>1 mA</b>	0,001 A
10 000 µA	10 mA	0,01 A
100 000 µA	100 mA	0,1 A
1 000 000 µA	1 000 mA	<b>1 A</b>

## PODSTAWY: Ampery

Prąd elektryczny mierzymy i wyrażamy w amperach (A). Amper jest jednostką międzynarodową. Urządzenia stosowane w gospodarstwach domowych mogą pobierać prąd o natężeniu kilku amperów. Bezpieczniki stosowane w domowych instalacjach elektrycznych dopuszczają maksymalny prąd 16 A. Komponenty elektroniczne pobierają prąd wyrażony w miliamperach (skrót mA). Miliamper jest jedną tysięczną częścią ampera. Urządzenia takie jak wyświetlacze ciekłokrystaliczne mogą pobierać prąd wyrażany w mikroamperach ( $\mu$ A). Mikroamper jest jedną tysięczną miliampera. W tabeli 1.3 przedstawiono sposób przeliczania natężenia prądu wyrażonego w amperach, miliamperach i mikroamperach.

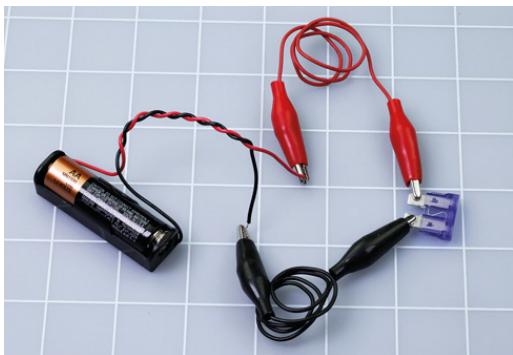
## Jak przepalić bezpiecznik?

Jeśli zastanawiasz się nad tym, ile dokładnie prądu przepływa między stykami baterii po jej zwarcu? Czy można go zmierzyć?

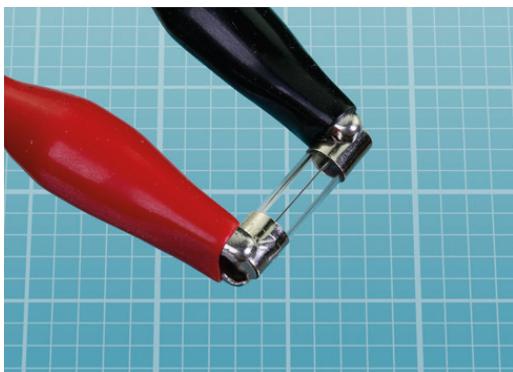
Odpowiedź na to pytanie nie jest łatwa. Jeżeli spróbujesz do takiego pomiaru użyć miernika, naprawdopodobniej doprowadzisz do przepalenia bezpiecznika wewnętrzniego. Odlóż miernik i skorzystaj z 3-amperowego bezpiecznika, którego strata, ze względu na niską cenę, nie będzie zbyt odczuwalna.

Zacznij od dokładnego przyjrzenia się bezpiecznikowi; możesz użyć do tego celu szkła powiększającego, jeśli takowe posiadasz. W umieszczonej pośrodku przezroczystym okienku bezpiecznika powinieneś zobaczyć kształt przypominający literkę „S”. Ta literka „S” to kawałek metalu, który ulega łatwemu stopieniu. Widziałeś już to na rysunku 1.12. Wewnątrz szklanego bezpiecznika znajduje się drut, który pełni tę samą funkcję.

Usuń baterię, którą zwarłeś. W tej chwili jest ona już bezużyteczna, pozbądź się jej z zachowaniem zasad recyklingu. Rozłącz dwa połączone wcześniej przewody. Podłącz bezpiecznik za pomocą dwóch przewodów probierczych, tak jak pokazano na rysunkach 1.32 i 1.33. Wkładając baterię do koszyka,



Rysunek 1.32. Zwieranie bezpiecznika samochodowego



Rysunek 1.33. Podłączanie przewodów probierczych do małego bezpiecznika

przeglądaj się bezpiecznikowi. W środku kształtu S powinieneś zobaczyć przerwę, spowodowaną nienaturalnym natychmiastowym stopieniem metalu. Pokazano to na rysunkach 1.34 i 1.35.



Rysunek 1.34. Zauważ przerwę w bezpieczniku



Rysunek 1.35. Podobna przerwa pojawi się również w szklanym bezpieczniku

Niektóre 3-amperowe bezpieczniki przepalają się łatwiej od innych charakteryzujących się tą samą wartością znamionową. Jeżeli Twój bezpiecznik nie uległ przepaleniu, podłącz go bezpośrednio do przewodów baterii (pomiń przewody probiercze). Jeżeli używane przez Ciebie ogniwko nie jest nowe, to przepalenie bezpiecznika może zajść kilka sekund. Jeżeli mimo to bezpiecznik nie zostanie przepalony, to podłącz go do ogniw typu C lub D. Ogniwka te mogą dostarczyć większy prąd niż ogniwko AA, ale najprawdopodobniej nie będzie to konieczne.

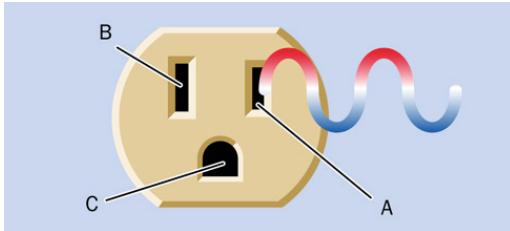
Tak właśnie działa bezpiecznik — topi się, chroniąc pozostałe komponenty obwodu. Przerwa w bezpieczniku zapobiega dalszemu przepływowi prądu.

## PODSTAWY: Prąd stały i zmienny

Prąd uzyskiwany z baterii jest znany jako **prąd stały** (DC, od ang. *direct current*). Tak jak w przypadku wody płynącej z kranu, strumień jest stabilny i ma jeden kierunek.

Przepływ prądu z „gorącego” przewodu w Twoim gniazdku jest zupełnie inny. Ulega zmianie z wartością dodatnią na ujemną 50 razy na sekundę (w Stanach Zjednoczonych 60 razy na sekundę). Jest to tzw. **prąd zmienny** (AC, od ang. *alternating current*), przypominający trochę pulsujący przepływ wody z myjki ciśnieniowej.

Prąd zmienny ma kluczowe znaczenie dla niektórych celów, takich jak podnoszenie napięcia w celu przesłania energii na dużą odległość. Jest on również przydatny we wszelkiego rodzaju silnikach i domowych urządzeniach AGD. Na rysunku 1.36 pokazane



Rysunek 1.36. Styki gniazdka elektrycznego

zostały elementy gniazdka elektrycznego używanego na terenie Stanów Zjednoczonych. Gniazdka w podobnym stylu używane są również w innych krajach, między innymi w Japonii. Europejskie gniazdka są inne, ale działają na takiej samej zasadzie.

Styk A stanowi „ żywą” część gniazdka, dostarczającą napięcie zmieniające się pomiędzy wartością dodatnią i ujemną, względem styku B, który nazywany jest stroną „neutralną” gniazdka. Jeżeli urządzenie jest podatne na uszkodzenia, na przykład przez obluzowanie przewodów wewnętrznych, powinno chronić Cię poprzez zwarcie napięcia do styku C — uziemienia.

W USA przez tego typu gniazdko dostarczany jest prąd o napięciu 110 – 120 V. W innych gniazdках płynie prąd o innym napięciu, ale są one nadal wyposażone w trzy wymienione wcześniej styki. Wyjątek stanowią gniazdka trójfazowe, ale są one spotykane głównie w instalacjach przemysłowych.

W przeważającej części tej książki będę mówić o prądzie stałym. Są ku temu dwa powody: po pierwsze, większość prostych układów elektronicznych jest zasilana przez prąd stały, po drugie, zachowanie tego prądu jest o wiele łatwiejsze do zrozumienia.

- Nie będę dalej przypominał, że mamy do czynienia z prądem stałym. Przymij, że tak jest, o ile tylko w tekście nie pojawi się jawnie odniesienie do prądu zmiennego.

## TEORIA: Wynalazca baterii

Alessandro Volta (patrz rysunek 1.37) urodził się we Włoszech w roku 1745, na długo przed tym, jak nauka podzieliła się na poszczególne gałęzie. Po studiowaniu chemii (w 1776 roku odkrył metan)



Rysunek 1.37. Alessandro Volta odkrył, że reakcje chemiczne mogą prowadzić do powstania prądu elektrycznego

został profesorem fizyki i zainteresował się tzw. odpowiedzią galwaniczną, obserwowaną jako drganie żabiej nogi pod wpływem przyłożonego statycznego ładunku elektrycznego.

Używając kieliszka napełnionego słoną wodą, Volta zademonstrował, że reakcja chemiczna pomiędzy dwiema elektrodami, z których jedna wykonana była z miedzi, a druga z cynku, powoduje powstanie tego prądu elektrycznego. W roku 1800 usprawnił swoje urządzenie przez złożenie razem wykonanych z miedzi i cynku płytka, oddzielonych od siebie teksturą nasączoną wodą z solą. Ten „stos Volty” był pierwszą baterią elektryczną znaną zachodniej cywilizacji.

## TEORIA: Ojciec elektromagnetyzmu

Urodzony w 1775 roku we Francji André-Marie Ampère (patrz rysunek 1.38) był cudownym dzieckiem matematyki, a w późniejszych latach został nauczycielem nauk ścisłych, mimo że niemal całą swoją wiedzę posiadał samodzielnie w bibliotece swojego ojca. Jego największym dziełem było wypracowanie w roku 1820 teorii elektromagnetyzmu,



Rysunek 1.38. André-Marie Ampère odkrył, że prąd płynący przez przewód wytwarza wokół niego pole elektromagnetyczne. Wykorzystał tę zasadę do przeprowadzenia pierwszych wiarygodnych pomiarów tego, co później zostało określone mianem natężenia prądu

opisującej sposób, w jaki przepływający prąd generuje pole elektromagnetyczne. To on również zbudował pierwsze urządzenie służące do pomiaru przepływu prądu (zwane **galwanometrem**). Jest także odkrywcą fluoru.

## Sprzątanie i recyklikacja

Pierwsza bateria AA, którą zwróciłeś, jest prawdopodobnie uszkodzona i nie można jej w żaden sposób zregenerować. Powinieneś się jej pozbyć. Wrzucenie baterii do śmiechnika nie jest najlepszym pomysłem, ponieważ zawiera ona metale ciężkie, które powinny być trzymane z dala od naszego ekosystemu<sup>1</sup>.

Przepalony bezpiecznik jest bezużyteczny i może zostać wyrzucony.

Druga bateria, chroniona przez bezpiecznik, powinna być nadal sprawna. Również pojemnik na baterię nadaje się do dalszego użycia.

1 W Polsce za wyrzucenie baterii lub akumulatorów do zwykłego pojemnika na śmieci grozi grzywna — przyp. tłum.

## Eksperyment 3: Twój pierwszy obwód

Nadszedł czas, aby wykorzystać prąd do zrobienia czegoś, co chociaż w małym stopniu jest użyteczne. Do tego będziesz potrzebował komponentów zwanych rezystorami oraz diody świecącej (LED).

### Potrzebne będą:

- bateria 9 V, liczba: 1,
- rezystory:  $470\ \Omega$ ,  $1\ k\Omega$  i  $2,2\ k\Omega$ , liczba: po jednym rezystorze z każdej wartości,
- dioda LED, dowolny typ, liczba: 1,
- przewody probiercze obustronne zakończone zaciskami typu krokodyl, liczba: 3,
- multimetru.

### Przygotowanie

Nadeszła pora na zapoznanie się z najbardziej fundamentalnym komponentem, jakiego używać będziemy w obwodach elektronicznych: skromnym rezystorem. Jak sugeruje jego nazwa, stawia on opór przepływającemu prądowi. Jego wartość, jak pewnie się spodziewasz, mierzona jest w omach.

Jeśli kupiłeś zestaw rezystorów z czyjejś wyprzedaży garażowej, najprawdopodobniej nie masz żadnych informacji na temat ich faktycznej rezystancji. Nic nie szkodzi, możemy to łatwo sprawdzić. Mówiąc szczerze, nawet gdyby były one jasno opisane, i tak chciałbym, abyś sprawdził ich wartości samodzielnie. Możesz zrobić to na dwa sposoby:

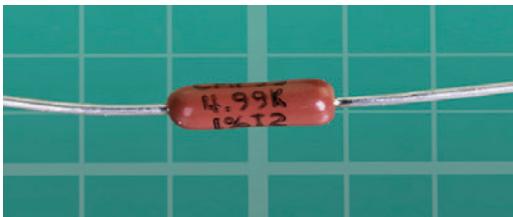
- Użyj swojego miernika uniwersalnego. Będzie to doskonały trening interpretacji wartości wyświetlanych na jego wyświetlaczu.
- Naucz się kodów paskowych, nadrukowanych na większości rezystorów. Instrukcje znajdziesz w poniższej sekcji — „Podstawy: Odczytywanie wartości rezystorów”.

Po ich sprawdzeniu dobrze jest je posortować do odpowiednio opisanych przedziałek w małym plastikowym pudełku na części. Pudełka tego typu

zajdziesz na przykład w dużych sklepach budowlanych lub w internecie. Posortowane rezystory możesz również trzymać w małych, foliowych woreczkach. Woreczki strunowe znajdziesz w ofercie serwisu aukcyjnego Allegro.

## PODSTAWY: Odczytywanie wartości rezystorów

Niektóre rezystory mają swoją wartość wyrażoną w jasny sposób za pomocą mikroskopijnego nadruku, który możesz odczytać przy użyciu szkła powiększającego (patrz rysunek 1.39).



Rysunek 1.39. Mało które rezystory posiadają nadrukowane wartości charakterystyczne

Jednak większość z nich jest oznaczona kolorowymi paskami (patrz rysunek 1.40).

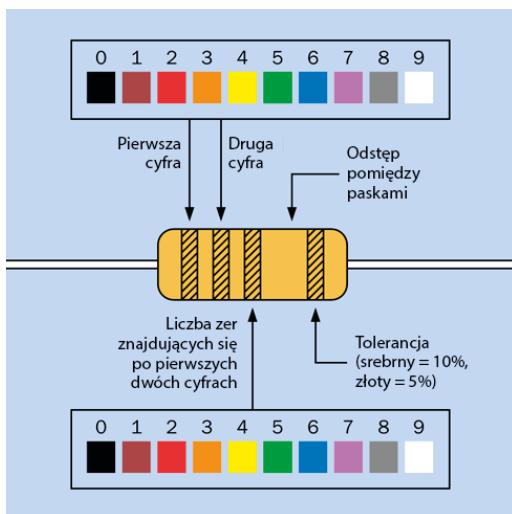


Rysunek 1.40. Cztery przykładowe rezystory oznaczone kodem paskowym

Na rysunku 1.41 pokazano przykładowe rezystory. Od góry:  $1\ 500\ 000\ \Omega$  ( $1,5\ M\Omega$ ) przy 10% tolerancji,  $560\ \Omega$  przy 5% tolerancji,  $4,7\ k\Omega$  przy 10% tolerancji i  $65\ 500\ \Omega$  ( $65,5\ k\Omega$ ) przy 5% tolerancji.

Ten kod działa w sposób następujący:

- Musisz zignorować kolor samej obudowy.  
(Wyjątek stanowi kolor biały — rezystory



Rysunek 1.41. Schemat kodowania wartości rezystorów; niektóre rezystory posiadają po lewej stronie cztery, a nie trzy paski (zostanie to wyjaśnione później)

o białych obudowach są ogniodporne i należy je zastępować rezystorami tego samego typu, ale prawdopodobieństwo, że spotkasz taki rezistor, jest bardzo niskie).

- Szukaj paska srebrnego lub złotego. Jeżeli go znajdziesz, obróć rezistor tak, aby ten pasek znajdował się po Twojej prawej stronie. Kolor srebrny oznacza, że wartość rezystora jest wyrażona z 10-procentową precyzją, a złoty z 5-procentową precyzją. Precyzja wykonania rezystora zwana jest również **tolerancją**.
- Jeżeli nie znajdziesz paska złotego lub srebrnego, obróć rezistor tak, aby kod paskowy znajdował się po Twojej lewej stronie. Powinieneś teraz patrzeć na trzy kolorowe paski po lewej stronie rezystora. Niektóre rezystory mają ich więcej, ale tymi zajmiemy się za chwilę.
- Kolory pierwszych dwóch pasków (od lewej do prawej) odwołują się do dwóch pierwszych cyfr wartości rezystora. Kolor trzeciego paska od lewej informuje o tym, ile zer należy zapisać po dwóch pierwszych cyfrach. Wartości poszczególnych kolorów przedstawiono na rysunku 1.40.

Jeżeli natkniesz się na rezystor z czterema paskami zamiast trzech, pierwsze **trzy** będą cyframi, a **czwarty** liczbą zer. Trzeci pasek numeryczny pozwala na lepsze wykalibrowanie tolerancji wartości rezystora.

Trudne do zapamiętania? Zdecydowanie. Dlatego prościej jest sprawdzić wartość przy użyciu Twojego miernika. Musisz jedynie być świadomy tego, że miernik może pokazać wartość odbiegającą nieco od domniemanej wartości rezystora. Wynika to stąd, że precyza Twojego miernika nie jest doskonała lub precyza samego rezystora nie jest doskonała (lub oba te przypadki zachodzą jednocześnie). Niewielkie odchylenia wartości komponentów nie mają znaczenia podczas pracy nad projektami opisanyimi w tej książce.

## Generowanie światła za pomocą diod LED

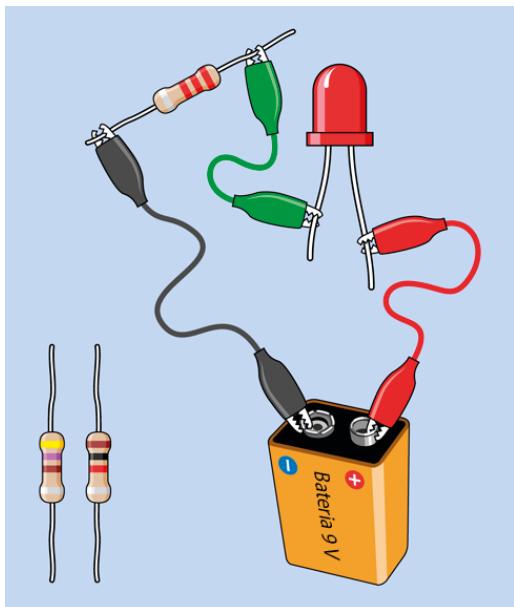
Przyjrzyj się teraz jednej ze swoich diod LED. Żarówka starego typu marnuje sporo energii, przekształcając energię elektryczną w ciepło. Diody LED są znacznie zmyślniejsze: niemal całą dostarczoną im energię konwertują na światło, a ich żywotność jest niemal nieskończona — pod warunkiem że będziesz je traktował w odpowiedni sposób.

Dioda LED jest dosyć wybredna pod względem ilości otrzymywanej energii i sposobu jej dostarczania. Przestrzegaj zawsze następujących reguł:

- **Dłuższa** końcówka diody LED musi otrzymać **wyższe dodatnie** napięcie w porównaniu do końcówki krótszej.
- Dodatnia różnica potencjałów pomiędzy dłuższą i krótszą końcówką diody nie może przekroczyć limitu wyznaczonego przez jej producenta. Tę różnicę potencjałów określa się mianem **napięcia przewodzenia**.
- Prąd płynący przez diodę LED nie może przekroczyć górnej granicy wyznaczonej przez jej producenta. Prąd ten określamy mianem **prądu przewodzenia**.

Co się stanie, jeśli przekroczysz te wartości? Przekonamy się wykonując eksperyment numer 4.

Upewnij się, że używana przez Ciebie bateria 9 V jest świeża. Baterię możesz podłączyć za pomocą klipsa widocznego na rysunku 1.8, ale moim zdaniem łatwiej jest podłączyć do baterii zaciski typu krokodyl (patrz rysunek 1.42).



Rysunek 1.42. Twój pierwszy obwód zasilający diodę LED

Teraz wybierz rezystor  $2,2\text{ k}\Omega$ . Pamiętaj, że „ $2,2\text{ k}\Omega$ ” oznacza „ $2200\text{ omów}$ ”. Dlaczego rezystor charakteryzuje się oporem  $2200\Omega$ , a nie  $2000\Omega$ ? Wyjaśnię to w sekcji „Teoria: Niestandardowe wartości”. Jeżeli chcesz, to możesz tam zajrzeć już teraz.

Kod paskowy rezystora  $2,2\text{ k}\Omega$  powinien być następujący: czerwony-czerwony-czerwony — po liczbie dwa znajduje się kolejna liczba dwa, a za nią dwa zera. Potrzebujesz również rezystora  $1\text{ k}\Omega$  (brązowy-czarny-czerwony) i  $470\Omega$  (żółty-fioletowy-brązowy).

Wepnij rezystor  $2,2\text{ k}\Omega$  w obwód, tak jak pokazują to rysunki 1.42. Upewnij się, że Twoja bateria nie jest ułożona na odwrót — jej dodatni biegum powinien być zwrócony w prawo.

- Znak plus zawsze oznacza „dodatni”.
- Znak minus zawsze oznacza „ujemny”.

Upewnij się, że dłuższe złącze diody LED jest zwrócone w prawo, i sprawdź, czy żaden z zacisków typu krokodyl nie stykał się z innym zaciskiem tego typu. Powinieneś widzieć diodę LED świeczącą bardzo słabo.

Zamień teraz swój rezystor  $2,2\text{ k}\Omega$  na rezystor  $1\text{ k}\Omega$ . Dioda powinna świecić jaśniej.

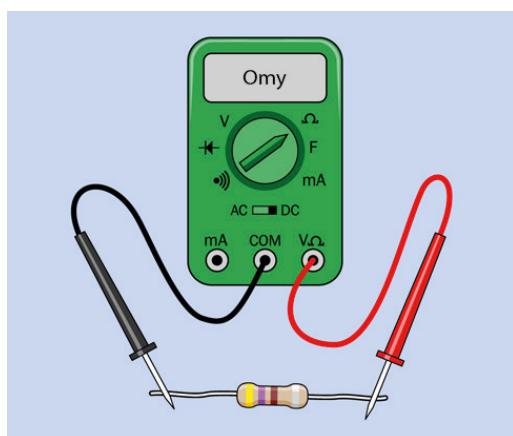
Zamień rezystor  $1\text{ k}\Omega$  na  $470\text{ }\Omega$ . Dioda powinna świecić jeszcze jaśniej.

To może wyglądać na bardzo elementarne ćwiczenie, ale udowadnia jedną istotną rzecz. Rezystor blokuje pewną część napięcia w układzie. Możesz traktować go jako węzeł lub zwężenie w giętkim węźlu. Rezystor o wyższej wartości blokuje więcej napięcia, pozostawiając go mniej dla diody.

## Sprawdzanie rezystorów

Opor elektryczny rezystora możesz sprawdzić za pomocą multimetru. Jest to bardzo proste. Procedurę pomiarową przedstawiono na rysunku 1.43. Po pierwsze, multimeter powinien być ustawiony w tryb pomiaru omów. Odłącz rezystor od innych komponentów i podłącz do niego przewody probiercze miernika. Jeżeli Twój miernik wymaga ręcznego określenia zakresu pomiarowego, to ustaw zakres wyższy od spodziewanej wartości wyniku pomiaru. Ustawienie zbyt niskiego zakresu pomiarowego może spowodować wyświetlenie komunikatu błędu.

Pamiętaj o tym, że bardziej dokładne wyniki pomiarów uzyskasz, przyciskając mocno złącza rezystora do końcówek próbników. Nie przytrzymuj tych elementów palcami, ponieważ rezystancja Twojego ciała zostanie wtedy połączona równolegle z oporem elektrycznym rezystora. Rezystor umieść na podłożu będącym izolatorem (może być to np. powierzchnia stołu, która nie jest wykonana z metalu) i przyciśnij złącza rezystora metalowymi końcówkami próbników.



Rysunek 1.43. Pomiar oporu elektrycznego rezystora

Rezystor możesz również podłączyć do przewodów miernika za pośrednictwem przewodów obustronnie zakończonych końcówkami typu krokodyl. Zabieg taki sprawia, że wykonując pomiary, będziesz miał wolne ręce.

## TEORIA: Niestandardowe wartości

Po przyjrzeniu się kilku rezystoram lub dokonaniu ich zakupu zobaczyś, że niektóre pary cyfr się powtarzają. Występują rezystancje:  $1,0\text{ k}\Omega$ ,  $1,5\text{ k}\Omega$ ,  $2,2\text{ k}\Omega$ ,  $3,3\text{ k}\Omega$ ,  $4,7\text{ k}\Omega$  i  $6,8\text{ k}\Omega$ , a także  $10\text{ k}\Omega$ ,  $15\text{ k}\Omega$ ,  $22\text{ k}\Omega$ ,  $33\text{ k}\Omega$ ,  $47\text{ k}\Omega$  i  $68\text{ k}\Omega$ .

Powtarzające się pary cyfr są **mnożnikami** — podstawowe wartości rezystorów uzyskujemy, mnożąc je przez 1, 1000, 10 000, 100 lub 10.

Ma to logiczne uzasadnienie. W przeszłości wiele rezystorów charakteryzowało się dokładnością wykonania na poziomie  $\pm 20\%$ . W związku z tym rezystor  $1\text{ k}\Omega$  mógł w rzeczywistości charakteryzować się rezystancją nawet  $1 + 20\% = 1,2\text{ k}\Omega$ . W związku z tym produkcja rezystorów o oporze znamionowym znajdującym się w zakresie od  $1\text{ k}\Omega$  do  $1,5\text{ k}\Omega$  była bezsensowna. Podobnie wyglądało to w przypadku rezystora  $68\text{ }\Omega$ . Mógł on mieć maksymalną rezystancję  $68 + 20\% =$  nieco ponad  $80\text{ }\Omega$ , a rezystor  $100\text{ }\Omega$  mógł w rzeczywistości mieć najniższą rezystancję na poziomie  $100 - 20\% = 80\text{ }\Omega$ . W związku z tym produkcja komponentów

o znamionowej rezystancji znajdującej się w zakresie od 68 do 100  $\Omega$  była bez sensu.

Górny rząd wartości znajdujących się w tabeli 1.4 przedstawia liczby, które były stosowanymi dawniej mnożnikami. Liczby te są wciąż często stosowane nawet dzisiaj, pomimo że współczesne rezystory charakteryzują się dokładnością  $\pm 10\%$  lub lepszą.

**Tabela 1.4.** Tradycyjne mnożniki wartości charakterystycznych rezystorów i kondensatorów

1,0	1,5	2,2	3,3	4,7	6,8
1,1	1,6	2,4	3,6	5,1	7,5
1,2	1,8	2,7	3,9	5,6	8,2
1,3	2,0	3,0	4,3	6,2	9,1

Jeżeli wartości znajdujące się w trzecim rzędzie dodasz do wartości znajdujących się w pierwszym rzędzie tabeli, to otrzymasz zbiór wszystkich możliwych mnożników rezystorów charakteryzujących się tolerancją  $\pm 10\%$ . Jeżeli dodasz do tego zbioru wartości podane w drugim i czwartym rzędzie tabeli, to otrzymasz wszystkie mnożniki rezystorów charakteryzujących się tolerancją  $\pm 5\%$ .

W projektach opisanych w tej książce korzystamy tylko z sześciu podstawowych mnożników. Ma to na celu minimalizację różnorodności stosowanych komponentów. W układach wymagających dużej dokładności (np. w przypadku obwodu mierzącego Twój refeks w eksperymencie numer 19) możesz dostroić obwód za pomocą rezystora. Komponent ten zostanie opisany w kolejnym eksperymencie.

## Sprzątanie i recyklikacja

Baterii i diody użyjemy w następnym eksperymencie. Rezystory przydadzą się w przyszłości.

## Eksperyment 4: Zmiana rezystancji

Potencjometry pozwalają na zmianę napięcia i natężenia prądu przez zmianę rezystancji. Ten

eksperyment pozwoli Ci dowiedzieć się więcej na temat napięcia, natężenia i związku pomiędzy nimi. Dowiesz się również, jak odczytywać karty katalogowe producenta.

### Potrzebne będą:

- bateria 9 V, liczba: 1,
- rezystory:  $470 \Omega$  i  $1 \text{ k}\Omega$ , liczba: po jednym rezystorze każdego typu,
- standardowe diody LED, liczba: 2,
- przewody zakończone obustronnie zaciskami typu krokodyl, liczba: 4,
- potencjometr,  $1 \text{ k}\Omega$ , liniowy, liczba: 2;
- miernik uniwersalny, liczba: 1.

## Zajrzyj do wnętrza swojego potencjometru

Pierwszą rzeczą, jaką chcę, abyś wykonał, jest sprawdzenie zasady działania potencjometru. Oznacza to, że będziesz musiał dostać się do jego wnętrza. Właśnie z tego powodu na Twojej liście zakupów znalazły się dwa takie potencjometry (na wypadek gdybyś nie był w stanie złożyć pierwszego z powrotem w całość).

Niektórzy czytelnicy poprzedniego wydania twierdzili, że nie warto ryzykować zniszczenia potencjometru w celu zobaczenia tego, co jest w jego wnętrzu, ale moim zdaniem nauka często wiąże się z ponoszeniem strat (zużywamy papier, długopisy i mazaki do tablic suchosciąralnych). Jeżeli naprawdę nie chcesz ryzykować zniszczenia potencjometru, to wystarczy, że uważnie będziesz przyglądać się fotografiom umieszczonym w dalszej części tego rozdziału.

Większość potencjometrów jest przytrzymywana przez metalowe zakładki. Powinieneś być w stanie chwycić je przy użyciu szczypiec (okrągłych lub z ostrzem), a następnie odgiąć na zewnątrz. Możesz je również podważyć za pomocą noża lub płaskiego śrubokrętu. Nie wymieniałem tych rzeczy na liście narzędzi niezbędnych do wykonania tego

eksperymentu, ponieważ mam nadzieję, że w swoim domu masz nóż, śrubokręt lub szcypce.

Trzy zakładki wyróżniono na rysunku 1.44 kolorem czerwonym (czwarta zakładka jest ukryta za obrotowym trzonkiem potencjometru). Na rysunku 1.45 przedstawiono odgięte zakładki.



Rysunek 1.44. Zakładki obudowy potencjometru



Rysunek 1.45. Zakładki wygięte do góry i na zewnątrz

Po odgięciu zakładek bardzo ostrożnie pociągnij za jego trzon jednocześnie trzymając spodnią metalową część potencjometru w drugiej ręce. Wnętrze potencjometru pokazano na rysunku 1.46.

Wewnątrz potencjometru zobaczysz okrągły  **materiał rezystancyjny**. W zależności od tego, czy kupiłeś najtańszy możliwy potencjometr, czy też trochę wyższej klasy, w środku znaleźć możesz



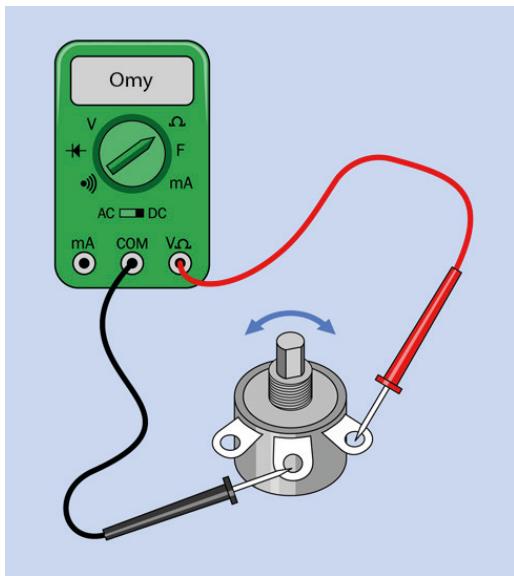
Rysunek 1.46. Zakreślony ślizgacz potencjometru

pierścień przewodzącego plastiku lub nawinięty zwój drutu. W obu przypadkach zasada działania jest taka sama. Drut lub plastik stanowi pewną rezystancję (w tym przypadku o całkowitej wartości  $1\text{ k}\Omega$ ) i w miarę jak kręcisz wałem potencjometru, **ślizgacz** ociera się o tę rezystancję, dając Ci skrót pomiędzy dowolnym punktem a środkowym wyprowadzeniem. Ślizgacz oznaczono kolorem czerwonym na rysunku 1.46.

Möżesz spróbować złożyć go ponownie. Jeśli się nie uda, użyj potencjometru zapasowego.

## Testowanie potencjometru

Aby przetestować potencjometr, przestaw swój miernik na pomiar rezystancji (zakres pomiarowy pozwalający na pomiar rezystancji maksymalnej na poziomie przynajmniej  $1\text{ k}\Omega$ ) i dotknij końcówkami sąsiednich wyprowadzeń potencjometru (patrz rysunek 1.47). Kręcząc wałem potencjometru w kierunku przeciwnym do kierunku ruchu wskazówek zegara (gdy patrzysz na potencjometr od góry), zobaczysz, że rezystancja spada prawie do zera. Gdy kręcisz wałem potencjometru w kierunku przeciwnym do kierunku ruchu wskazówek zegara, rezystancja wzrasta, osiągając maksymalną wartość około  $1\text{ k}\Omega$ . Teraz nie ruszaj czarnego próbnika, a czerwony próbnik przyłącz do przeciwnego złotego kontaktu potencjometru. Działanie potencjometru będzie odwrócone.



Rysunek 1.47. Procedura testowania pracy potencjometru

Czy Twoim zdaniem środkowe złącze jest połączone ze śliszgaczem znajdującym się wewnętrz potencjometru? Czy pozostałe dwa złącza potencjometru połączone są z końcami materiału rezystancyjnego znajdującego się wewnętrz potencjometru?

Jeżeli przyłożysz czerwony próbnik w miejsce, do którego aktualnie przyłożony jest czarny próbnik, a czarny próbnik przełożysz w miejsce, do którego przyłożony jest czerwony próbnik, to mierzona wartość rezystancji nie ulegnie zmianie. Nie wpływa na nią kierunek przepływu prądu. Potencjometry, w przeciwnieństwie do diod LED, nie charakteryzują się określona polaryzacją.

## UWAGA: Nie podłączaj obwodu do prądu

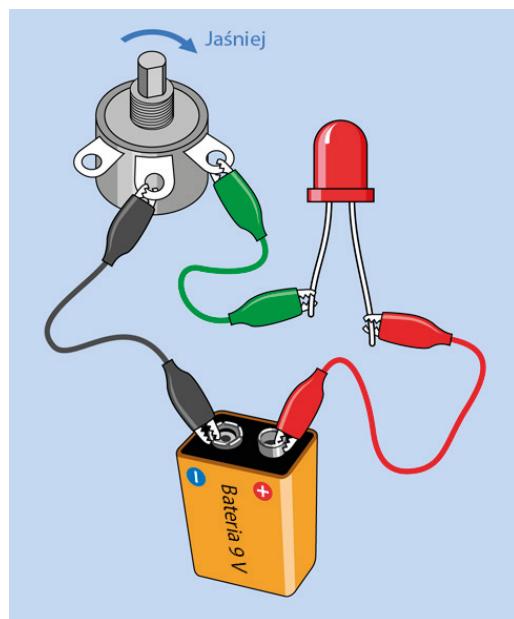
Nie podłączaj źródeł prądu do obwodu, w którym wykonujesz pomiary rezystancji. Podczas pomiaru rezystancji multimeter dostarcza do obwodu prąd o niskim napięciu pobierany z baterii znajdującej się wewnętrz miernika. Napięcie to nie powinno konkurować z napięciem zasilającym obwód.

## UWAGA: Eksperyment o charakterze destrukcyjnym

Wykonywałem ten eksperyment wielokrotnie i za każdym razem przebiegał on bezpiecznie, ale jeden z czytelników zgłosił przypadek pęknięcia diody LED. Jeżeli chcesz czuć się bezpiecznie, to załóż okulary ochronne. Możesz również skorzystać ze zwykłych okularów.

## Przyciemnianie diody LED

Teraz możesz użyć potencjometru do regulacji jasności diody LED. Podłącz wszystko tak, jak pokazano na rysunku 1.48, zwracając szczególną uwagę na to, aby metalowe części krokodylków nie stykały się ze sobą. W eksperymencie numer 3 prąd zasilający diodę przepływał przez rezystor charakteryzujący się stałą rezystancją (patrz rysunek 1.42), a teraz będzie płynął przez potencjometr.



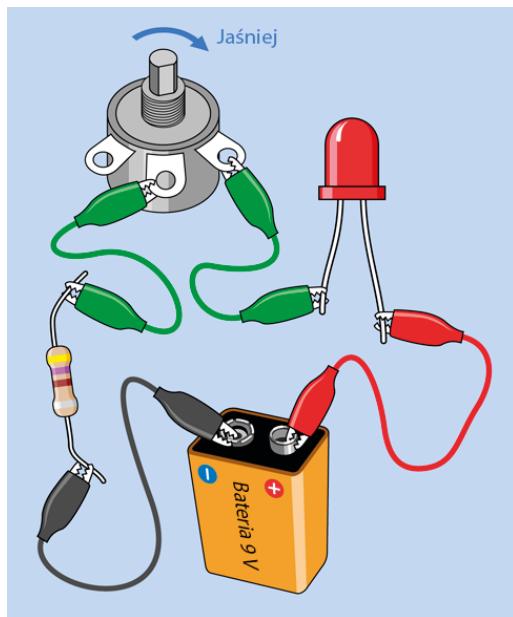
Rysunek 1.48. Regulacja jasności diody LED za pomocą potencjometru

Zacznij od ustawienia potencjometru w pozycji skrajnie skręconej **przeciwne do ruchu wskazówek zegara**, w przeciwnym wypadku spaliś diodę LED, zanim jeszcze zaczniesz na dobre eksperyment.

Przekrój teraz **bardzo** powoli pokrętło potencjometru w kierunku pokazanym przez strzałkę. Zauważysz, że dioda zaczyna świecić coraz jaśniej — do momentu, ups, kiedy zupełnie zgaśnie. Czy widzisz teraz, jak łatwo można zepsuć współczesną elektronikę? Gdy pisałem o przyciemnianiu diody LED, prawdopodobnie nie spodziewałeś się, że ścinimy ją na zawsze.

Wyrzuć tę diodę LED. Ona już nie zaświeci.

Weź jednak — tym razem będziemy bardziej ostrożni. Do obwodu dodaj rezystor  $470\ \Omega$ , tak jak pokazano na rysunku 1.49. Prąd zasilający diodę będzie teraz płynąć przez rezystor  $470\ \Omega$  oraz przez potencjometr. W związku z tym dioda LED będzie chroniona przed uszkodzeniem, nawet gdy rezystancja potencjometru spadnie do zera. Teraz możesz operować wałem potencjometru i nie bać się, że uszkodzisz diodę LED.



Rysunek 1.49. Obwód, w którym dioda LED jest chroniona przed uszkodzeniem

Mam nadzieję, że wiesz już, że dioda LED jest zbyt delikatnym komponentem, aby podłączyć ją bezpośrednio do baterii 9 V. Dioda włączana do obwodu

zawsze musi być chroniona za pomocą dodatkowej rezystancji.

Czy możliwe jest zasilanie diody LED bezpośrednio z pojedynczego ogniwa o napięciu 1,5 V? Sprawdź to. Napięcie 1,5 V jest niższe od wartości **progowej** charakteryzującej diodę LED. Określmy napięcie wymagane przez diodę LED.

## Pomiar różnicy potencjałów

Podczas gdy baterie są podłączone do obwodu, ustaw swój miernik na pomiar napięcia (woltów) prądu stałego (DC). Nie musisz zmieniać gniazda miernika, do którego podłączony jest czerwony próbnik — gniazdo to może służyć do pomiaru napięcia oraz rezystancji.

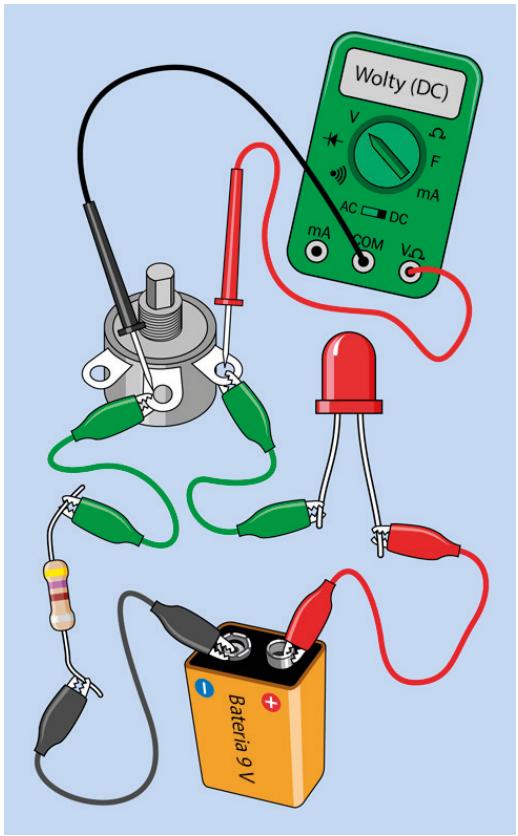
Jeżeli posiadasz miernik z ręczną regulacją zakresu pomiarowego, to wybierz zakres pozwalający na pomiar maksymalnego napięcia większego od 9 V. Pamiętaj o tym, że etykiety poszczególnych zakresów wskazują maksymalne wartości mierzone w danym zakresie pomiarowym.

Dotknij teraz końcówkami pomiarowymi dwóch wyprowadzeń potencjometru, których używaliśmy (patrz rysunek 1.50). Spróbuj utrzymać próbówki we właściwych miejscach, poruszając wałkiem potencjometru. Zobaczysz, że mierzone napięcie zmienia się. Pomiędzy dwoma próbownikami zachodzi **różnica potencjałów**.

- Różnicą potencjałów nazywamy napięcie pomiędzy dwoma punktami.

Teraz dotknij obu stron diody LED. Spróbuj utrzymać końcówki pomiarowe w tej pozycji i jednocześnie przekręcić potencjometr odróżnioną stronę. Powinieneś zauważyć, że napięcie na diodzie również ulega zmianie, ale nie są to tak duże zmiany, jakich byś się spodziewał. Dioda do pewnego stopnia dostosowuje się do warunków pracy, zmieniając swoją rezystancję wraz ze zmianami napięcia i natężenia prądu.

Co się stanie, gdy zamienisz ze sobą próbówki? Na wyświetlaczu multimetru powinien pojawić się znak minus. Nie uszkodzisz w ten sposób miernika, ale



**Rysunek 1.50.** Różnica potencjałów pomiędzy biegunami diody LED

łatwiej jest przeprowadzać pomiar, przykładając czerwony probnik do punktu o wyższym, dodatnim potencjale.

Na koniec przyłącz próbniki do rezystora, a zobacysz, że tu również dochodzi do zmiany różnicy potencjałów (spadku napięcia) podczas poruszania wałkiem potencjometru. Prąd dostarczany przez baterię płynie przez wszystkie komponenty tego prostego obwodu. Gdy potencjometr stawia mniejszy opór prądowy, to prąd o większym napięciu płynie przez rezistor i diodę LED. Obniżając rezystancję potencjometru, obniżamy rezystancję całego obwodu i umożliwiamy przepływ prądu o większym natężeniu.

Warto zapamiętać następujące prawidłowości:

- Jeżeli zsumujesz spadki napięcia na urządzeniach w obwodzie, całkowita suma będzie

taka sama, jak napięcie dostarczone przez baterię.

- Napięcie (różnicę potencjałów) mierzasz w sposób **względny**, pomiędzy dwoma punktami w obwodzie.
- Podczas pomiaru napięcia używaj miernika jak stetoskopu, bez poruszania lub przerywania połączeń w obwodzie.

## Sprawdzanie przepływu

Chciałbym, abyś dokonał teraz innego rodzaju pomiaru — pomiaru natężenia prądu w obwodzie, używając Twojego miernika z ustawieniem mA (miliamper). Pamiętaj:

- Prąd możesz mierzyć jedynie, kiedy przepływa on **przez** miernik.
- Musisz wstawić swój miernik do obwodu.
- Zbyt duży prąd spowoduje przepalenie bezpiecznika wewnętrz miernika.
- Musisz skorzystać z gniazda miernika ozначенego etykietą mA. Może to być to samo gniazdo, z którego korzystałeś dotychczas, ale w przypadku niektórych multymetrów czerwony przewód probierczy należy podłączyć do innego gniazda.

Zanim przejdziesz dalej, upewnij się, że ustawiłeś swój miernik na pomiar mA, a nie woltów.

## UWAGA: Przeciążenie miernika

Zachowaj ostrożność, mierząc natężenie prądu. Gdybyś np. dotknął próbnikami bezpośrednio do biegunów baterii, a miernik był włączony w tryb pomiaru natężenia prądu, to doszłoby do natychmiastowego przeciążenia urządzenia pomiarowego, w wyniku czego przepaliłby się bezpiecznik znajdujący się w jego wnętrzu. Tańsze mierniki nie są wyposażane w dodatkowe bezpieczniki, a więc będziesz musiał otworzyć ich obudowę, sprawdzić parametr znamionowy bezpiecznika, a następnie znaleźć identyczny bezpiecznik. To naprawdę irytujące (sytuacja taka spotkała mnie kilkakrotnie).

Wymiana bezpiecznika w niektórych tanich multimetrach to naprawdę skomplikowane zadanie.

- Pomiaru prądu dokonuj tylko wtedy, gdy w obwodzie znajdują się komponenty ograniczające jego natężenie.
- Jeżeli Twój miernik jest wyposażony w dodatkowe złącze przeznaczone do pomiaru natężenia prądu, to podłączaj do niego czerwony przewód probierczy tylko wtedy, gdy dokonujesz pomiaru natężenia prądu. Przed dokonaniem pomiaru napięcia oraz natężenia przełącz go w drugie gniazdo.

## Pomiar prądu

Włącz swój miernik do obwodu pomiędzy diodę LED i potencjometr, tak jak pokazuje to rysunek 1.51. Poruszaj potencjometrem. Zobaczysz, że zmiana rezystancji powoduje zmianę natężenia prądu. W poprzednim eksperymencie dioda została spalona, ponieważ przepływ zbyt dużego prądu spowodował jej przegrzanie. Dioda stopiła się jak drut bezpiecznika. Wyższa rezystancja ogranicza natężenie prądu.

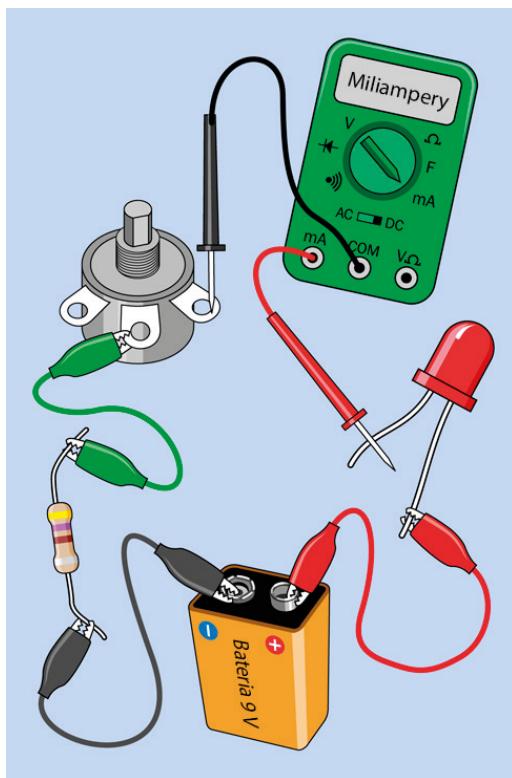
Pora na interesujący eksperyment. Ustaw potencjometr w skrajne lewe położenie. Zapisz wartość prądu płynącego przez obwód.

Teraz, nie zmieniając ustawienia potencjometru, wstaw miernik pomiędzy baterię i diodę LED, tak jak pokazuje to rysunek 1.52. Jakie natężenie prądu wskazuje miernik? Powinno ono być identyczne jak wcześniej lub zbliżone (z powodu zmiany rezystancji wynikającej z nieco innego podłączenia zacisków typu krokodyl) do uzyskanej wcześniej wartości.

- Natężenie prądu płynącego w obwodzie jest takie samo we wszystkich jego punktach, ponieważ elektrony mają tylko jedną drogę ujścia.

## Wykonywanie pomiarów

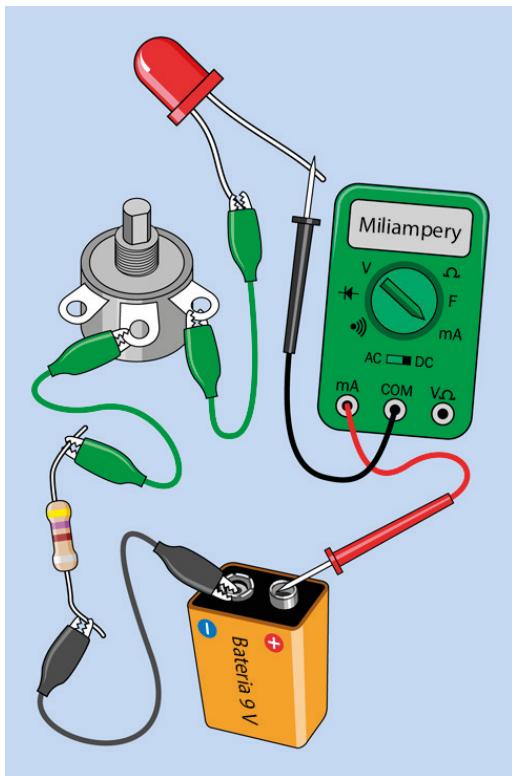
Nadeszła pora, aby przyjrzeć się liczbom. Pozwoli Ci to na zrozumienie podstawowego prawa związanego z elektroniką.



Rysunek 1.51. Prąd wypływa z bieguna baterii, przepływa przez obwód i wpływa do jej drugiego bieguna

Odtóż na bok diodę LED. Miernik podłącz pomiędzy baterią i potencjometrem. Rezystor  $470\ \Omega$  zastąp rezystorem  $1\ k\Omega$  (o kodzie paskowym: brązowy-czarny-czerwony), tak jak pokazuje to rysunek 1.53. Całkowita rezystancja obwodu wynosi w tej chwili  $1\ k\Omega$  plus wartość wynikającą z aktualnego ustawienia potencjometru. (Również sam miernik wprowadza pewną rezystancję, ale jest ona na tyle mała, że możemy ją pominać. Przewody probiercze, a także zaciski charakteryzują się również niewielką rezystancją, ale rezystancja ta jest niższa od rezystancji samego miernika).

Przekrć potencjometr do końca w kierunku zgodnym z ruchem wskazówek zegara, tak aby komponent ten posiadał niemal zerową rezystancję. Uzyjkasz w ten sposób całkowitą rezystancję rzędu  $1\ k\Omega$  (opór ten jest stawiany przez rezistor). Jakie jest natężenie prądu płynącego w obwodzie?



**Rysunek 1.52.** Natężenie prądu płynącego w obwodzie jest takie samo we wszystkich jego punktach

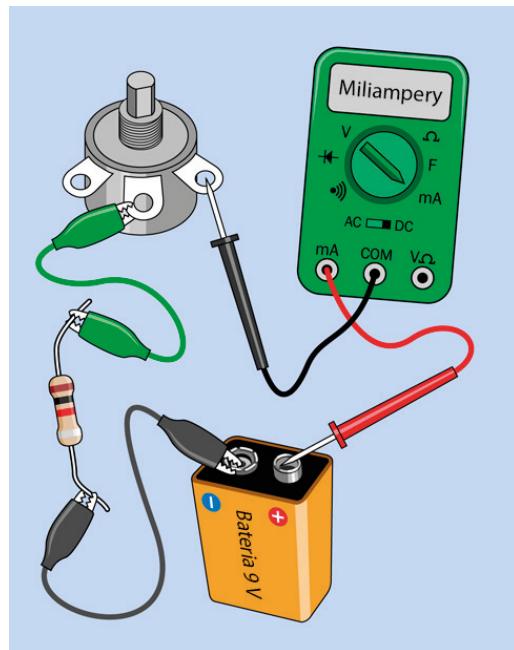
Teraz przekrój potencjometr do połowy, uzyskując rezystancję zblizioną do  $500\Omega$ . Całkowita rezystancja obwodu wynosi teraz około  $1500\Omega$ . Jakie jest natężenie prądu płynącego teraz w obwodzie?

Przekrój potencjometr do końca przeciwnie do ruchu wskazówek zegara, uzyskując w ten sposób rezystancję całkowitą  $2\text{k}\Omega$ . Jakie jest natężenie prądu płynącego teraz w obwodzie?

Podczas tego eksperimentu uzyskałem następujące wyniki pomiarów:

- 9 mA przy całkowitej rezystancji  $1\text{k}\Omega$ ,
- 6 mA przy całkowitej rezystancji  $1,5\text{k}\Omega$ ,
- 4,5 mA przy całkowitej rezystancji  $2\text{k}\Omega$ .

Czy zauważłeś coś ciekawego? Jeżeli liczbę znajdującą się po lewej stronie każdej linii pomnożymy przez liczbę znajdującą się po prawej stronie, to za



**Rysunek 1.53.** Ostatni eksperyment wykonaj bez diody LED

każdym razem uzyskamy wartość 9, a obwód jest zasilany prądem o napięciu 9 V.

Dokonaliśmy tylko trzech pomiarów, ale możesz przeprowadzić bardziej szczegółowy eksperyment z użyciem zespołu rezystorów stawiających opór o określonej wartości. Założę się, że uzyskasz takie same rezultaty. Możemy powiedzieć, że:

$$\text{wolty} = \text{kiloomy} \times \text{miliampery}$$

Ale skoro 1 kΩ to 1000 omów, a 1 mA to 1/1000 ampera, nasza formuła powinna wyglądać tak:

$$\text{wolty} = (\text{omy} \times 1000) \times (\text{ampery} \times 1/1000)$$

Współczynniki tysięczne upraszczają się wzajemnie i otrzymujemy:

$$\text{wolty} = \text{omy} \times \text{ampery}$$

Ta formuła jest znana jako **prawo Ohma**. Więcej na jej temat przeczytasz w sekcji „Podstawy: Prawo Ohma”.

## PODSTAWY: Prawo Ohma

Oto ogólna forma prawa Ohma:

$$\text{napięcie} = \text{natężenie} \times \text{opór}$$

Zwykle przedstawia się to za pomocą liter:

$$U = I \times R$$

Natężenie prądu jest zazwyczaj reprezentowane przez literę  $I$  ze względu na fakt, że początkowo prąd był mierzony poprzez swoją **indukcyność**, tzn. zdolność do tworzenia pola magnetycznego. Być może mniej mylące byłoby użycie litery  $A$  do oznaczenia prądu, ale niestety jest już na to za późno.

Zamieniając kolejność symboli, możesz zapisać prawo Ohma na dwa kolejne sposoby:

$$I = U / R$$

$$R = U / I$$

Aby skorzystać z tych wzorów, musisz się upewnić, że podstawiane do nich wartości są wyrażone we właściwych jednostkach. Jeżeli  $U$  jest wyrażane w woltach, a  $I$  jest wyrażane w amperach, to  $R$  musi być wyrażane w omach.

A jeżeli w wyniku pomiarów uzyskałeś natężenie prądu wyrażone w miliamperach? Musisz je przekształcić na ampery. Prąd o natężeniu 30 mA należy podstawić do wzorów jako wartość 0,03, ponieważ  $0,03 \text{ A} = 30 \text{ mA}$ . Jeżeli sprawia Ci to problem, to liczbę miliamperów podziel przez 1000 za pomocą kalkulatora — w ten sposób uzyskasz liczbę amperów. W ten sam sposób możesz przeliczać miliwolty na wolty.

Aby zminimalizować prawdopodobieństwo popełnienia błędu, możesz nauczyć się prawa Ohma, w którym zastosowano jednostki:

- wolty = ampery × omły
- ampery = wolty / omły
- omły = wolty / ampery

Musisz jednak zapamiętać, że:

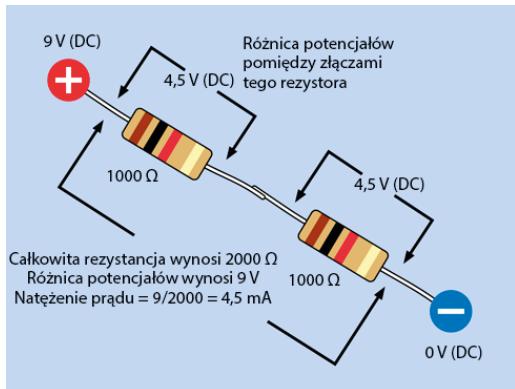
- Wolty w przypadku prostych obwodów wyrażają **różnicę potencjału** pomiędzy dwoma punktami obwodu. Omy określają opór pomiędzy tymi punktami, a amperty określają natężenie prądu płynącego przez obwód.

## PODSTAWY: Połączenia szeregowe i równoległe

W Twoim obwodzie rezystor i potencjometr były połączone **szeregowo** — prąd płynął kolejno przez oba komponenty. Komponenty te można również ułożyć obok siebie i połączyć **równolegle**.

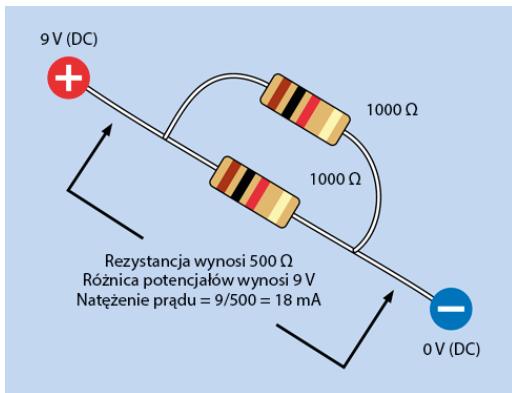
- W połączeniu szeregowym rezystory występują jeden za drugim.
- W połączeniu równoległym rezystory znajdują się obok siebie.

Kiedy połączysz dwa rezystory o jednakowej rezystancji w sposób szeregowy, podwoisz całkowitą rezystancję, ponieważ prąd będzie musiał pokonać kolejno dwie bariery (patrz rysunek 1.54).



Rysunek 1.54. Dwa identyczne rezystory połączone szeregowo

Połączenie równoległe dwóch rezystorów o równej rezystancji spowoduje zmniejszenie ich rezystancji o połowę, ponieważ prąd będzie mógł płynąć dwiema ścieżkami charakteryzującymi się taką samą rezystancją, a nie tylko jedną ścieżką (patrz rysunek 1.55).



Rysunek 1.55. Dwa identyczne rezystory połączone równolegle

W obu przypadkach natężenie prądu obliczono, korzystając z prawa Ohma.

W praktyce, zazwyczaj nie potrzebujemy łączyć rezystorów w sposób równoległy, ale często łączymy tak inne komponenty. Dla przykładu, w taki sposób połączone są wszystkie żarówki w Twoim domu. Warto zatem rozumieć, że dodawanie kolejnych elementów do obwodu w sposób równoległy zmniejsza jego całkowitą rezystancję, co powoduje wzrost natężenia prądu płynącego przez ten obwód.

## Stosowanie prawa Ohma

Prawo Ohma jest niezwykle użyteczne. Pozwala nam między innymi na określenie rezystancji, przy której dioda LED będzie generowała jak najwięcej światła, ale nie ulegnie uszkodzeniu.

Najpierw trzeba zapoznać się ze specyfikacją diody określona przez producenta. Specyfikacje komponentów można znaleźć w notach katalogowych dostępnych w internecie. Założmy, że Twoją diodę wyprodukowała firma Vishay Semiconductors. Wiesz, że komponent został oznaczony numerem TLHR5400 (numer ten był nadrukowany na etykiecie naklejonej na worku z diodami LED, którą od niego odkleiłeś i przechowywałeś wraz z diodami — a przynajmniej tak powinieneś postąpić).

Wystarczy teraz otworzyć Google i wpisać w wyszukiwarce hasło:

vishay tlhr5400

Pierwszym elementem na liście znalezionych stron będzie nota katalogowa firmy Vishay. Otwórz ją i przejdź niżej. Znajdziesz tam niezbędne informacje. Na rysunku 1.56 przedstawiłem zrzut lewej i prawej części ekranu, na którym wyświetlono tę notę. Po lewej stronie ekranu kolorem czerwonym oznaczylem numer katalogowy komponentu, a po prawej stronie kolorem białym oznaczyłem dwa rodzaje napięcia przewodzenia. „Typ” oznacza typowe napięcie przewodzenia, a „Max” maksymalne napięcie przewodzenia. Dioda LED powinna więc pracować pod napięciem 2 V. Co oznacza zapis „at  $I_F$  (mA)”? Litera I oznaczamy prąd, a  $I_F$  oznacza prąd przewodzenia. W związku z tym wiemy, że napięcie przewodzenia przedstawione w tabeli zostało zmierzone przy natężeniu prądu równym 20 mA (natężeniu rekomendowanym dla tej diody LED).

### PRODUCT GROUP AND PACKAGE DATA

- Product group: LED
- Package: 5 mm
- Product series: standard
- Angle of half intensity:  $\pm 30^\circ$

PARTS TABLE		$I_F$ nA	FORWARD VOLTAGE (V)			at $I_F$ (mA)	TEC
PART	COLOR		MIN.	TYP.	MAX.		
TLHR5400	Red	1, <sup>7</sup>	-	2	3	20	GaA
TLHR5400-AS12Z	Red	-	10	-	2	3	20
TLHR5401	Red	-	5	-	2	3	20
TLHR5405	Red	325	10	-	2	3	20
TLHR5405-AS12Z	Red	625	10	-	2	3	20
TI-HR5400L-AS21	Red	625	10	-	2	3	20

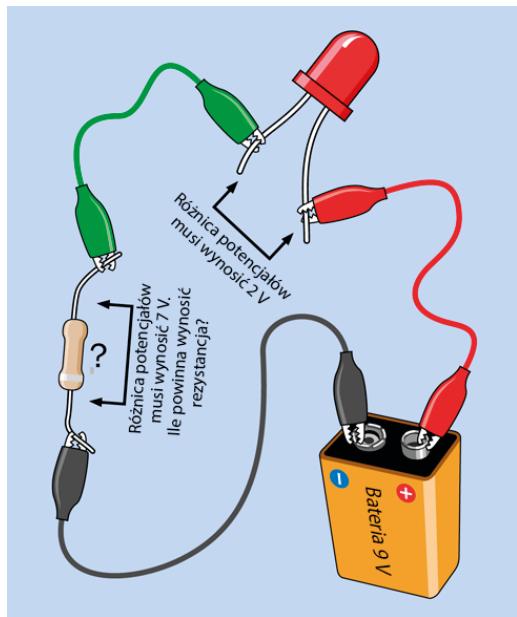
Rysunek 1.56. Fragmenty noty katalogowej diody LED

A gdybyśmy dysponowali diodą LED firmy Kingbright, o numerze części WP7113SGC? Po wyszukaniu jej w przeglądarce tym razem klikni drugi odnośnik, który zaprowadzi Cię do strony katalogowej. Na drugiej stronie dokumentu dowiadujemy się, że typowe napięcie przewodzenia to 2,2, a maksymalne 2,5. Maksymalny prąd przewodzenia wynosi 25 mA. Dokument ten różni się swym wyglądem od przedstawionej wcześniej noty katalogowej, ale znalezienie w nim przydatnych informacji nie jest trudne.

Będę pracować z diodą LED firmy Vishay. Wiemy, że pracuje ona prawidłowo przy napięciu 2 V i natężeniu 20 mA. Resztę możemy obliczyć z prawa Ohma.

## Jak dużego rezystora potrzebuje dioda LED

Chcemy określić wartość rezystora, który powinien być zastosowany w prostym obwodzie przedstawionym na rysunku 1.57. Zacznijmy od przypomnienia sobie zaprezentowanych wcześniej reguł:



Rysunek 1.57. Obliczmy wartość rezystora, który należy zastosować w tym prostym obwodzie

- Jeżeli dodasz wartości spadków napięć wszystkich komponentów (czyli różnice potencjałów pomiędzy ich zaciskami), to otrzymasz napięcie prądu dostarczanego przez baterię.

Napięcie baterii (9 V) chcemy ograniczyć do 2 V (napięcie, przy którym powinna pracować dioda LED). W związku z tym spadek napięcia na rezystorze powinien wynosić 7 V. Co z prądem? Przypomnij sobie kolejną, opisaną wcześniej regułę:

- Natężenie prądu w prostym obwodzie jest identyczne we wszystkich jego punktach.

Wiemy więc, że prąd płynący przez rezystor będzie miał takie samo natężenie jak prąd płynący przez diodę LED. Chcemy osiągnąć natężenie 20 mA,

ale prawo Ohma wymaga ujednolicenia jednostek. Musimy przekonwertować wszystkie jednostki na wolty, ampery i omły, zatem 20 mA powinno zostać zapisane jako 0,02 A:

Teraz możemy wypisać dane:

$$U = 7$$

$$I = 0,02$$

Chcemy poznać R — rezystancję. Używamy zatem wariantu prawa Ohma, w którym R znajduje się po lewej stronie równania:

$$R = U / I$$

Podstawiamy wartości:

$$R = 7 / 0,02$$

Jeżeli nie radzisz sobie z ułamkami w pamięci, użyj kalkulatora (poźniej opiszę technikę ułatwiającą wykonywanie obliczeń na ułamkach dziesiętnych). Odpowiedź to:

$$R = 7 / 0,02 = 350 \Omega$$

Akurat tak się składa, że  $350 \Omega$  nie jest wartością standardową, ale  $330 \Omega$  jest taką wartością. Jeżeli Twoja dioda LED jest wrażliwa na wzrost napięcia, możesz zastosować kolejny, większy rezistor:  $470 \Omega$ . Teraz już wiesz, dlaczego rezistor ten zastosowałem w eksperymencie numer 3. Wykonalem niezbędne obliczenia.

Niektórzy ludzie są błędnie przekonani, że dzieląc wolty przez ampery, uzyskają właściwą wartość oporu rezystora połączonego szeregowo z diodą i do obliczeń tych podstawiają wartość napięcia źródła prądu (w naszym przypadku 9 V). Jest to błędne podejście, ponieważ napięcie zasilania jest przyłożone do rezystora i diody LED. Aby określić właściwą rezystancję, musisz wziąć pod uwagę tylko spadek napięcia na rezystorze.

Co się stanie, gdy zmienisz źródło zasilania? W dalszej części tej książki będziesz wykonywał eksperymenty zasilane prądem o napięciu 5 V. Jak taka zmiana wpłynie na dobór rezystancji?

Dioda wciąż będzie musiała być zasilana prądem o napięciu 2 V. Źródło dostarcza prąd o napięciu 5 V, a więc rezystor powinien doprowadzić do spadku napięcia o 3 V. Prąd nie powinien ulec zmianie, a więc obliczenia w takim przypadku wyglądają następująco:

$$R = 3 / 0,02$$

Rezystancja wynosi  $150 \Omega$ . Nie zawsze istnieje potrzeba generowania maksymalnej ilości światła przez diodę, a czasami przyjdzie Ci pracować z diodami mogącymi pobrać mniejszy maksymalny prąd. Czasami będziesz chciał wydłużyć żywotność baterii poprzez redukcję pobieranej z niej mocy. W takich wypadkach możesz zastosować kolejną, wyższą wartość rezystora —  $220 \Omega$ .

## TEORIA: Ile prądu konsumuje przewód elektryczny?

Pisałem wcześniej, że przewody charakteryzują się niską rezystancją, ale czy zawsze możemy ją ignorować? Nie. Jeżeli przez przewód płynie prąd o dużym natężeniu, to przewód ten będzie się rozgrzewał, czego doświadczyleś, zwierając baterię w eksperymencie numer 2. Jeżeli przewody stają się gorące, to z pewnością blokują one część napięcia, powodując spadek napięcia prądu dopływającego do innych komponentów.

Konkretnie wartości określmy, stosując ponownie prawo Ohma.

Założymy, że bardzo długi przewód ma rezystancję  $0,2 \Omega$ , a my chcemy przez niego przepuścić prąd o natężeniu 15 amperów. Ile napięcia „ukradnie” przewód w takim obwodzie ze względu na swoją rezystancję?

Zapiszmy to, co wiemy:

$$R = 0,2 \text{ (rezystancja przewodu)}$$

$$I = 15 \text{ (natężenie prądu płynącego przez obwód)}$$

Chcemy poznać U, różnicę potencjałów dla przewodu, zatem używamy wzoru, w którym U znajduje się po lewej stronie równania:

$$U = I \times R$$

Podstawiamy wartości:

$$U = 15 \times 0,2 = 3 \text{ volty}$$

Trzy volty to nic wielkiego, jeżeli Twoje źródło zasilania dysponuje dużym napięciem, ale jeśli jest to na przykład 12-woltowy akumulator samochodowy, taki przewód zabierze jedną czwartą dostępnego napięcia.

Teraz już wiesz, dlaczego okablowanie w samochodach nie należy do cienkich — celem jest zredukowanie strat napięcia w instalacji o napięciu 12 V.

## PODSTAWY: Ułamki dziesiętne

Legendarny brytyjski polityk sir Winston Churchill jest znany ze swojego narzekania na temat „tych przeklętych kropek”. Odnosił się w ten sposób do miejsc dziesiętnych. Ponieważ w tym czasie Churchill był ministrem skarbu państwa, a zatem odpowiadał za wszystkie wydatki rządu, jego trudności z radzeniem sobie z ułamkami stanowiły pewnego rodzaju problem. Mimo to poradził sobie z nim w starym, dobrym, brytyjskim stylu. Skoro on sobie poradził, i Ty możesz.

Założymy, że ułamek dziesiętny występuje w operacji dzielenia. Wykonanie działania możesz ułatwić, przesuwając separator dziesiętny z dzielnika do dzielnej. Ustalając wartość rezystora i wykonując działanie  $7 / 0,02$ , mógłbyś przesunąć separator dziesiętny o dwa miejsca w prawo i uzyskać równoważne działanie:

$$7 / 0,02 = 700 / 2$$

Uzyskane działanie jest o wiele łatwiejsze do wykonania w pamięci. Zwróć uwagę, że przesuwanie separatora ułamków dziesiętnych poza ostatnią cyfrę wiąże się z dodaniem do niej odpowiedniej liczby zer. Przesuwając separator dziesiętny liczby 7,0 o dwa miejsca w prawo, otrzymamy 700.

A jeżeli ułamki dziesiętne występują w operacji mnożenia? Co, jeżeli chcesz wykonać mnożenie liczb 0,03 i 0,002? Tym razem separator dziesiętny należy przesunąć w odwrotnym kierunku:

$$0,03 \times 0,002 = 3 \times 0,000002$$

Wynikiem jest 0,00006. Jeżeli działania te nadal są zbyt trudne, to możesz je wykonać za pomocą kalkulatora, ale czasem szybciej jest obliczyć pewne wartości w pamięci lub za pomocą kartki i długopisu.

## TEORIA: Matematyka a Twój język

Powróć jeszcze raz do pytania, które zadałem przy okazji poprzedniego eksperymentu: dlaczego Twój język się nie rozgrzał?

Teraz, kiedy znasz prawo Ohma, możesz wywnioskować przyczynę na podstawie liczb. Założmy, że bateria dostarcza faktycznie 9 woltów, a Twój język ma rezystancję rzędu  $50 \text{ k}\Omega$ , czyli  $50\,000 \text{ omów}$ . Zapisz to, co wiemy:

$$U = 9$$

$$R = 50\,000$$

Chcemy poznać wartość płynącego prądu, zatem używamy wersji prawa Ohma z prądem po lewej stronie równania:

$$I = U / R$$

Podstawiamy wartości:

$$I = 9 / 50\,000 = 0,00018 \text{ ampera}$$

Przesuń miejsce dziesiętne o trzy miejsca, aby przekonwertować tę wartość na miliampery:

$$I = 0,18 \text{ mA}$$

Jest to prąd o bardzo małej wartości i nie wyprodukuje zbyt dużo ciepła przy 9 woltach.

A co z przypadkiem, kiedy zwarłeś baterię? Jaka wartość prądu doprowadziła do rozgrzania przewodów? Założmy, że przewody mają rezystancję rzędu 0,1 oma (prawdopodobnie faktyczna wartość jest jeszcze mniejsza, ale przyjmiemy, że jest to faktycznie 0,1). Zapisujemy to, co wiemy:

$$U = 1,5$$

$$R = 0,1$$

Ponownie, chcemy znaleźć wartość płynącego prądu, zatem używamy wzoru:

$$I = U / R$$

Podstawiamy wartości:

$$I = 1,5 / 0,1 = 15 \text{ amperów}$$

To prąd o wartości ponad 100 000 razy większej niż ten, który płynął przez Twój język, co spowodowało wygenerowanie znacznie większej ilości ciepła, mimo że napięcie było mniejsze.

Prąd o natężeniu 15 amperów może być pobierany przez grzejniki lub elektronarzędzia o dużej mocy, takie jak np. piła stołowa. Czy taka mała bateria faktycznie była w stanie wydobyć z siebie 15 amperów? Nie mogę zmierzyć tego natężenia za pomocą mojego miernika, ponieważ prąd o natężeniu 15 A powodowałby przepalenie bezpiecznikaabezpieczającego gniazdo pozwalające na pomiar maksymalnego prądu 10 A. Powtóryłem opisany wcześniej eksperyment, ale zamiast 3-amperowego bezpiecznika zastosowałem 10-amperowy. Bezpiecznik ten nie został przepalony.

Dlaczego tak się stało? Prawo Ohma twierdzi, że natężenie powinno wynosić 15 A, ale z jakiegoś powodu jest niższe. Może rezystancja przewodu koszyka baterii była wyższa od  $0,1 \Omega$ ? Nie, naprawdopodobniej była niższa od tej wartości. Co ograniczało prąd? Dlaczego był on niższy od wartości przewidywanej na podstawie prawa Ohma?

Wszystko, **nawet bateria**, charakteryzuje się jakąś rezystancją. Pamiętaj o tym, że bateria jest aktywnym elementem obwodu.

Czy pamiętasz, że po zwarciu przewodów przewody oraz bateria nagrały się? Bateria z pewnością charakteryzuje się jakąś **rezystancją wewnętrzną**. Można ją pomijać w przypadku pracy z małymi prądami wyrażanymi w miliamperach, ale w przypadku wyższych prądów rezystancja ta wpływa na pracę obwodu.

Właśnie dlatego przestrzegałem przed używaniem większej baterii (w szczególności akumulatora samochodowego). Większe baterie mają znacznie

mniejszą rezystancję wewnętrzną, pozwalając na przepływ niebezpiecznie wielkich prądów generujących ilość ciepła, która może doprowadzić wręcz do eksplozji. Akumulator samochodowy jest zaprojektowany do dostarczania wręcz setek amperów, kiedy następuje rozruch silnika. Prąd dostarczany przez akumulator wystarczyłby do spawania metalu.

Również baterie litowe mają małą rezystancję wewnętrzną, co czyni je bardzo niebezpiecznymi przy zwarciu. Prąd o dużym natężeniu może być równie niebezpieczny, jak wysokie napięcie. Oto wniosek, który warto zapamiętać:

- Wysokie natężenie prądu nie jest tak niebezpieczne jak wysokie napięcie prądu, ale wciąż jest ono niebezpieczne.

## PODSTAWY: Waty

Nie wspomniałem jeszcze o jednostce, która jest znana wszystkim jako wat.

Wat jest jednostką mocy. Inżynierowie mają swoją własną definicję pracy — mówią, że praca jest wykonywana, kiedy człowiek, zwierzę lub maszyna popycha coś, pokonując opór mechaniczny. Przykładami takiej pracy mogłyby być: maszyna parowa ciągnąca pociąg na płaskich torach (pokonując tarcie i opór powietrza) lub osoba wchodząca po schodach (pokonując siłę grawitacyjną).

Moc jednego wata jest osiągana w wyniku wykonania pracy jednego **dżuła** przez jedną sekundę. Pracę oznaczamy literą W, a moc literą P, a więc:

$$W = P \times s$$

Po zamianie kolejności elementów otrzymujemy wzór:

$$P = W / s$$

Kiedy elektryny „przepychają” się przez obwód, pokonują pewien rodzaj rezystancji, zatem wykonują pracę, która może być zmierzona i wyrażona w watach. Definicja jest prosta:

$$\text{waty} = \text{wolty} \times \text{ampery}$$

Można ją również wyrazić, używając odpowiednich symboli. Trzy poniższe formuły mają takie samo znaczenie:

$$P = U \times I \quad (\text{waty} = \text{wolty} \times \text{ampery})$$

$$U = P / I$$

$$I = P / U$$

Waty, podobnie jak wolty, mogą być poprzedzone przedrostkiem „m” oznaczającym „mili”, „k” oznaczającym „kilo” i „M” oznaczającym „mega”. W megawatach wyraża się zwykle moc dużych urządzeń, takich jak generatory pracujące w elektrowniach. Wielkiej litery „M” służącej do określania megawatów nie należy mylić z małą literą „m” służącą do wyrażenia miliwatów. W tabeli 1.5 przedstawiono konwersję wartości pomiędzy miliwatami, watami i kilowatami.

**Tabela 1.5.** Konwersja wielokrotności watów

Liczba miliwatów	Liczba watów	Liczba kilowatów
<b>1 mW</b>	0,001 W	0,000001 kW
10 mW	0,01 W	0,00001 kW
100 mW	0,1 W	0,0001 kW
1 000 mW	<b>1 W</b>	0,001 kW
10 000 mW	10 W	0,01 kW
100 000 mW	100 W	0,1 kW
1 000 000 mW	1 000 W	<b>1 kW</b>

Moc żarówek jest wyrażana w watach, podobnie moc kolumn głośnikowych. Wat pochodzi od nazwiska Jamesa Watta, wynalazcy maszyny parowej. Nawiąsem mówiąc, wartość mocy wyrażoną w watach można przekonwertować na odpowiednik w koniach mechanicznych i odwrotnie.

Wspomniałem wcześniej, że rezystory są zazwyczaj ustawione w szeregu dopuszczalnej mocy, który zawiera takie wartości jak 0,25 W, 0,5 W, 1 W itd. Zasugerowałem, abyś kupił rezystory o mocy 0,25 W lub wyższej. Skąd miałem taką wiedzę?

Wróćmy do obwodu z diodą LED. Jak pamiętasz, chcieliśmy, aby rezystor wywoływał spadek napięcia o 7 woltów przy prądzie rzędu 20 mA. Jaką mocą musi charakteryzować się ten rezystor?

Zapiszmy to, co wiemy:

$$U = 7 \text{ (spadek napięcia na rezystorze)}$$

$$I = 20 \text{ mA} = 0,02 \text{ A}$$

Chcemy poznać P, zatem używamy wzoru:

$$P = U \times I$$

Podstawiamy wartości:

$$P = 7 \times 0,02 = 0,14 \text{ W}$$

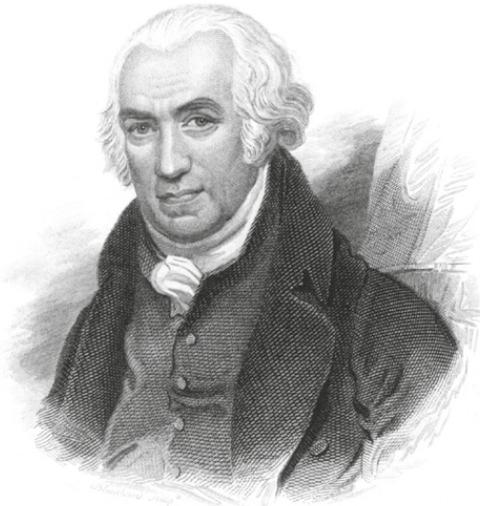
Obliczyliśmy moc pobieraną przez rezystor.

Rezystor o mocy 0,25 W będzie miał w takim przypadku czterokrotnie większy zapas. Mógłbyś właściwie użyć również rezystora o mocy 0,125 W, ale w kolejnych eksperymentach będziemy potrzebować takich o mocy 0,25 W, a nic nie stoi na przeszkodzie, aby używać rezystorów o większej mocy, nawet jeśli dany obwód elektryczny nie stawia takich wymagań. Rezystory te są po prostu nieco większe i droższe.

## PODSTAWY: Początki mocy

Urodzony w Szkocji w roku 1736 James Watt (patrz rysunek 1.58) jest znany jako wynalazca maszyny parowej. Watt urządził sobie małą pracownię na uniwersytecie w Glasgow, gdzie usiłował doprowadzić do doskonałości projekt efektywnego użycia maszyny parowej do poruszania tłokiem w cylindrze. Problemy finansowe oraz słabo rozwinięta wówczas sztuka formowania metali opóźniły pomyślne zakończenie prac aż do roku 1776.

Pomimo trudności w uzyskaniu patentów (które w owym czasie mogły być przyznane jedynie aktrem parlamentu) Watt i jego partner biznesowy w końcu zarobili spore pieniądze na jego innowacji. Mimo że on sam pojawił się na kartach historii jeszcze przed erą elektryczności, w 1889 roku (70 lat po śmierci) jego nazwisko zostało użyte do oznaczenia



**Rysunek 1.58.** Wkład Jamesa Watt'a w rozwój maszyny parowej umożliwił rewolucję przemysłową. Po śmierci został uhonorowany przez nadanie jego nazwiskiem podstawowej jednostki mocy elektrycznej

podstawowej jednostki mocy elektrycznej, która definiowana jest jako iloczyn natężenia i napięcia.

## Sprzątanie i recyklikacja

Diodę możesz wyrzucić. Cała reszta nadaje się do ponownego użycia.

## Eksperyment 5: Zróbmy własną baterię

Dawno temu, zanim wymyślono surfowanie po sieci, współdzielenie plików czy choćby telefony komórkowe, dzieci były do tego stopnia pozbawione zajęcia, że próbowały same wypełnić sobie czas eksperymentami kuchennymi, takimi jak tworzenie prymitywnej baterii przez wciskanie gwoździa i małej monety do cytryny. Trudno w to uwierzyć? Być może, ale to prawda!

Współczesne diody LED emittują światło, pobierając prąd o natężeniu zaledwie kilku miliamperów, a więc eksperyment ten wspólnie może być jeszcze bardziej interesujący. Jeżeli nie wykonywałeś go nigdy wcześniej, to właśnie nadszedł na to odpowiedni czas.

## Potrzebne będą:

- cytryny, liczba: 2, lub butelka (0,25) czystego soku wyciśniętego z cytryn, liczba: 1,
- monety pokryte miedzią, takie jak np. eurocentówki, liczba: 4,
- stalowe kątowniki pokryte cynkiem, o długości co najmniej 2,5 cm, znajdziesz je w sklepie budowlanym, liczba: 4,
- przewody obustronnie zakończone końcówkami typu krokodyl, liczba: 5,
- multimeter, liczba: 1,
- niskoprądowa dioda LED, liczba: 1 (informacje na temat różnic pomiędzy standardowymi a niskoprądowymi diodami LED znajdziesz w sekcji „Diody elektroluminescencyjne (LED)” znajdującej się w tym rozdziale).

## Przygotowania

Bateria jest **elektrochemicznym** źródłem prądu — prąd wytworzony jest w wyniku reakcji chemicznych. Oczywiście do reakcji takiej dochodzi tylko pomiędzy określonymi substancjami. W eksperymencie będą to: miedź, cynk i sok z cytryny.

Zdobycie soku z cytryny nie powinno stanowić problemu. Cytryny są tanie, a w każdym sklepie znajdziesz małe plastikowe butelki ze skoncentrowanym sokiem z cytryny. Obie formy soku sprawdzą się w naszym eksperymencie.

Monety jednocołtowe nie są wytwarzane z miedzi, ale są nią pokrywane, co wystarczy nam do przeprowadzenia eksperymentu. Postaraj się o w miarę nową i czystą monetę. Utleniając się, miedź nabiera ciemnego, brązowego koloru — stare monety nie nadadzą się do przeprowadzenia tego eksperymentu.

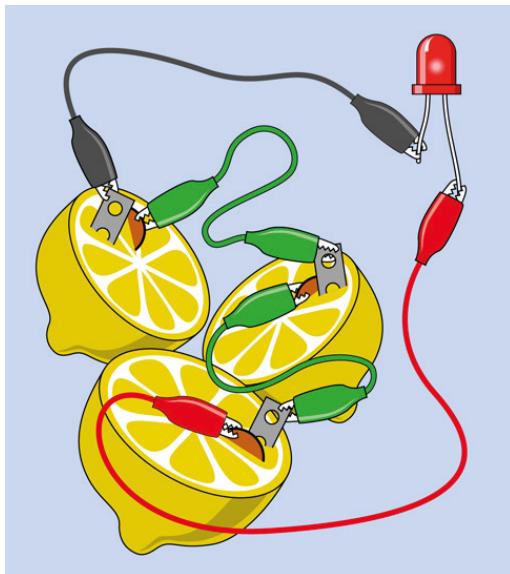
Zdobycie elementu cynkowego stanowi nieco większe wyzwanie. Potrzebujesz jakiegoś **galwanizowanego**, metalowego elementu (element taki jest pokryty cynkiem w celu zabezpieczenia go przed korozją). W sklepie z artykułami budowlanymi zapytaj o małe, galwanizowane, stalowe kątowniki.

Potrzebujesz kątownika o boku długości przynajmniej 2,5 cm.

## Test cytryny — część I

Przetnij cytrynę na pół i włóż w nią jednocołtówkę. Teraz w miąższ cytryny wsuń element cynkowy. Oba przedmioty powinny znajdować się blisko siebie, ale nie mogą się stykać. Ustaw swój miernik na pomiar napięcia stałego, rzędu dwóch woltów, i chwyć jedną końcówką element miedziany, a drugą cynkową. Na swoim mierniku powinieneś odczytać napięcie pomiędzy 0,8 a 1 V.

Aby oświetlić typową diodę LED, potrzeba więcej niż jednego volta. W jaki sposób wygenerować dodatkowe „ciśnienie” elektryczne? Oczywiście, przez ułożenie baterii w szereg. Innymi słowy, trzeba więcej cytryn! Będziesz również potrzebował przewodów, aby połączyć ze sobą poszczególne elektrody tak, jak pokazano na rysunku 1.59. Zwróć uwagę, że każdy przewód łączy element miedziany z elementem cynkowym. Nie łącz ze sobą dwóch elementów wykonanych z tego samego materiału.



Rysunek 1.59. Bateria złożona z trzech cytryn powinna wygenerować napięcie pozwalające na zasilenie niskoprądowej diody LED

Jeśli ustawisz wszystko tak jak trzeba, umieszczając elektrody blisko siebie i upewniając się, że żadna z elektrod nie dotyka swojego sąsiada, być może będziesz w stanie zaświecić diodę przy użyciu baterii składającej się z trzech połączonych szeregowo cytryn.

Innym rozwiązaniem jest zastosowanie plastikowego pojemnika z przegródkami (patrz rysunek 1.60). Po umieszczeniu w nim metalowych elementów wlej w przegródki trochę skoncentrowanego soku cytrynowego. Zamiast soku cytrynowego możesz użyć także octu lub soku z grejpfruta.



**Rysunek 1.60.** Sok z cytryny w butelce wydaje się działać równie dobrze co ten wyciągnięty z samego owocu, ale oparta na nim bateria nie będzie wyglądała tak dobrze; tę czteroogniwową baterię utworzyłem na bazie pudelka z przegrodami

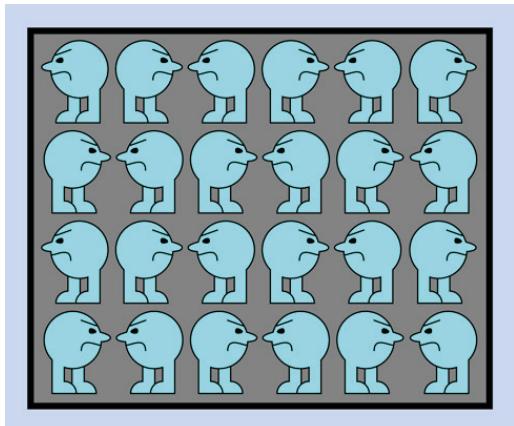
Moja bateria składa się z czterech ogniw, ponieważ podłączenie do niej diody LED powoduje spadek napięcia, a bateria dostarcza prąd o tak niskim natężeniu, że nie spowoduje on uszkodzenia diody LED. Zbudowana przeze mnie bateria zadziałała natychmiast.

## TEORIA: Natura elektryczności

Aby zrozumieć elektryczność, musisz zacząć od pewnej podstawowej wiedzy na temat atomów. Każdy atom składa się z jądra zawierającego protony o dodatnim ładunku elektrycznym. Jądro jest otoczone przez elektrony o ujemnym ładunku elektrycznym.

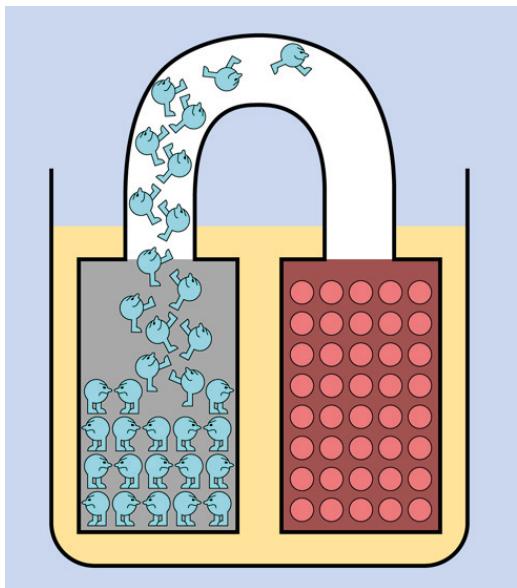
Rozerwanie jądra atomu wymaga sporo energii, ale jednocześnie prowadzi do uwolnienia sporej dawki energii — dzieje się tak w trakcie wybuchu jądrowego. O wiele mniej energii wymaga przekonanie kilku elektronów, aby opuściły atom (lub złączyły się z nim). Dla przykładu, kiedy cynk reaguje chemicznie z kwasem, jest w stanie uwolnić elektrony. Taka sytuacja ma miejsce w przypadku cynkowej elektrody baterii chemicznej z eksperymentu numer pięć.

Reakcja tego typu ulega szybko zatrzymaniu, elektrony akumulują się na elektrodzie cynkowej. Czują one siłę wzajemnego odpychania, ale nie mają żadnego miejsca, w które mogłyby się udać. Możesz wyobrazić je sobie jako tłum wrogich osób, z których każda chce, aby cała reszta sobie poszła, i żadna nie chce, aby dołączył do nich ktoś nowy (patrz rysunek 1.61).



**Rysunek 1.61.** Elektrony na elektrodzie mają „złe” podejście, znane jako wzajemne odpychanie

Zastanów się teraz, co się stanie, kiedy do cynkowej elektrody, posiadającej nadwyżkę elektronów, podłączony zostanie przewód łączący ją z inną elektrodą, która ma niedobór elektronów. Elektrony mogą bardzo łatwo przejść przez przewód, skacząc z jednego atomu na kolejny. Uciekają zatem z elektrody cynkowej i biegą przez przewód, napędzane swoim wielkim pragnieniem odsunięcia się od wszystkich pozostałych. Zobacz rysunek 1.62. Ta wzajemna siła napędowa jest sprawcą prądu elektrycznego.



Rysunek 1.62. Elektryny elektrody cynkowej uciekają do elektrody miedzianej

Teraz, kiedy populacja elektronów na elektrodzie cynkowej została zredukowana, kontynuowana może być reakcja chemiczna między cynkiem i kwasem, prowadząc do zastąpienia brakujących elektronów nowymi, które natychmiast pójdu w ślady swoich poprzedników i spróbują oddalić się od siebie, biegając przez przewód. Sila ruchu elektronów jest na tyle duża, że po przepuszczeniu ich przez diodę LED uwolnią one część swojej energii poprzez emisję światła.

Cały proces będzie kontynuowany do momentu ustania reakcji chemicznej między cynkiem a kwasem, zazwyczaj ze względu na powstanie na powierzchni elektrody bariery w postaci tlenku cynku, która nie wchodzi w reakcję z kwasem i zapobiega reakcji z cynkiem znajdującym się w głębi elektrody. (Właśnie z tego powodu Twoja elektroda może wyglądać na okopconą po wyjęciu jej z płynu elektrolitycznego).

Ten opis ma zastosowanie do „**podstawowej baterii**”, tzn. takiej, która jest gotowa do generowania prądu, kiedy tylko połączenie pomiędzy jej końcówkami pozwoli elektronom na przejście z jednej elektrody

do drugiej. Ilość prądu, jaką jest w stanie wygenerować podstawowa bateria, wynika z szybkości uwalniania elektronów przez zachodzące w środku reakcje chemiczne. Kiedy surowy metal w elektrodach zostanie zużyty przez reakcje chemiczne, bateria nie jest w stanie wygenerować więcej prądu i staje się bezużyteczna. Nie może zostać ponownie naładowana, ponieważ zachodzących w niej reakcji chemicznych nie da się cofnąć w prosty sposób, a elektrody są już najprawdopodobniej utlenione.

W baterii wielokrotnego ładowania, znanej również jako **bateria drugiego rzędu**, bardziej przemyślany dobór elektrod i płynu elektrolitycznego pozwala na odwrócenie reakcji chemicznych.

## PODSTAWY: Dodatni i ujemny

Jeżeli elektryczność to przepływ elektronów mających ujemny ładunek, to dlaczego we wcześniejszych eksperymentach pisałem o niej jako o przepływie z dodatniej do ujemnej końcówki baterii?

Odpowiedź tkwi w fundamentalnej pomyłce, jaką popełniono u samych początków odkrywania elektryczności. Z różnych powodów, kiedy Benjamin Franklin próbował zrozumieć naturę prądu elektrycznego przez studiowanie zjawisk takich jak błyskawice w czasie burzy, doszedł do przekonania, że obserwuje „elektryczną ciecz” płynącą z dodatniego do ujemnego źródła. Taką koncepcję zaproponował w roku 1747.

W rzeczywistości popełnił niefortunny błąd, który pozostał nienaprawiony do chwili, kiedy fizyk J.J. Thomson ogłosił swoje odkrycie elektronu w 1897 roku, czyli 150 lat później. Faktycznie prąd płynie z obszaru o większym ujemnym ładunku elektrycznym do obszaru, który jest „mniej ujemny” — czyli „bardziej dodatni”. Innymi słowy, elektryczność to przepływ częstek naładowanych ujemnie. W baterii pochodzą one z końcówki ujemnej i płyną w kierunku końcówki dodatniej.

Być może pomyślałeś, że kiedy odkryto ten fakt, wszyscy powinni byli odrzucić ideę Franklina

przepływu od potencjału dodatniego do ujemnego. Kiedy jednak elektron porusza się przez przewód, możesz wyobrazić sobie równoważny dodatni ładunek poruszający się w kierunku przeciwnym. Kiedy elektron opuszcza swój dom, zabiera ze sobą mały ładunek ujemny, a zatem jego dom pozostaje naładowany odrobinę dodatnio. Kiedy elektron dotrze do swojego celu, jego ujemny ładunek sprawi, że to miejsce docelowe stanie się odrobinę mniej dodatnie. Mniej więcej coś takiego miałoby miejsce, gdyby domniemana dodatnia cząsteczka podróżowała w kierunku przeciwnym. Co więcej, cały mechanizm matematyczny opisujący zjawisko elektryczności będzie nadal prawidłowy, jeśli zastosujesz go do wyimaginowanego przepływu ładunków dodatnich.

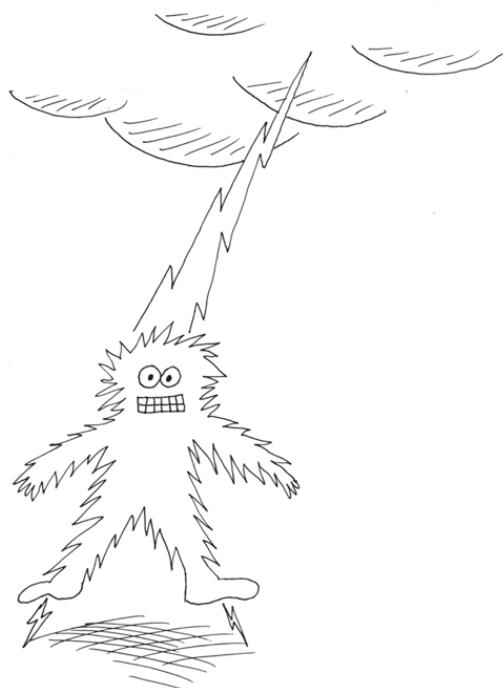
Ze względu na tradycję i przyzwyczajenia nadal utrzymujemy w mocy błędny koncepcja Benja Franklina przepływu ładunku od pozytywnego do negatywnego źródła, chociaż tak naprawdę nie ma on znaczenia.

Przy symbolach opisujących takie komponenty jak diody i tranzystory znajdziesz strzałki wskazujące, w jaki sposób te komponenty powinny być podłączone — te strzałki wskazują od miejsca dodatniego w kierunku ujemnego, mimo że w praktyce sytuacja wygląda inaczej!

Ben Franklin byłby zaskoczony, dowiadując się, że chociaż większość błyskawic występuje, kiedy ujemnie naładowane chmury rozładowują się, neutralizując dodatni ładunek ziemi, niektóre formy wyładowań są w rzeczywistości przepływem elektronów z ujemnie naładowanej powierzchni ziemi w górę do pozytywnego ładunku w chmurach. Tak, to prawda: ktoś, kto został „porażony przez błyskawicę”, mógł doznać obrażeń w wyniku **emitowania** elektronów, a nie ich absorpcji (patrz rysunek 1.63).

## TEORIA: Podstawy pomiarów

Teraz przedstawię definicję, jaką znajdziesz na samym początku prawie wszystkich książek dotyczących podstaw elektroniki.



**Rysunek 1.63.** W pewnych warunkach pogodowych przepływ elektronów podczas wyładowania elektrycznego może następować od podłoża, poprzez Twoje stopy, a następnie głowę w kierunku chmur. Ta informacja zaskoczyłaby zapewne Benjamina Franklina

Ladunek elektryczny jest mierzony przez sumowanie ładunków pojedynczych elektronów. Podstawową jednostką jest **kulomb**, będący równoważnikiem całkowitego ładunku 6 241 509 629 152 650 000 elektronów.

Jeżeli wiesz, ile elektronów przepływa przez kawałek przewodu w każdej sekundzie, masz pojęcie o przepływie prądu (natężeniu) mierzonym w amperach. Dokładnie mówiąc, jeden amper można zdefiniować jako jeden kulomb na sekundę, stąd:

$$1 \text{ amper} = 1 \text{ kulomb/sekundę}$$

$$= \text{około } 6,24 \text{ kwintyliona elektronów/sekundę}$$

Nie ma możliwości „zobaczenia” takiej liczby elektronów płynących przez przewodnik, ponieważ elektrony są mniejsze od długości fali światła widzialnego, jest ich zbyt wiele i poruszają się zbyt szybko, ale istnieją pośrednie sposoby wywnioskowania tej

informacji. Na przykład, kiedy elektron „przebiega” przez przewód elektryczny, tworzy wokół siebie falę siły elektromagnetycznej. Tę siłę można zmierzyć i przeliczyć na wartość w amperach. Na tej zasadzie działa licznik prądu zamontowany w Twoim domu przez przedstawiciela firmy energetycznej.

Sila, której potrzebujemy, aby przepchnąć przez niego elektrony, określana jest mianem „napięcia” i tworzy przepływ prądu, który może generować ciepło, o czym przekonateś się, zwierając baterię. (Gdyby przewód, którego używałeś, miał zerową rezystancję, przepływający przez niego prąd nie wygenerowałby żadnego ciepła). Wygenerowane ciepło możemy wykorzystać w sposób bezpośredni, jak ma to miejsce w piecach elektrycznych. Innym zastosowaniem dla energii elektrycznej jest na przykład poruszanie silników. Tak czy inaczej, wydobywamy energię z elektronów w celu wykonania pewnej pracy.

Jeden wolt można zdefiniować jako ilość ciśnienia potrzebną do wytworzenia przepływu o natężeniu 1 ampera, który wykona pracę 1 wata. Zgodnie z naszą poprzednią definicją, 1 wat = 1 wolt × 1 amper, chociaż faktyczna definicja powstała w trochę inny sposób:

$$1 \text{ wolt} = 1 \text{ wat}/1 \text{ amper}$$

Takie podejście jest bardziej znaczące, ponieważ wat może być zdefiniowany w sposób niezwiązany z elektrycznością. Jeśli jesteś zainteresowany, możemy prześledzić cały proces, posługując się jednostkami systemu metrycznego:

$$1 \text{ wat} = 1 \text{ dżul}/\text{sekundę}$$

*1 dżul równa się sile 1 niutona działającego na odcinku 1 metra*

*1 niuton równa się sile potrzebnej do przesunięcia 1 kilograma masy o 1 metr na sekundę, w każdej sekundzie*

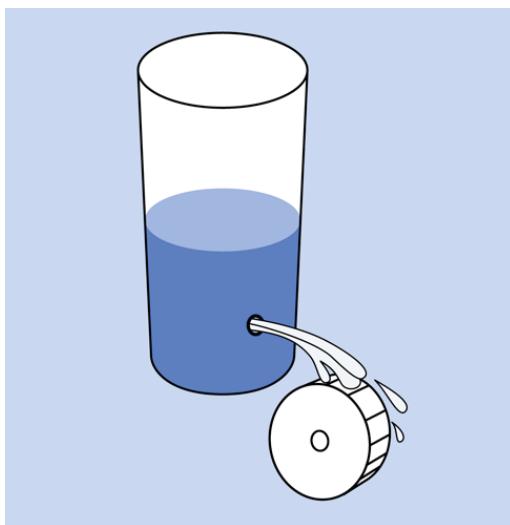
Na tej podstawie można wyrazić wszystkie jednostki elektryczne poprzez obserwację masy, czasu i ładunku elektrycznego.

## Mówiąc praktycznie

Bardziej użyteczne od teoretycznej wiedzy wydaje się być intuicyjne rozumienie elektryczności. Oso-biście lubię analogie związane z wodą, które od wieków stosowane są w książkach poświęconych elektryczności.

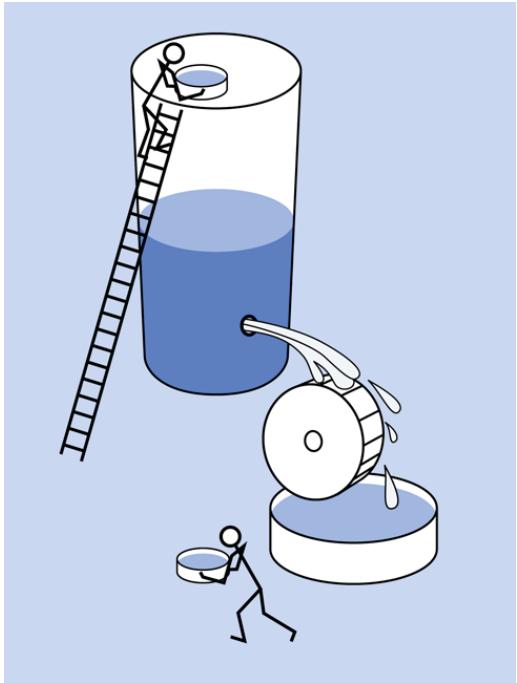
Na rysunku 1.30 pokazałem, że ilość wody przepływająca przez otwór na sekundę odpowiada natężeniu prądu, a wysokość słupa wody odpowiada napięciu. Rozmiar otworu odpowiada rezystancji.

Gdzie na tym obrazku widać moc? Założymy, że w pobliżu zbiornika umieścimy koło młynskie poruszane strumieniem wody wypływającym z dziury (patrz rysunek 1.64). Do koła mógłbyś przyczepić jakieś urządzenie mechaniczne. Teraz przepływająca woda wykonuje pewną pracę (pamiętaj, że moc jest miarą pracy).



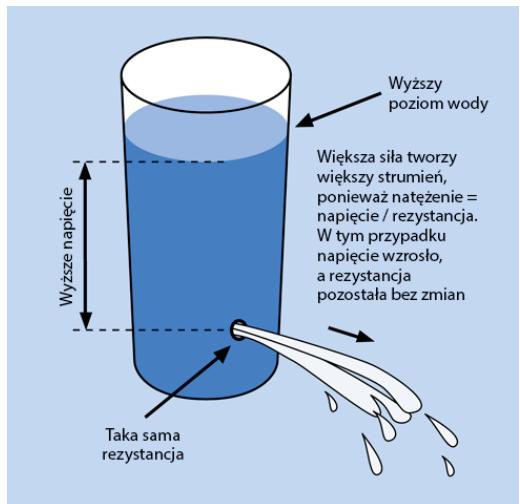
**Rysunek 1.64.** Strumień wody wykonuje pracę i przekazuje energię kołu; pracę wykonaną w jednostce czasu można wyrazić w watach

Być może wygląda to tak, jakbyśmy uzyskiwali coś z niczego, wydobywali pracę z koła młynskiego bez wkładania energii z powrotem do systemu. Pamiętaj jednak, że poziom wody w zbiorniku spada. Kiedy tylko dołączę pewnych pomocników wlewających zużytą wodę z powrotem do zbiornika z jego szczytu (patrz rysunek 1.65), zobacysz, że musimy włożyć pewną pracę, aby następnie ją odzyskać.



**Rysunek 1.65.** Aby system mógł wykonywać pracę, musisz najpierw w jakiś sposób włożyć w niego pracę

Podobnie bateria wydaje się dawać moc bez przyjmowania niczego w zamian, ale tak naprawdę energię czerpiemy dzięki zachodzącym w jej środku reakcjom chemicznym, które zmieniają czyste metale

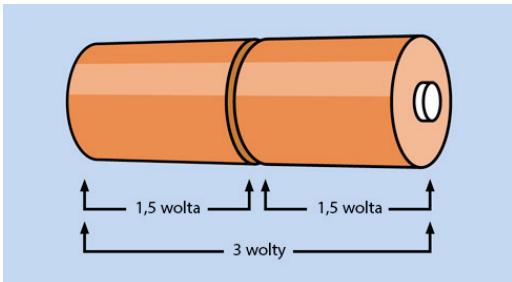


**Rysunek 1.66.** Zwiększenie ilości dostępnej wody zwiększy jej ciśnienie

w ich związkach. Jeżeli jest to bateria, którą można ładować wielokrotnie, musimy dostarczyć jej z powrotem energii, aby odwrócić reakcje chemiczne, które wcześniej były źródłem energii.

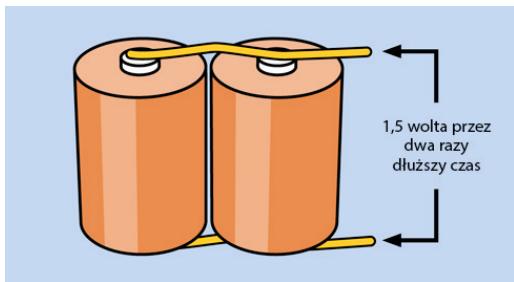
Wracając do zbiornika z wodą, założymy, że nie jesteśmy w stanie wydobyć z niej dostatecznie dużo energii, aby obrócić kołem. Jednym z rozwiązań tego problemu byłoby dolanie większej ilości wody. Zwiększenie wysokości słupa wody stworzy większą siłę (patrz rysunek 1.66).

Odpowiadałoby to połączeniu dwóch baterii w szereg, pozytywnym końcem do ujemnego, i podwojeniu w ten sposób napięcia (patrz rysunek 1.67). Dopóki rezystancja w obwodzie pozostaje bez zmian, większe napięcie wygeneruje większe natężenie prądu, ponieważ natężenie = napięcie/rezystancja.



**Rysunek 1.67.** Kiedy połączysz dwie w pełni naładowane baterie szeregowo, podwoisz napięcie

A co, jeśli chcemy obracać dwoma kołami zamiast jednym? Możemy wybrać drugą dziurę w zbiorniku i wtedy siła (napięcie) przy obu z nich będzie taka sama, ale poziom wody w zbiorniku będzie spadał dwa razy szybciej. W rzeczywistości byłoby lepiej, gdybyśmy zbudowali drugi zbiornik, i tutaj również pojawia się analogia do baterii. Jeżeli połączymy równolegle dwie baterie, otrzymamy to samo napięcie, ale na dwa razy dłuższe. Dwie baterie mogą również dostarczyć więcej prądu niż w przypadku użycia tylko jednej z nich (patrz rysunek 1.68).



Rysunek 1.68. Baterie połączone równolegle dostarczą takiego samego napięcia, ale w czasie dwa razy dłuższym; takie rozwiązanie pozwala na dostarczanie do obwodu prądu o dwa razy większym natężeniu (w porównaniu z pojedynczą baterią)

Podsumowując:

- Dwie baterie połączone szeregowo dostarczą dwukrotnie więcej napięcia.
- Dwie baterie połączone równolegle mogą dostarczyć dwukrotnie większe natężenie prądu lub dostarczać prąd o niezmienionym natężeniu przez dwa razy dłuższy czas.

Myślę, że wystarczy tej teorii na teraz. W następnym rozdziale będziemy kontynuować eksperymenty bazujące na naszej wiedzy odnośnie podstaw elektryczności i kierujące nas stopniowo w kierunku gadżetów, które dają dużo zabawy i jednocześnie mogą być użyteczne.

## Sprzątanie i recyklikacja

Części metalowe, które wtykałeś w cytryny lub zanurzałeś w soku z cytryny, mogły utracić swój pierwotny kolor, ale nadal nadają się do użytku. W cytrynach mogły osadzić się jony cynku, a więc nie nadają się one do spożycia.



# Przełączanie i nie tylko

2

W tym rozdziale przedstawię eksperymenty oznaczone numerami od 6 do 11, które związane są z przełączaniem i nie mam tu na myśli wyłącznie przełączników elektrycznych (takich jak kontakty oświetleniowe). „Przełączanie” to używanie jednego strumienia prądu do przełączania lub kontrolowania innego. Jest to tak istotna rzecz, że bez niej nie jest w stanie funkcjonować żaden układ elektroniczny.

W dzisiejszych czasach przełączanie jest realizowane głównie przy użyciu tranzystorów. Zanim do nich dojdziemy, chciałbym zrobić krok wstecz i zilustrować całą koncepcję, ucząc Cię działania przekaźników, które są o wiele prostsze do zrozumienia, ponieważ możesz zobaczyć, co dzieje się w ich wnętrzu. Jeszcze przed przekaźnikami rozprawimy się ze zwykłymi przełącznikami typu włączony/wyłączony — zademonstruję na ich przykładzie bardziej złożone koncepcje. Komponenty zostaną opisane w następującej kolejności: zwykłe przełączniki, przekaźniki, tranzystory.

W tym rozdziale przedstawię również pojęcie pojemności. Pojemność i rezystancja mają fundamentalne znaczenie w obwodach elektronicznych.

## **Lista zakupów: eksperymenty od 6 do 11**

Podobnie jak w przypadku poprzedniej listy zakupów przed zakupem narzędzi i wyposażenia stanowiska pracy zajrzyj do sekcji „Kupowanie narzędzi i wyposażenia” (znajdziesz ją w rozdziale 6.). Jeżeli interesuje Cię zakup zestawu komponentów, to zajrzyj do sekcji „Zestawy” (znajdziesz ją w rozdziale 6.). Jeżeli wolisz szukać komponentów i elementów

eksploatacyjnych w sieci, to zajrzyj do sekcji „Komponenty” (znajdziesz ją w rozdziale 6.).

### **Zestaw małych śrubokrętów (niezbędny)**

Małe części elektroniczne mają często w sobie małutkie śruby. Jeśli spróbujesz je odkręcić zbyt dużym śrubokrętem, doprowadzisz do zniszczenia główki śruby. Ja lubię zestaw śrubokrętów precyzyjnych firmy Stanley o numerze części 66-052, pokazany na rysunku 2.1, ale może to być dowolny zestaw, o ile tylko znajdują się w nim śrubokrety płaskie i krzyżakowe, ale uważam, że jakość stali markowych zestawów śrubokrętów precyzyjnych jest o wiele lepsza.



Rysunek 2.1. Zestaw płaskich i krzyżakowych śrubokrętów precyzyjnych; oczka kratki widocznej są kwadratami o boku długości 2,5 cm

### **Małe kombinerki o długich szczękach (niezbędne)**

Potrzebujesz kombinerki o długich szczękach, których całkowita długość nie przekracza około 5 cm. Będą Ci one potrzebne do precyzyjnego wyginania

drutów i pracy z małymi komponentami, które nie są wygodne do podnoszenia za pomocą palca wskazującego i kciuka. W związku z takim zastosowaniem szczypców nie ma sensu, abyś wydawał na nie dużo pieniędzy. Możesz kupić najlepsze, jakie znajdziesz. Przykład szczypców o długich szczękach pokazano na rysunku 2.2. Zostały one wyposażone w sprężynującą rękęjeść — rozwiązań to nie wszystkim przypada do gustu, ale możesz pozbyć się sprężyny za pomocą drugich kombinerek.



Rysunek 2.2. Długość kombinerek przeznaczonych do pracy z elektroniką nie powinna przekraczać 5 cm

## Szczypce precyzyjne (zalecane)

Szczypce te przypominają nieco kombinerki, ale ich końcówka jest precyzyjnie ścięta. Uważam, że są szczególnie przydatne do uzyskiwania dostępu do gęsto upakowanych komponentów zainstalowanych na płytce prototypowej. Można je znaleźć w sklepach rzemieślniczych jako szczypce przeznaczone do pracy z koralikami. Uważaj, aby nie kupić szczypców z zakrzywionym nosem (są one przeznaczone do wyginania drutu). Potrzebujesz szczypów, którychewnętrzna powierzchnia jest płaska (patrz rysunek 2.3).

## Szczypce do cięcia drutu (niedobędne)

Większość kombinerek jest wyposażona w ostrza przeznaczone do cięcia drutu, ale znajdują się one w pobliżu zawiąsu ich szczęk, a więc nie nadają się do przecinania drutu przyczepionego do jakiegoś



Rysunek 2.3. Szczypce precyzyjne ułatwiają pracę z małymi komponentami

elementu. Podczas pracy wielokrotnie przydadzą Ci się **szczypce do cięcia drutu** takie jak te, które pokazano na rysunku 2.4. Nie powinny one być dłuższe niż 5 cm. Jeżeli nie masz zamiaru przecinać nimi niczego poza miękkimi, cienkimi miedzianymi drutami, to nie muszą one być wysokiej jakości.



Rysunek 2.4. Długość szczypców do cięcia drutu nie powinny przekraczać 5 cm

## Cążki (zalecane)

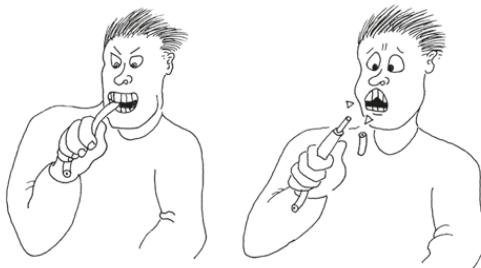
Cążki widoczne na rysunku 2.5 przypominają szczypce do cięcia drutu. Cążki służą do tego samego celu, ale są cieńsze, mniejsze i można nimi operować w mniejszych przestrzeniach. Cążki są jednak mniej wytrzymałe od szczypów do cięcia drutu. Do pracy nad eksperymentami potrzebujesz cążków lub szczypów do cięcia drutu — wybór narzędzia pozostawiam Tobie. Osobiście wolę korzystać ze szczypów do cięcia drutu.



Rysunek 2.5. Cążki pozwalają na pracę tam, gdzie nie sięgają szczypce do cięcia drutu

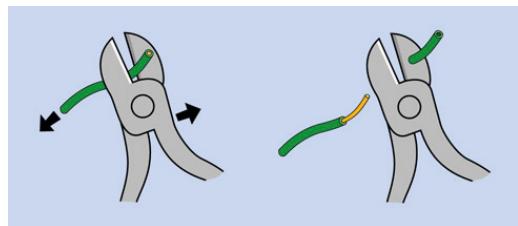
## Szczypce do zdejmowania izolacji (niezbędne)

Będziemy korzystać z drutów pokrytych plastikową warstwą izolatora. **Szczypce do zdejmowania izolacji** pozwalają na usunięcie izolacji z fragmentu drutu i odsłonięcie przewodnika znajdującego się pod izolacją. Niektórzy twierdzą, że prawdziwy „mazco” zdejmie izolację z przewodu bez użycia tego narzędzia, ale moje wybrakowane uzębienie mówi co innego (patrz rysunek 2.6).



Rysunek 2.6. Spieszysz się? Nie możesz znaleźć szczypców do zdejmowania izolacji? Rozwiążanie tych problemów wydaje się oczywiste, ale zdejmowanie izolacji za pomocą zębów nie jest dobrym pomysłem

Izolację możesz zdejmować również za pomocą szczypców do cięcia drutu (patrz rysunek 2.7). Przewód chwyć jedną dłonią, włóż go w szczypce, a następnie odsuń od siebie dlonie. Postugiwanie się szczypcami wymaga pewnej wprawy — szczypce mogą czasem się obsunąć i nie ściągnąć przy tym izolacji albo przeciąć cały przewód.



Rysunek 2.7. Ściąganie izolacji za pomocą szczypców do cięcia drutu

Dodatkowy wydatek kilkunastu złotych na szczypce do zdejmowania izolacji z pewnością ułatwi Ci pracę.

W pierwszym wydaniu tej książki sugerowałem również zakup tzw. automatycznych szczypców do zdejmowania izolacji (szczypce takie można obsługiwać za pomocą jednej ręki). Niestety są one znacznie droższe od standardowych szczypców, a wiele najprostszych modeli niezbyt dobrze radzi sobie ze zdejmowaniem izolacji z drutu o średnicy 0,64 mm, który jest stosowany we wszystkich obwodach opisanych w tej książce. Dlatego w tym wydaniu nie polecam Ci zakupu tego typu szczypców.

Wielu producentów ma w swojej ofercie przyrząd podobny do tego, który pokazano na rysunku 2.8. Niektóre modele wyposażone są w kątowy uchwyt, a uchwyty innych modeli są proste. Wszystkie modele obsługuje się w ten sam sposób: drut należy umieścić we właściwym otworze, zamknąć szczenki, a następnie ściągnąć izolację.



Rysunek 2.8. Zalecane narzędzie tego typu powinno zdejmować izolację z przewodów o średnicach od 0,25 do 0,8 mm

Przed zakupem upewnij się, że szczypce potrafią ściągać izolację z przewodów o stosowanych przez Ciebie średnicach.

W Europie grubość drutu wyrażana jest za pomocą jego średnicy lub pola przekroju. W USA częściej spotyka się znormalizowany system średnic AWG. W systemie tym wyższą liczbą oznacza się cieńsze przewody. W naszych eksperymentach korzystamy z drutów połączeniowych o średnicy 0,64 mm (22 AWG), ponieważ drut o średnicy 0,8 mm (20 AWG) byłby za gruby, a drut o średnicy 0,5 mm (24 AWG) byłby zbyt cienki. Pracę z narzędziem ułatwia to, że będzie ono przystosowane do pracy z drutem o odpowiedniej dla nas grubości. Przyjrzyj się rysunkowi 2.8. Widoczne na nim narzędzie potrafi ściągać izolację z przewodów o średnicach od 0,25 do 0,8 mm. W przedziale tym znajduje się stosowany przez nas drutu. W związku z tym narzędzie to przyda się nam do pracy nad projektami.

## Płytki prototypowe (niezbędne)

**Płytki prototypowe** będą Ci potrzebne dopiero przy pracy nad eksperymentem numer 8, ale chciałbym już teraz przedstawić Ci pewne informacje na ich temat. Płytki prototypowa jest perforowanym plastikowym odlewem. Jej otwory są oddalone od siebie o 2,5 mm. W otwory te można wsuwać zaciski komponentów i druty. Przewodniki ukryte pod warstwą plastiku zwierają ze sobą otwory znajdujące się w tym samym rzędzie.

Płytki prototypowa umożliwia wykonanie pewnych połączeń pomiędzy komponentami niż stosowane wcześniej zaciski typu krokodyl. Płytki prototypowa umożliwia łatwy demontaż komponentów (nie wymaga stosowania spoiwa lutowniczego).

- Będziemy korzystać z płytki prototypowej **niewymagającej wykonywania połączeń lutowniczych**. Płytki prototypowe określa się również nazwą płytki uniwersalne.

Nie ma znaczenia marka ani źródło, z którego kupiłeś płytke, ale musisz kupić płytke, która będzie charakteryzowała się taką samą konfiguracją jak

płytki używana przeze mnie w tej książce. Istnieją trzy rodzaje płyt prototypowych:

**1. Miniatura płytki prototypowa.** Płytkę tę pokazano na rysunku 2.9. Płytki tego typu są często reklamowane jako produkty przeznaczone do współpracy z Arduino. Jest ona wyposażona w zbyt małą liczbę otworów montażowych i nie nadaje się do pracy nad projektami opisanymi w tej książce.

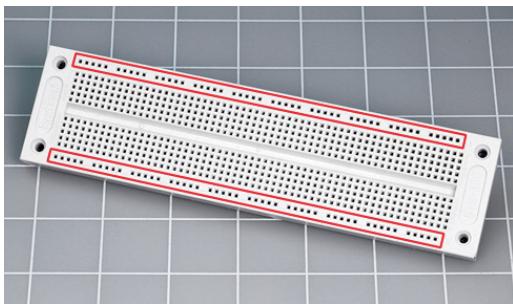


Rysunek 2.9. Miniatura płytki jest zbyt mała do pracy nad projektami opisanymi w tej książce

**2. Płytki prototypowa z pojedynczą szyną zasilającą.** Płytkę tę pokazano na rysunku 2.10. Terminem „szyna” określamy kolumnę otworów biegnącą wzdłuż zewnętrznej krawędzi płytke. Na płytce znajdują się dwie szyny, po jednej szynie na każdej z połówek płytke. Szyny oznaczono na rysunku 2.10 kolorem czerwonym. Takiej płytke potrzebujesz. Rozważając zakup płytke w sklepie internetowym, przyjrzyj się jej fotografii, aby upewnić się, że jest ona wyposażona w pojedyncze szyny zasilające. Twoja płytka powinna mieć 60 rzędów otworów montażowych i 700 punktów połączeniowych (zwanych również węzłami). Jeżeli szukasz płytke w ofercie serwisów aukcyjnych, to w wyszukiwarce serwisu wpisz hasło:

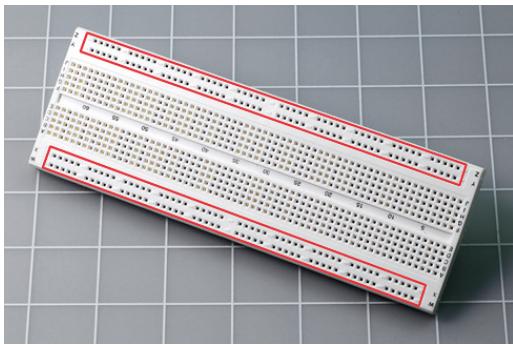
płytki prototypowa stykowa 700

Jeżeli wolisz, to możesz korzystać z płytke z podwójną szyną zasilającą i zignorować dodatkowy rzad otworów.



Rysunek 2.10. Płytki prototypowe z pojedynczą szyną zasilającą biegnącą wzdłuż każdego dłuższego boku płytki

**3. Płytki prototypowe z podwójną szyną zasilającą.** Płytkę tę pokazano na rysunku 2.11. Wzdłuż obu dłuższych boków płytki biegą podwójne szyny zasilające (dwa długie rzędy otworów). Na rysunku 2.11 oznaczono je kolorem czerwonym. Z płytka tego typu korzystałem w poprzednim wydaniu tej książki, ponieważ są one bardziej wygodne, ale później dowiedziałem się, że czytelnicy wykonują wiele błędnych połączeń, tworząc obwody na bazie płytka tego typu. W związku z tym już nie polecam korzystania z nich.



Rysunek 2.11. Płytki prototypowe z podwójną szyną zasilającą biegnącą wzdłuż każdego dłuższego boku płytki (oznaczono je kolorem czerwonym); nie polecam korzystania z płytka tego typu

Już wiesz, jaką płytę powinieneś kupić, ale nie wiesz, ilu takich płytka potrzebujesz. Wcześniej, pamiętając o tym, że płytka może być stosowana wielokrotnie, pisałem, że potrzebna jest tylko jedna, ale od czasów poprzedniego wydania ceny płytka spadły, a więc uważam, że powinieneś rozważyć

zakup dwóch lub trzech płytka. Dysponując kilkoma płytka prototypowymi, będziesz mógł pracować nad kolejnymi projektami bez konieczności wcześniejszego demontażu poprzednich.

## Zaopatrzenie

Jeżeli jesteś zainteresowany zakupem zestawu zawierającego wszystkie komponenty i całe zaopatrzenie, to zajrzyj do sekcji „Zestawy” (znajdziesz ją w rozdziale 6.). Jeżeli wolisz samodzielnie szukać poszczególnych komponentów, to zajrzyj do sekcji „Zaopatrzenie” (znajdziesz ją w rozdziale 6.).

### Drut (niezbędny)

Potrzebujesz drutu nadającego się do wykonywania połączeń na płytce prototypowej. Określa się go mianem **drutu do przyłączania** lub **drutu montażowego**. Jego rdzeń musi być lity, nie korzystaj z przewodów typu linka. Potrzebujesz drutu o średnicy 0,64 mm.

Jest on często sprzedawany w formie szpuli zawierających drut o długości 7,5 lub 30 m (patrz rysunek 2.12).



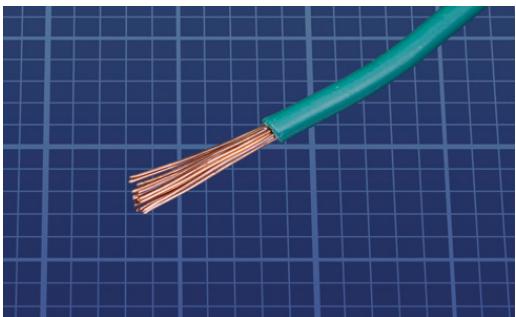
Rysunek 2.12. Drut przyłączeniowy dostępny jest w formie szpuli zawierających 7,5 lub 30 m drutu

Zakup większej szpuli drutu jest bardziej opłacalny, ale radzę Ci kupić kilka mniejszych szpuli o różnych kolorach. Kolory pomagają w odnalezieniu błędnie podłączonego elementu obwodu. Czerwone i niebieskie przewody mogą pełnić funkcję dodatkowych i ujemnych przewodów zasilających, a przewody o innych kolorach mogą pełnić inne funkcje.

Potrzebujesz przewodów, w których w izolacji znajduje się pojedynczy drut (patrz rysunek 2.13). Na rysunku 2.14 pokazano przewód typu linka. Nadaje się on do pewnych zastosowań, o których napiszę za chwilę, ale wpychanie go w otwory płytki prototypowej jest bardzo irytujące.



Rysunek 2.13. Po zdjęciu izolacji Twoim oczom powinien ukazać się pojedynczy, gruby drut



Rysunek 2.14. Przewód typu linka przydaje się w pewnych zastosowaniach (napiszę o nich później)

Pisałem wcześniej, że potrzebujesz przyrządu do usuwania izolacji z drutu o średnicy 0,64 mm (22 AWG). Drut o takiej średnicy pasuje do otworów płytki prototypowej. Cieńszy drut nie będzie w nich siedział stabilnie, a grubszy może okazać się zbyt gruby, aby można go było włożyć w otwór płytki prototypowej. Zbyt gruby drut po włożeniu w otwór płytki prototypowej może zgiąć się, powodując uszkodzenie płytki podczas wyjmowania go z otworu.

Niektóre miedziane druty są pokryte srebrną powłoką. Określa się je mianem przewodów „cynowych”. Inne druty nie są pokryte żadną powłoką. Nie potrafię powiedzieć, które z nich są lepsze.

Ille drutu potrzebujesz? Do wykonania obwodów opisanych w tej książce z zapasem wystarczy Ci po 7,5 m drutu każdego koloru. W eksperymentach numer 26, 28 i 29 będziesz nawijać cewki, badając zależność pomiędzy elektrycznością i magnetyzmem, a także budując własny radioodbiornik. Jeżeli będziesz chciał wykonać te projekty, a myślę, że warto je wykonać, to będziesz potrzebował około 60 m drutu. Drut ten musisz wybrać samodzielnie, ponieważ żaden z zestawów komponentów nie zawiera tak dużej ilości drutu. Więcej informacji na temat kupowania drutu znajdziesz w sekcji „Zaopatrzenie” (znajdziesz ją w rozdziale 6.).

### Przewody połączeniowe

Gdy usuniesz izolację z obu końców drutu z odcinków o długości przynajmniej 0,5 cm, ale nie dłuższych niż 1 cm, a następnie wygniesz odsłonięte końce przewodu, to wykonasz przewód połączeniowy, zwany również **zworką**. Przewód ten może połączyć ze sobą wybrane otwory płytka. Technika ta pozwala na łatwe znalezienie ewentualnych błędów.

Problem w tym, że zdejmowanie izolacji i wyginanie końców drutu jest czasochłonne nawet wtedy, gdy wykonujesz te czynności za pomocą odpowiedniego narzędzia. W związku z tym możesz być zainteresowany zakupem zestawu **gotowych przewodów połączeniowych**. Przykład takiego zestawu pokazano na rysunku 2.15. Więcej informacji na ten temat znajdziesz w sekcji „Komponenty” (znajdziesz ją w rozdziale 6.).



Rysunek 2.15. Zestaw gotowych przewodów połączeniowych

Kiedyś korzystałem z przewodów tego typu, ale przestałem ich używać, ponieważ są one oznaczone kolorami zgodnie z długością, co uniemożliwia np. oznaczenie kolorem czerwonym wszystkich przewodów zasilających komponenty (przewody takie często muszą różnić się długością).

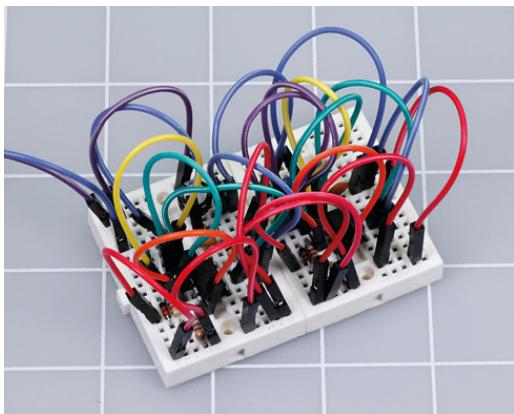
Chcę, aby kolory przewodów były zgodne z ich funkcją w obwodzie. Czerwone przewody powinny być zawsze podłączone do dodatniej szyny zasilającej niezależnie od ich długości.

Cel ten można osiągnąć, przygotowując przewody połączeniowe samodzielnie. Wolę korzystać z samodzielnie przygotowanych przewodów, ale Ty możesz korzystać z gotowych przewodów. Pamiętaj o tym, że poza wadą związaną z ich mylącymi kolorami są one droższe.

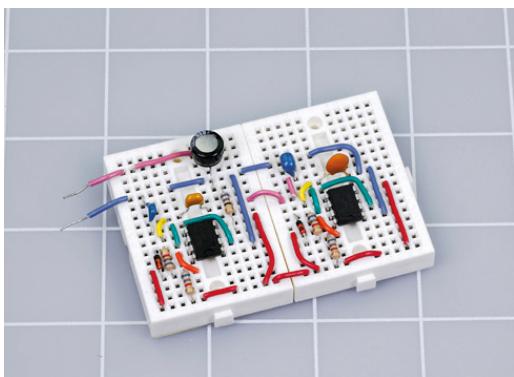
Chciałbym poruszyć jeszcze jedno zagadnienie związane z końcówkami. Wielu konstruktorów korzysta z przewodów połączeniowych obustronnie zakończonych małymi wtykami (pozwalają one na podłączenie przewodu do otworu płytki prototypowej). Przewody tego typu są sprzedawane w zestawach. Szukając przewodów połączeniowych w internecie, prawdopodobnie trafisz na nie od razu po rozpoczęciu poszukiwań.

Są one giętkie i charakteryzują się długością około 7,5 cm, a więc umożliwiają wykonanie praktycznie wszystkich połączeń na płytce prototypowej. Można z nich korzystać wielokrotnie i wydają się najszybszym i najprostszym rozwiązaniem.

Jednak mają one również pewne wady — jeżeli wykonasz jakieś błędne połączenie, to będzie ono trudne do znalezienia. Na rysunku 2.16 pokazano prosty, nieopisany w tej książce obwód wykonany za pomocą giętkich przewodów zakończonych wtykami. Na rysunku 2.17 pokazano ten sam obwód wykonany za pomocą samodzielnie przycinanych drutów o średnicy 0,64 mm. W każdym z tych obwodów wykonano jedno nieprawidłowe połączenie. Znalezienie go na płytce z przewodami giętymi zajęłoby więcej czasu i prawdopodobnie wymagałoby zastosowania miernika.



Rysunek 2.16. Obwód wykonany na bazie dwóch miniaturycznych płyt prototypowych za pomocą przewodów połączeniowych zakończonych wtykami



Rysunek 2.17. Ten sam obwód wykonany za pomocą ręcznie skracanych drutów pełniących funkcję przewodów połączeniowych

Czasami wtyki giętkich przewodów są wadliwe i mogą przerywać obwód. W takim przypadku znalezienie przyczyny wadliwej pracy obwodu jest prawie niemożliwe. W związku z tym:

- Nie polecam korzystania z giętkich przewodów wyposażonych we wtyki.

### Przewód typu linka (zalecany)

Wróćmy do przewodów połączeniowych typu linka. Mają one zaletę — są o wiele bardziej giętkie od drutu, co ułatwia podłączanie do płyt zewnętrznych komponentów, takich jak np. przełączniki i potencjometry. Giętkość może być wymagana podczas

wykonywania połączenia z komponentem, który porusza się lub drga.

Przewód typu linka nie jest niezbędny do wykonania projektów opisanych w tej książce, ale szpula giętkiego przewodu o grubości 0,64 mm i długości 7,5 m może się czasami okazać przydatna. Jeżeli zdecydujesz się na zakup takiego przewodu, to kup szpulę o innym kolorze niż kupione przez Ciebie przewody typu drut. Dzięki temu nie pomyliś ich ze sobą.

## Części

Przypominam, że jeżeli interesuje Cię zakup zestawu komponentów, to powinieneś zajrzeć do sekcji „Zestawy” (znajdziesz ją w rozdziale 6.). Jeżeli wolisz szukać poszczególnych komponentów w sieci, to zajrzyj do sekcji „Komponenty” (znajdziesz ją w rozdziale 6.).

### Przełączniki dwustabilne (niezbędne)

Pełnowymiarowy przełącznik dwustabilny wygląda dość staroświecko, ale doskonale nadaje się do zastosowania w eksperymentach. Potrzebujesz dwóch takich przełączników. Powinny one nosić oznaczenie SPDT (jednobiegowy, dwupolożeniowy). Wyjaśnię je nieco później. Możesz również korzystać z przełączników DPDT (dwubiegowych, dwupołożeniowych), ale są one nieco droższe.

Przełącznik wyposażony w zaciski śrubowe ułatwia podłączanie do niego drutów połączeniowych, ale możesz kupić przełączniki wyposażone w inne zaciski.



Rysunek 2.18. Pełnowymiarowy przełącznik dwustabilny

Typowy, pełnowymiarowy przełącznik dwustabilny pokazano na rysunku 2.18. Jest to model E-Switch ST16DD00. Możesz zdecydować się również na zakup tańszych odpowiedników.

### Mikroprzełączniki (niezbędne)

Mikroprzełączniki mają formę miniaturowych przycisków. Po podłączeniu do płytki prototypowej pozwalają na sterowanie pracą obwodu przez użytkownika.

Najczęściej spotykane mikroprzełączniki wyposażone są w cztery małe złącza, które można wepchnąć w otwory płytki prototypowej. Złącza te są niestety irytujące, ponieważ nie zawsze trzymają się pewnie w otworach płytki. Mikroprzełączniki mają tendencję do wyskakiwania z płytki prototypowej w najmniej spodziewanych momentach. Polecam Ci zakup przełącznika wyposażonego w dwa złącza oddalone od siebie o 5 mm. Przykładem takiego komponentu jest Alps SKRGAFD-010. Będę z niego korzystać podczas wykonywania projektów opisanych w tej książce. Pokazano go na rysunku 2.19. Możesz korzystać z dowolnych innych przełączników, których złącza są oddalone od siebie o 5 mm. Innym przykładem takich komponentów jest seria EVQ-11 firmy Panasonic.



Rysunek 2.19. Mikroprzełącznik polecaný do instalacji na płytach prototypowych podczas pracy nad projektami opisanymi w tej książce

### Przekaźniki (niezbędne)

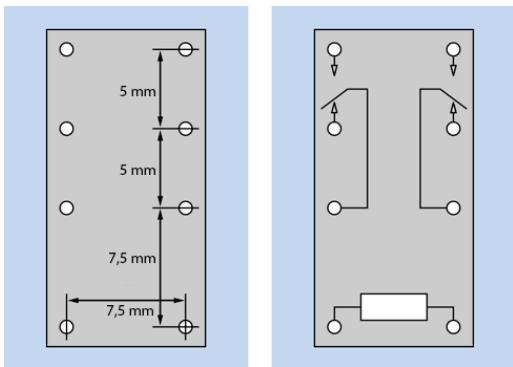
Funkcje złączy poszczególnych modeli przekaźników są różne, a więc korzystając z zamienników, musisz zachować dużą ostrożność. Polecam zakup

przekaźnika Omron G5V-2-H1-DC9 (patrz rysunek 2.20), ponieważ funkcje jego złączy zostały opisane na górnej części jego obudowy.



Rysunek 2.20. Przekaźnik polecaný do zastosowania w projektach opisanych w tej książce

Omron jest jednym z największych producentów przekaźników, więc mam nadzieję, że nie będziesz miał problemu z zakupem polecanego przeze mnie modelu. Możesz również korzystać z przekaźników Axicom V23105-A5006-A201 i Fujitsu RY-9W-K. Wszystkie te komponenty są przekaźnikami DPDT przystosowanymi do zasilania prądem stałym o napięciu 9 V. Charakteryzuje je konfiguracja złączy przedstawiona po lewej stronie rysunku 2.21.



Rysunek 2.21. Odstępy pomiędzy złączami przekaźnika i wewnętrzne połączenia pomiędzy komponentami

Na niektórych przekaźnikach umieszczany jest schemat podobny do tego, który pokazano po prawej stronie rysunku 2.21. Schemat ten znajdziesz w dokumentacji praktycznie wszystkich przekaźników. Możesz korzystać z przekaźników

charakteryzujących się inną konfiguracją złączy, ale może to być kłopotliwe, ponieważ przekaźniki te nie będą zgodne ze schematami wykonawczymi umieszczonymi w książce.

Polecane przeze mnie przekaźniki charakteryzują się wysoką czułością — pobierają prąd o małym natężeniu. Możesz korzystać z innych przekaźników, ale będą one pobierały prąd o większym natężeniu. Twój przekaźnik musi być wyposażony w cewkę przystosowaną do zasilania prądem stałym o napięciu 9 V i musi charakteryzować się odpowiednimi odległościami pomiędzy złączami.

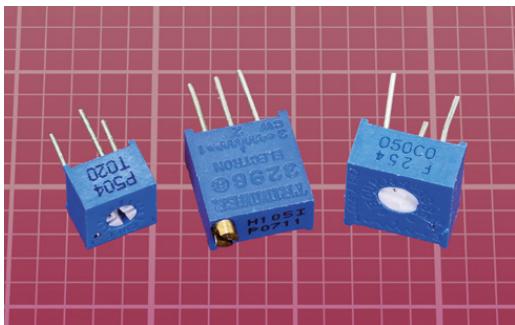
Wybierając przekaźnik, musisz zwrócić uwagę na jego polaryzację — komponent ten wymaga dopływu prądu płynącego w określonym kierunku i nie będzie działał z prądem płynącym przez jego cewkę w przeciwnym kierunku. Polecane przeze mnie przekaźniki nie wymagają określonej polaryzacji prądu zasilającego, ale wiele przekaźników firmy Panasonic wymaga zasilania prądem o określonej polaryzacji. Przed zakupem wybranego modelu sprawdź to w jego dokumentacji technicznej.

Kupiony przez Ciebie przekaźnik musi być **nieblokujący**.

Jeżeli to wszystko wydaje Ci się niejasne, to zakup przekaźnika odróżni do momentu pracy nad eksperymentem numer 7, w którym znajdziesz dokładny opis zastosowania przekaźnika. W celu wykonania tego eksperymentu w pełni potrzebujesz dwóch przekaźników.

### Potencjometry dostrojczne (niezbędne)

Zamiast korzystać z dużych i nieporęcznych potencjometrów, z którymi pracowałeś w eksperymencie numer 4, będziesz pracował z **potencjometrami dostrojczymi**, które są mniejsze, tańsze i można je wprowadzić w płytę prototypową. Na rysunku 2.22 przedstawiono przykłady różnych potencjometrów dostrojczych.



Rysunek 2.22. Potencjometry dostrojczne

W projektach opisanych w tej książce korzystałem z potencjometrów pokazanych po lewej i prawej stronie rysunku 2.22. Potencjometry te można zainstalować bezpośrednio w płytce prototypowej. Jedyną różnicą pomiędzy tymi dwoma komponentami jest ich rozmiar. Istnieją również komponenty, których pokrętła są ustawione pod kątem 90° w stosunku do płaszczyzny płytki prototypowej, ale są one trudniejsze w użytkowaniu.

Potencjometr widoczny na środku rysunku 2.22 jest **potencjometrem wielobrotowym**, który umożliwia bardziej precyzyjne ustalenie rezystancji za pomocą śrub połączonej z przekładnią ślimakową znajdującą się wewnątrz komponentu. Korzystanie z nich jest mniej wygodne, a komponenty tego typu są dodatkowo droższe. Nie musisz korzystać z potencjometrów tego typu podczas pracy nad eksperymentami opisanymi w tej książce. Nie potrzebujesz takiego stopnia dokładności.

### Tranzystory (niezbędne)

W tej książce będziemy korzystać tylko z jednego rodzaju tranzystorów. Ogólne oznaczenie tego komponentu to 2N2222, ale niestety nie wszystkie tranzystory 2N2222 są identyczne.

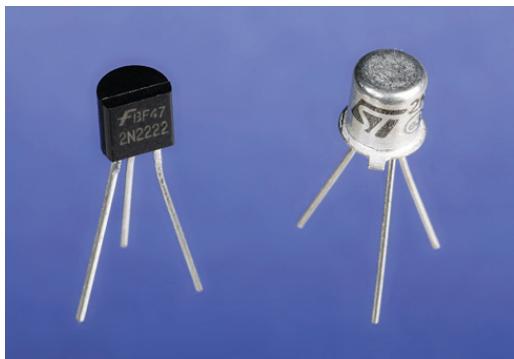
Jeżeli nie korzystasz z zestawu komponentów, a szukasz tranzystorów samodzielnie, to unikaj komponentów o oznaczeniu P2N (oznaczeniu znajdująącym się przed numerem 2222). Producenci tranzystorów P2N2222 odwrócili funkcję złączy układu 2N2222, które były standardem przez kilka dekad. Dlaczego to zrobiono? Nie wiem.

Oto zasady, którymi należy się kierować:

- Możesz korzystać z komponentów o oznaczeniach 2N2222, PN2222 lub PN2222A. Częściej od oznaczenia 2N2222 spotyka się oznaczenie PN2222 — układy noszące oba oznaczenia nadają się do zastosowania w projektach opisanych w tej książce.
- Układy P2N2222 i P2N2222A **nie** nadają się do zastosowania w projektach opisanych w tej książce.

Gdy wpiszesz w wyszukiwarce 2N2222, w wynikach wyszukiwania znajdziesz również komponenty typu P2N2222 — to pułapka, na którą musisz uważać! Jeżeli dysponujesz miernikiem, to możesz sprawdzić wszystkie zakupione tranzystory. Jeżeli kupiłeś tranzystory charakteryzujące się tradycyjną konfiguracją złączy, to miernik powinien wskazać stopień wzmacnienia przekraczający 200. Jeżeli kupiłeś niewłaściwy typ tranzystora, to miernik wyświetli komunikat o błędzie lub współczynnik wzmacnienia mniejszy od 50.

Tranzystory 2N2222 były kiedyś umieszczone w małych metalowych obudowach. Dzisiaj prawie zawsze ich obudowy są wykonywane z czarnego plastiku. Na rysunku 2.23 pokazano oba rodzaje obudów. Rodzaj obudowy tranzystora nie ma znaczenia. Oznaczenie komponentu nie może rozpoczynać się od P2N.

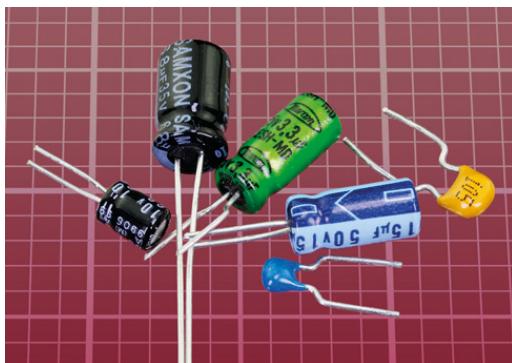


Rysunek 2.23. Dwa tranzystory 2N2222, które mogą być zastosowane w projektach opisanych w tej książce

## Kondensatory (niezbędne)

**Kondensatory** nie są tak tanie jak rezystory, ale nadal są tak tanie, że zamiast kupować pojedyncze egzemplarze, lepiej kupić je w opakowaniu zbiorczym. Pojemność kondensatorów jest zwykle wyrażana w mikrofaradach (skrót  $\mu\text{F}$ ). Wyjaśnię to później, gdy będziesz podłączać kondensatory do obwodu.

W przypadku małych pojemności polecam Ci zakup **kondensatorów ceramicznych**. Przy większych pojemnościach bardziej opłaca się zakup **kondensatorów elektrolitycznych**. Więcej wskazówek dotyczących zakupu kondensatorów znajdziesz w sekcji „Komponenty” (znajdziesz ją w rozdziale 6.). Na rysunku 2.24 pokazano różne kondensatory. Komponenty mające kształt cylindryczny są kondensatorami elektrolitycznymi, a pozostałe komponenty są kondensatorami ceramicznymi.



Rysunek 2.24. Różne kondensatory

## Rezystory (niezbędne)

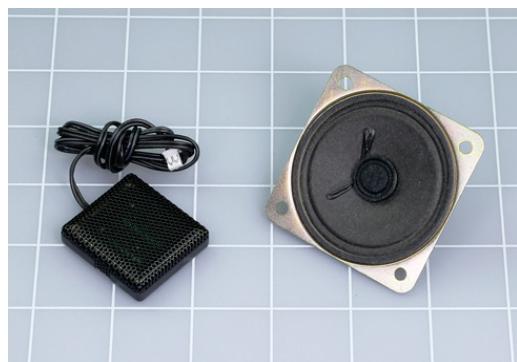
Mam nadzieję, że zgodnie z tym, co sugerowałem Ci w eksperymencie numer 1, kupiłeś różnorodny zestaw rezistorów.

## Głośnik (niezbędny)

Potrzebujesz **głośnika** o średnicy przynajmniej 2,5 cm, ale możesz również kupić głośnik o średnicy 5 cm. Średnica głośnika nie powinna przekraczać 7,5 cm. Głośnik powinien charakteryzować się impedancją co najmniej 8  $\Omega$ .

Nie będziemy generować dźwięku o wysokiej jakości, a więc nie musisz kupować drogiego głośnika.

Na rysunku 2.25 pokazano parę przykładowych głośników.



Rysunek 2.25. Dwa głośniki: model o średnicy 2,5 cm i model o średnicy 5 cm

## Coś jeszcze?

Może Ci się wydawać, że wyliczyłem wiele komponentów, ale pamiętaj o tym, że prawie każdy komponent będzie mógł być użyty ponownie, a więc pracując nad kolejnymi eksperymentami opisanymi w tej książce, nie będziesz musiał kupować dodatkowych komponentów.

## Eksperyment 6: Bardzo proste przełączanie

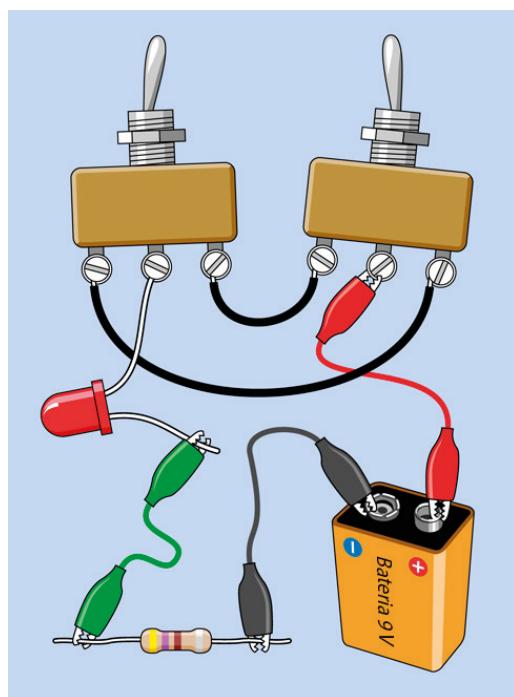
Dzięki temu eksperymetowi dowiesz się, jak działają przełączniki. Może wydawać Ci się, że wiesz, jak działają przełączniki, ale zastosowanie w obwodzie dwóch przełączników dwupozycyjnych może Cię naprawdę zaskoczyć.

## Potrzebne będą:

- Śrubokręt, szczypce z ostrzem do cięcia drutu oraz szczypce do zdejmowania izolacji,
- drut połączeniowy o średnicy 0,64 mm, nie więcej niż 30 cm,
- bateria 9 V, liczba: 1,
- standardowa dioda LED, liczba: 1,
- przełączniki dwustabilne, SPDT lub DPDT, liczba: 2,

- rezystor  $470 \Omega$ , liczba: 1,
- przewody obustronnie zakończone zaciskami typu krokodyl, liczba: 2.

Połącz części zgodnie z rysunkiem 2.26. Będzie to doskonała okazja do przećwiczenia umiejętności zdejmowania izolacji z drutu. Zdejmij izolację z obu końców dwóch czarnych przewodów. Podłącz je do zacisków śrubowych przełączników. Za pomocą szczypiór tak wygnij końce podłączanych drutów, aby miały kształt litery J, a następnie włóż wygiętą końcówkę pod zacisk znajdujący się po lewej stronie i dokręć śrubę (obracaj ją w kierunku zgodnym z kierunkiem ruchu wskazówek zegara), aby unieruchomić przewód.



**Rysunek 2.26.** Twój pierwszy eksperyment polegający na połączeniu ze sobą przełączników

Dłuższa końcówka diody LED musi zostać podłączona do jednego z zacisków śrubowych. Uważaj, aby nie podłączyć do zacisku krótszej końcówki diody LED, ponieważ dłuższa końcówka diody powinna być podłączona do części obwodu o wyższym potencjale.

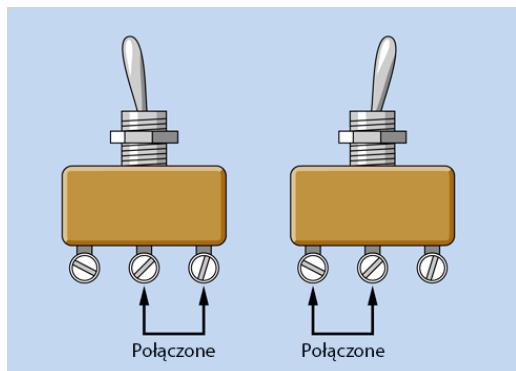
Jeżeli Twoje przełączniki nie są wyposażone w zaciśki śrubowe, to zamiast za pomocą czarnych drutów będziesz musiał je podłączyć do obwodu za pomocą pary przewodów obustronnie zakończonych końcówkami typu krokodyl (przewody te zastąpią czarne druty łączące przełączniki, a także przewód łączący diodę LED ze środkowym złączem przełącznika znajdującego się po lewej stronie).

Po podłączeniu obwodu do baterii pobaw się przełącznikami. Co zaobserwowałeś?

Jeżeli dioda jest włączona, przełączenie któregokolwiek z przełączników spowoduje jej wyłączenie, a gdy jest wyłączona, to przełączenie któregokolwiek z przełączników spowoduje jej włączenie. To ciekawe zjawisko wyjaśnie krótko w sekcji „Wprowadzenie do schematów”, ale najpierw muszę przedstawić Ci pewne informacje niezbędne do jego zrozumienia.

## PODSTAWY: Wszystko o przełącznikach

Kiedy przełączysz przełącznik biegunkowy taki jak pokazano na rysunku 2.26, to łączy on swoje środkowe wyprowadzenie z jednym z wyprowadzeń skrajnych. Pokazuje to rysunek 2.27.



**Rysunek 2.27.** Prawie wszystkie przełączniki dwustabilne działają w ten sposób

Średkowe wyprowadzenie jest nazywane biegunkiem przełącznika. Ponieważ przełącznik może znajdować się w jednej z dwóch pozycji, tworząc dwa możliwe połączenia, nazywany jest **przełącznikiem dwupozycyjnym** (w skrócie DT lub 2T). Jak wspomniałem

wcześniej, przełącznik tego typu określany jest skrótem **SPDT** (czasami oznacza się go również skrótem 1P2T).

Niektóre przełączniki są wyposażone w dwa, a nie trzy złącza. Są to przełączniki typu włącz/wyłącz (on/off), co oznacza, że jeśli przełączysz je w jednym kierunku, utworzysz połączenie, ale w drugiej pozycji połączenia nie będzie. Większość przełączników w Twoim domu jest właśnie tego typu. Są one znane pod nazwą **przełączników jednopozycyjnych**, określanych skrótem **SPST** (czasami oznacza się je również skrótem 1P1T).

Jeszcze inne przełączniki mają dwa zupełnie niezależne biegury, dzięki czemu możesz tworzyć dwa niezależne połączenia jednocześnie, przez jedno przełączenie pozycji. Są to tzw. **przełączniki dwubiegunkowe** (w skrócie DT lub 2T). Przyjrzyj się rysunkom od 2.28 do 2.30, przedstawiającym przełączniki „nożowe” starego typu (nie są one stosowane w żadnych urządzeniach, ale są używane nadal w szkołach na przedmiotach związanego z elektryką), a zobaczy najprostszą możliwą reprezentację przełączania jedno- i dwubiegunkowego, a także jedno- i dwupozycyjnego.



Rysunek 2.28. Przełącznik jednobiegunkowy, jednopozycyjny (SPST) wyprodukowany w celach edukacyjnych

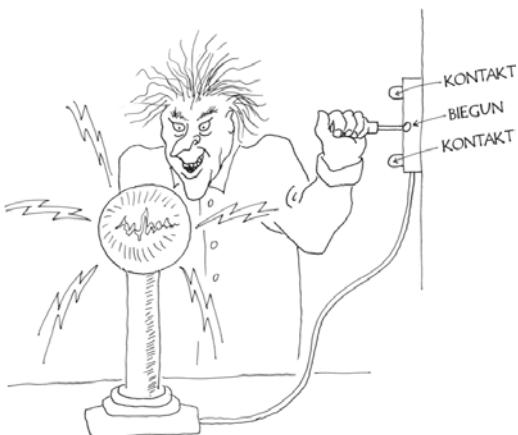


Rysunek 2.29. Przełącznik jednobiegunkowy, dwupozycyjny (SPDT) łączy jeden biegun z wybranym stykiem



Rysunek 2.30. Przełącznik dwubiegunkowy, jednopozycyjny (DPST) jest wyposażony w dwa odizolowane od siebie biegury; każdy z biegurów może zostać połączony tylko z jednym stykiem

Przełączniki tego typu poza szkołą można spotkać tylko i wyłącznie w horrorach. Na rysunku 2.31 przedstawiono szalonego naukowca włączającego swój projekt za pomocą przełącznika nożowego o jednym biegu i dwóch pozycjach. Przełącznik ten został zainstalowany przez naukowca na ścianie jego laboratorium ukrytego w piwnicy.



Rysunek 2.31. Po lewej szalony naukowiec, po prawej przełącznik nożowy typu SPDT

Żeby jeszcze bardziej urozmaicić cały temat, możesz również kupić przełączniki o trzech lub czterech biegunach. (Niektóre przełączniki rotacyjne mają ich jeszcze więcej, ale takich nie będziemy używać). Ponadto niektóre przełączniki dwubiegunkowe mają dodatkową pozycję środkową (typu „wyłącz”).

Aby podsumować wszystkie powyższe informacje, zbudowałem tabelę możliwych przełączników (patrz tabela 2.1). Możesz do niej zajrzeć, kiedy będziesz przeglądał katalog z częściami, aby przypomnieć sobie, co oznaczają poszczególne skróty.

Niektóre przełączniki są wyposażone w sprężyny ustawiające je w domyślnym położeniu po zwolnieniu ich przez użytkownika. Pozycję On lub OFF w oznaczeniach takich przełączników ujęto w nawiasy. Nawiązy wskazują pozycję, w której przełącznik należy utrzymywać siłą.

Oto kilka przykładów:

- OFF-(ON). Ponieważ stan ON (włączony) jest w nawiasach, jest stanem chwilowym. Zatem jednobiegunkowy przełącznik tego typu tworzy połączenie jedynie wtedy, kiedy go naciśniesz, a następnie, po puszczeniu, powraca do pozycji pierwotnej, w której nie ma kontaktu. Jest on również znany jako „normalnie otwarty” przycisk chwilowy, oznaczany skrótem „NO”. W ten sposób działa większość przełączników mających formę przycisków.
- ON-(OFF). Przeciwny rodzaj chwilowego przycisku jednobiegunkowego. Jego normalnym stanem jest ON (włączony), ale kiedy go naciśniesz, przerwiesz połączenie. Zatem stan OFF (wyłączony) jest chwilowy. Jest on również znany jako „normalnie zamknięty” przycisk chwilowy, oznaczany skrótem „NC”.
- (ON)-OFF-(ON). Taki przycisk ma środkową pozycję typu „wyłączony”. Kiedy naciśniesz go w którymkolwiek kierunku, utworzy chwilowe połączenie, a po puszczeniu powróci do wyjściowej pozycji środkowej.

Możliwe są również inne warianty, takie jak ON-OFF-(ON) lub ON-(ON). Nie powinieneś mieć problemu z wywnioskowaniem zachowania danego typu przycisku, o ile tylko będziesz pamiętał, że nawiasy oznaczają stan chwilowy.

## Iskrzenie

Kiedy tworzysz i przerywasz połączenie elektryczne, ma ono tendencję do iskrzenia. Iskrzenie nie służy

Tabela 2.1. Tabela podsumowująca wszystkie możliwe opcje przełączników biegunkowych i przyciskanych

	Jednobiegunkowy	Dwubiegunkowy	Trójbiegunkowy	Czterobiegunkowy
<b>Jednopozycyjny</b>	SPST (1P1T) ON-OFF	DPST (2P1T) ON-OFF	3PST (3P1T) ON-OFF	4PST (4P1T) ON-OFF
<b>Dwupozycyjny</b>	SPDT (1P2T) ON-ON	DPDT (2P2T) ON-ON	3PDT (3P2T) ON-ON	4PDT (4P2T) ON-ON
<b>Dwupozycyjny ze środkową pozycją typu „wyłącz”</b>	SPDT (1P2T) ON-OFF-ON	DPDT (2P2T) ON-OFF-ON	3PDT (3P2T) ON-OFF-ON	4PDT (4P2T) ON-OFF-ON

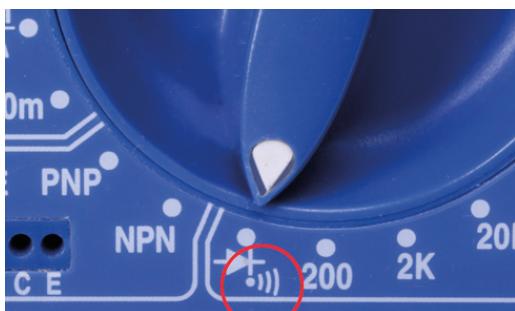
przełącznikom. Powoduje ich stopniowe uszkadzanie aż do momentu, kiedy przełącznik nie jest już dłużej w stanie utworzyć pewnego połączenia. Z tego powodu musisz używać przełączników pasujących do napięcia i prądu, jakimi postępujesz się w danym przypadku.

Obwody elektroniczne przedstawione w tej książce operują na małych natężeniach i napięciach, dlatego możesz używać niemal dowolnych przełączników, ale jeśli przełączasz energię dla silnika, początkowy prąd rozruchowy będzie minimum dwa razy większy od prądu, jaki ten silnik pobiera w trakcie normalnej pracy. Do włączania i wyłączania silnika pobierającego prąd o natężeniu 2 ampery powinieneś użyć przełącznika 4-amperowego.

## Sprawdzanie przełącznika

Do sprawdzenia przełącznika możesz użyć swojego miernika. Dzięki temu będziesz mógł się przekonać, które wyprowadzenia są połączone dla danego ustawienia. Jeżeli zapomniasz, jakiego typu przełącznik przyciskany masz w ręce, miernik pozwoli stwierdzić, czy jest on typu normalnie otwartego (czyli takiego, który trzeba nacisnąć, aby utworzyć połączenie), czy normalnie zamkniętego (czyli takiego, który trzeba nacisnąć, aby przerwać połączenie).

Jeśli chcesz się dowiedzieć, czy dane ustawienie tworzy połączenie, użyj miernika z nastawieniem „akustycznego testu przewodzenia”. Będzie on wtedy wydawał jednostajny dźwięk w sytuacji napotkania kontaktu elektrycznego między końcówkami

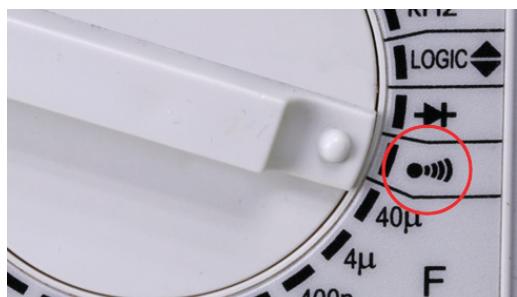


Rysunek 2.32. Pokrętło miernika ustawione w tryb testu przewodzenia

lub zamilknie, jeśli takiego kontaktu nie będzie. Przykłady mierników z testem przewodzenia pokazują rysunki od 2.32 do 2.34. Symbol testu przewodzenia widziałeś już wcześniej — zaprezentowałem go w eksperymencie numer 1 (patrz rysunek 1.7).



Rysunek 2.33. Pokrętło innego miernika ustawione w tryb testu przewodzenia



Rysunek 2.34. Trzeci miernik pracujący w trybie testu przewodzenia

## TEORIA: Pierwsze systemy przełączające

Przełączniki wydają się być tak fundamentalną rzeczą w naszym świecie, a ich koncepcja jest tak prosta, że bardzo łatwo można zapomnieć, iż przeszły one stopniowy proces rozwoju i udoskonalania. Pionierom elektryki, którzy potrzebowali jedynie włączyć lub wyłączyć zasilanie pewnego urządzenia w laboratorium, w zupełności wystarczały proste przełączniki nożowe. Kiedy jednak zaczęły powstawać systemy telefoniczne, zaszła potrzeba stworzenia rozwiązań bardziej zaawansowanych technicznie. Operator „łącznicy” musiał mieć możliwość połączenia ze sobą par dziesięciu tysięcy linii. Jak można było zrealizować coś takiego?

W roku 1878 Charles E. Scribner (patrz rysunek 2.35) stworzył „scyzorykowy przełącznik typu jack”, nazywany tak ze względu na fakt, że część trzymana przez operatora w ręku wyglądała jak rączka od scyzoryka (ang. *jackknife*). Z rączki tej wystawała wtyczka, która po włożeniu do gniazda tworzyła połączenie w jego wnętrzu. Styk przełącznika tworzyło wnętrze gniazda.



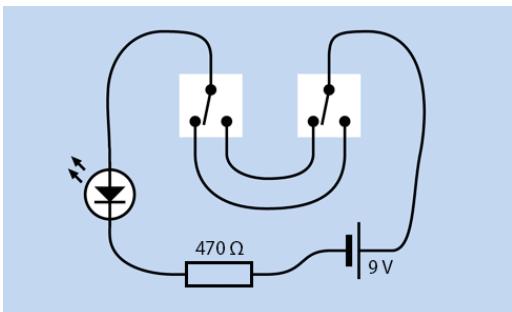
**Rysunek 2.35.** Charles E. Scribner wymyślił „scyzorykowy przełącznik typu jack”, aby zaspokoić potrzeby przełączania w systemach telefonicznych pod koniec XIX wieku. Dzisiejsze wtyczki typu jack, używane w systemach audio, nadal działają na tej samej zasadzie

Do dzisiaj na tej samej zasadzie funkcjonują połączenia gitar ze wzmacniaczami, a kiedy nazywasz je połączeniami typu „jack”, termin ten wywodzi się od wynalazku Charlesa Scribnera. Styki przełącznika nadal umieszczane są w gnieździe typu jack.

Of course, in today's times „jacks” are such rare things, just like telephone operators. At the beginning they were replaced by switches — electrical switches controlled by a lever, of which I will speak in the next part of this chapter. Later, transistors came along, which proved that it was possible to work without any moving parts. Working on experiment number 10, you will also use switches to control current, using transistors.

## Wprowadzenie do schematów

Na rysunku 2.36 narysowałem obwód z rysunku 2.26 w uproszczonej formie, zwanej schematem. Od tego momentu będę przedstawiał obwody w formie schematów, ponieważ pozwalają one na ich łatwiejsze zrozumienie. Aby móc je właściwie interpretować, musisz poznać zaledwie kilka symboli.



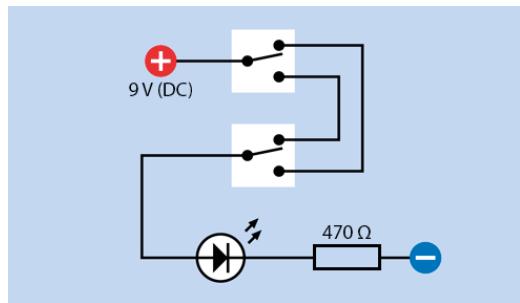
**Rysunek 2.36.** Ten schemat przedstawia opisany wcześniej obwód zawierający dwa przełączniki

Rysunki 2.26 i 2.36 pokazują dokładnie tę samą rzecz: komponenty i połączenia między nimi. Na schemacie prostokąt reprezentuje rezistor, a symbol z dwoma strzałkami to dioda LED. Symbol dwóch linii równoległych oznacza baterię.

Duży trójkąt znajdujący się w symbolu diody LED wskazuje kierunek przepływu **prądu konwencjonalnego**, czyli prądu urojonego biegącego od bieguna dodatniego do ujemnego. Symbol diody LED zawiera dwie strzałki informujące, że **emituje ona światło**. Jest to istotne, ponieważ istnieją inne diody — dotrzymy do nich później — które tego nie robią. Dłuższa linia symbolu baterii wskazuje jej dodatni biegum.

Prześledź ścieżki, którymi prąd może popływać przez obwód, i wyobraź sobie przełączniki zmieniające pozycję. Powinieneś teraz bez problemu zrozumieć, jak każdy z przełączników odwraca stan diody LED z włączonego na wyłączony i odwrotnie.

Na rysunku 2.37 przedstawiono ten sam schemat w sposób bardziej uporządkowany. Linie są proste, a dodatni biegum źródła prądu został przedstawiony u góry schematu. Ujemny biegum baterii



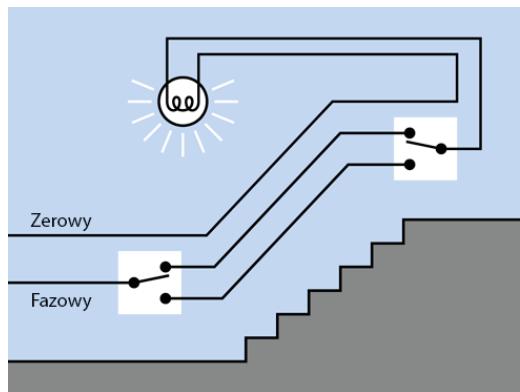
**Rysunek 2.37.** Poprzedni schemat uporządkowany według powszechnie stosowanych konwencji

umieszczonego w jego dolnej części. Prąd konwencjonalny płynie na schematach od góry do dołu, a sygnały (takie jak np. sygnał wejściowy audio kierowany do wzmacniacza) płyną od strony lewej do prawej. Dzięki takiej organizacji schematu łatwiej jest zrozumieć pracę przedstawionego na nim obwodu.

Na obu schematach pokazano ten sam obwód. Schematy te wyglądają nieco inaczej, ponieważ komponenty zostały ułożone w ich różnych miejscach. Umieszczenie komponentów nie jest ważne. Ważny jest sposób, w jaki są połączone.

- Schemat nie wskazuje, gdzie dokładnie należy umieścić poszczególne komponenty. Pokazuje jedynie, jak połączyć je ze sobą.

Taki sam obwód jest używany w domach, gdzie jeden przełącznik znajduje się u dołu schodów, a drugi u ich szczytu i oba kontrolują tę samą żarówkę. Patrz



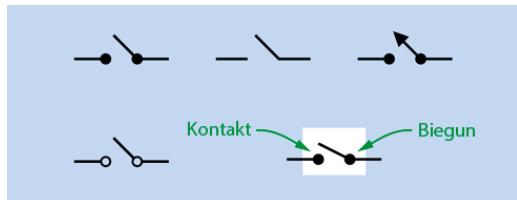
**Rysunek 2.38.** Zaprezentowany wcześniej układ można często spotkać w domowych instalacjach, w których dwa przełączniki sterują pracą tej samej żarówki

rysunek 2.38. Przewody linii zasilającej pokazano w lewym, dolnym rogu tego rysunku. Przewód fazowy linii zasilającej prądu przemiennego jest kierowany do przełączników, a przewód zerowy do żarówki (symbol zwoju otoczonego okręgiem jest symbolem tradycyjnej żarówki).

Jest tutaj jeden problem: różni ludzie używają nieco odmiennych symboli do reprezentacji tej samej rzeczy. Zagadnienie to wyjaśnię w dalszej części książki.

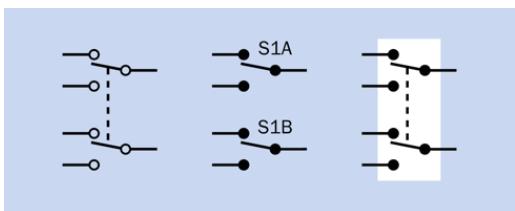
## PODSTAWY: Symbole używane na schematach

- Przełącznik.** Na rysunku 2.39 pokazano pięć symboli najprostszego komponentu — przełącznika jednobiegowego, jednopołożeniowego. W zaprezentowanym przypadku biegum znajduje się po prawej stronie, a kontakt po lewej, ale w przypadku przełącznika SPST nie ma to żadnej różnicy. W tej książce postanowiłem otaczać każdy symbol przełącznika białym prostokątem, aby podkreślić, że choć przełącznik składa się z dwóch elementów, jest jednym komponentem.



**Rysunek 2.39.** Kilka różnych stylów stosowanych do przedstawienia przełącznika SPST, wszystkie te symbole odwołują się do tego samego komponentu

Rysunek 2.40 przedstawia coś nieco bardziej skomplikowanego — przełączniki dwubiegunkowe, dwupozycyjne. Przerywana linia wskazuje mechaniczne połączenie wewnętrz przełącznika, które sprawia, że przestawienie pozycji wpływa jednocześnie na oba biegumy. Pamiętaj, że biegumy są od siebie odizolowane elektrycznie. Środkowy symbol jest czasami umieszczany na dużych schematach, których układ utrudnia umieszczenie poszczególnych

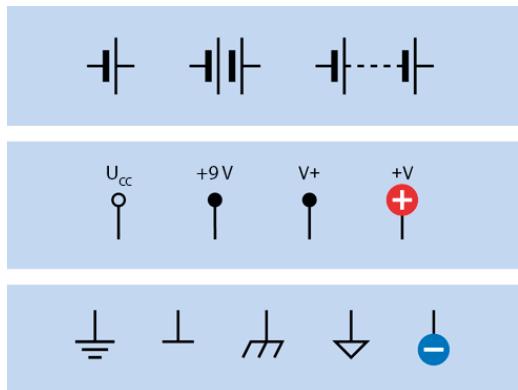


Rysunek 2.40. Trzy różne style przedstawiania przełącznika

DPDT

sekcji przełącznika w pobliżu siebie. Każdy zestaw kontaktów oznaczono etykietą kończącą się literą A lub B, lub C... Świadczy to o tym, że kontakty należą do tego samego przełącznika.

**2. Zasilanie.** Źródło prądu stałego zasilające obwód można oznaczyć na kilka sposobów. W górnej części rysunku 2.41 przedstawiono symbole baterii. Krótsza linia symbolizuje biegum ujemny, a dłuższa biegum dodatni. Kiedyś jedna para linii symbolizowała pojęcie ogniwko dostarczające prąd o napięciu 1,5 V, dwie pary linii symbolizowały baterię o napięciu 3 V itd., ale wraz z pojawieniem się lamp próżniowych wyższe napięcia zaczęto oznaczać za pomocą grubszej linii pomiędzy ogniwami, która zastępowała rząd kresek.



Rysunek 2.41. Różne symbole oznaczające dodatnie i ujemne biegumy źródła prądu stałego

W obwodzie zasilanym baterią możesz znaleźć symbol baterii, chociaż częściej spotkasz małą notkę wskazującą, gdzie dodatni potencjał zasilania wchodzi do systemu. Symbole masy przedstawione w środkowej części rysunku 2.41. Napięcie

o dodatnim potencjałe jest przykładowane do jednego miejsca obwodu oznaczonego etykietą  $U_{cc}$ ,  $V_{cc}$ ,  $V+$  lub  $+V$ . Czasami etykieta będzie zawierała liczbę określającą napięcie. W przeszłości symbol  $U_c$  (w USA  $V_c$ ) służył do oznaczania napięcia na kolektorze tranzystora. Symbol  $U_{cc}$  (w USA  $V_{cc}$ ) jest używany do oznaczania napięcia zasilającego cały obwód nawet wtedy, gdy nie zawiera on żadnych tranzystorów. Musisz jednak pamiętać, że podczas budowy układu wszystkie przewody prowadzące do masy muszą być połączone razem do ujemnego źródła zasilania.

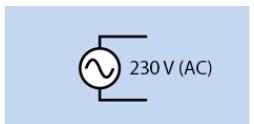
Książka ta jest wydana w kolorze, a więc znak plusa mogłem umieścić w czerwonym kółku. Jest to używany przeze mnie symbol dodatniego bieguna zasilania.

Potencjał ujemny przedstawiany jest jako symbol „masy”<sup>1</sup> (patrz dolna część rysunku 2.41). Wiele komponentów obwodu może być podłączonych do tego samego potencjału masy, a więc na schemacie może wystąpić wiele takich symboli. Jest to rozwiązanie wygodniejsze od rysowania linii łączących te punkty.

W tej książce zdecydowałem się na stosowanie symbolu będącego znakiem minusa umieszczonym w niebieskim okręgu.

Dotychczas pisałem o zasilaniu obwodu baterią. W przypadku zastosowania zasilacza sieciowego sprawa jest bardziej skomplikowana, ponieważ gniazdko posiada trzy styki: fazę, neutralny i uziemienie. Na schematach źródła prądu przemiennego oznacza się symbolem leżącej litery S (patrz rysunek 2.42). Obok symbolu bardzo często podaje się napięcie fazy zasilającej (w Europie jest to 230 V). W pozostałych miejscach obwodu symbole widoczne po prawej stronie rysunku 2.42 służą do oznaczania połączeń z obudową, w której umieszczony jest dany obwód.

1 Chociaż autor nazywa ten symbol „uziemieniem” (ang. *ground*), tekst tłumaczony będzie konsekwentnie mówić o masie układu (pozostawiając termin „uziemienie” dla obwodów elektrycznych wymagających specjalnego zabezpieczenia przepięciowego) — przyp. *tlm.*



Rysunek 2.42. Symbol zasilania pradem przemiennym (po lewej) i symbole podłączeń do uziemienia obudowy urządzenia zasilanego pradem przemiennym (po prawej)

Styk uziemienia gniazdką sieciowego jest naprawdę połączony z ziemią. Urządzenie wyposażone w metalową obudowę jest „uziemiane” za pomocą tego styku. W przypadku niskonapięciowych obwodów zasilanych za pomocą baterii nie zachodzi konieczność stosowania uziemienia, ale symbol uziemienia może wystąpić w schematach takich obwodów do oznaczenia masy.

3. **Rezystor.** Istnieją dwa sposoby oznaczania rezystora (patrz rysunek 2.43). Symbol widoczny po lewej stronie rysunku jest używany w USA. Obok symbolu podawana jest wartość — rezystancja wyrażona w omach. Rezystor może być również oznaczony etykiettami R1, R2, R3... W takim przypadku obok schematu znajdziesz listę definiującą rezystancję poszczególnych rezystorów. Symbol widoczny po prawej stronie rysunku 2.43 jest używany w Europie. Obok tego symbolu również podaje się wartość rezystancji wyrażoną w omach. Na rysunku przedstawiono przykładową rezystancję 220 Ω.



Rysunek 2.43. Symbole rezystorów używane w USA (po lewej) i Europie (po prawej)

W Europie przecinki nie pełnią funkcji separatora dziesiętnego. Zamiast przecinków wstawiane są litery K i M, a gdy rezystancja jest niższa od 1 kΩ, to jest podawana w formie jednej lub kilku cyfr umieszczonych przed literą R.

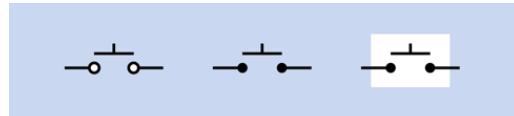
4. **Potencjometr.** Symbol widoczny po lewej stronie rysunku 2.44 jest symbolem



Rysunek 2.44. Symbole potencjometrów: po lewej stronie wersja używana w Stanach Zjednoczonych, po prawej stronie europejska

potencjometru stosowanym w USA, a symbol widoczny po prawej stronie wspomnianego rysunku jest symbolem stosowanym w Europie. W obu symbolach strzałka symbolizuje ruchomy element potencjometru. Na rysunku przedstawiono przykładową rezystancję 470 Ω.

5. **Przyciski.** Na rysunku 2.45 przedstawiono trzy symbole przycisków. Wszystkie te symbole przedstawiają najpopularniejszy, normalnie otwarty przycisk (przełącznik chwilowy). Styki tego przycisku są zwierane tylko w momencie przyciskania go przez użytkownika. Przycisk przerywa obwód, gdy użytkownik go zwolni. W przypadku bardziej rozbudowanych przycisków domykających wiele obwodów można zastosować symbol przełącznika wielobiegowego.



Rysunek 2.45. Trzy warianty symbolu przycisku; w książce, dla ułatwienia, dodatkowo otaczam symbol przycisku białym kwadratem — takiego zabiegu nie spotkasz w innych publikacjach

6. **Dioda elektroluminescencyjna (LED).** Na rysunku 2.46 przedstawiono cztery warianty symbolu diody LED. Wszystkie te symbole — niezależne od tego, czy zawierają okrąg, oraz niezależnie od tego, czy widoczny na nich trójkąt został zaczerniony — odwołują się do tego samego komponentu. W tej książce wewnętrzne okręgu zawierającego symbol diody jest dodatkowo wybielone, ale konwencja ta nie jest stosowana w innych publikacjach.



Rysunek 2.46. Cztery symbole diody LED; wszystkie symbole odwołują się do identycznego komponentu

Strzałki znajdujące się obok symbolu mogą wskazywać dowolny kierunek.

Pozostałe symbole będą stopniowo przedstawiać w książce. Najważniejsze rzeczy do zapamiętania na teraz to:

- Pozycje komponentów na schemacie są nie-istotne.
- Konkretny styl użyty do przedstawienia symboli na schemacie jest bez znaczenia.
- Połączenia pomiędzy komponentami są nie-zwykle istotne.

## Konwencje tworzenia schematów

Wcześniej pisałem o tym, że na wielu schematach dodatni biegum zasilający umieszcza się u góry, a ujemny u dołu. Konwencja ta ułatwia zrozumienie funkcjonowania zaprezentowanego obwodu, ale nie przydaje się podczas budowy obwodu, ponieważ płytka, na której będziesz go łączyć, z pewnością charakteryzuje się zupełnie inną geometrią.

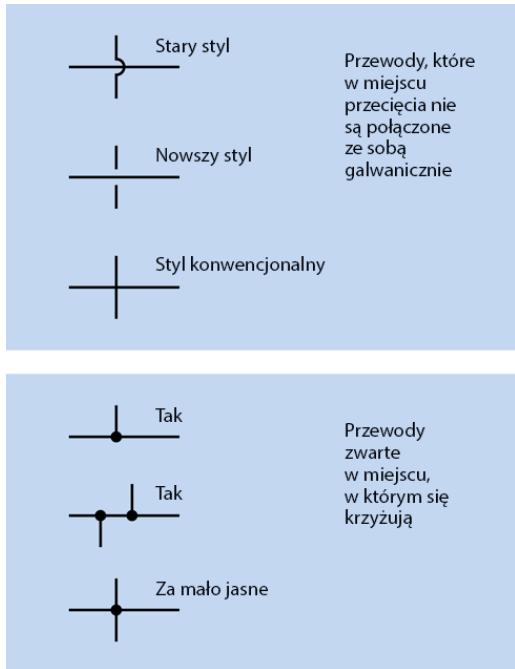
Większość książek związanych z elektroniką, które miałem okazję czytać, wymaga od czytelnika wykonania obwodu na podstawie jego schematu ideowego, co może stanowić nie lada wyzwanie i barierę dla osób chcących rozpocząć przygodę z elektroniką. W związku z tym schematy przedstawione w tej książce przypominają rzeczywisty układ elementów na płytce prototypowej. Będzie to miało więcej sensu, gdy zaczniesz pracę z płytą prototypową, wykonując eksperyment numer 8.

## Krzyżowanie się przewodów

Ostatni temat związany ze schematami, który muszę przedstawić, dotyczy sposobu prezentowania dwóch krzyżujących się ze sobą przewodów. Do tej

pory zajmowaliśmy się prostymi obwodami, w których przewody nie krzyżowały się, ale w skomplikowanych obwodach zauważysz wiele krzyżujących się przewodów, które nie są ze sobą połączone galwanicznie. Jak pokazać to na schemacie?

W pierwszym wydaniu tej książki krzyżujące się przewody niepołączone ze sobą w miejscu skrzyżowania oznaczałem za pomocą „łuku”. Jest to tak zwany stary styl (patrz rysunek 2.47). Jestem zwolennikiem tej konwencji, ponieważ pokazuje ona wyraźnie, które przewody nie są zwarte ze sobą. Jednak stosowanie tej konwencji stało się trudne, gdy schematy były tworzone za pomocą komputerowych aplikacji, a nie za pomocą kartki i długopisu. W związku z tym łuki były stosowane coraz rzadziej.



Rysunek 2.47. Różne sposoby oznaczania przewodów, które nie są ze sobą zwarte, i przewodów, które są ze sobą zwarte (więcej informacji na ten temat znajdziesz we wcześniejszym akapicie)

Alternatywną konwencją jest tzw. nowy styl (patrz rysunek 2.47) — polega on na rysowaniu przerwy w jednym z przewodów. Jest to niejasne rozwiązanie, które jest trudne do zaimplementowania

w zautomatyzowanym oprogramowaniu przeznaczonym do tworzenia schematów. W związku z tym konwencja ta nie stała się popularna.

Trzeci, „konwencjonalny” styl jest obecnie najpopularniejszy. W tym wydaniu książki zdecydowałem się na korzystanie z niego, ponieważ jest on obecnie najpopularniejszą konwencją, ale uważam, że styl ten jest mniej czytelny od tzw. starego stylu.

Być może zastanawiasz się, jak oznaczyć połączenie galwaniczne pomiędzy dwoma przewodami, skoro przewody krzyżujące się na schemacie nie są ze sobą zwarte. Należy w tym celu zastosować kropkę. Kropka ta powinna być duża — zobacz dolną część rysunku 2.47. Można do podsumowania następująco:

- Brak kropki wskazuje brak kontaktu elektrycznego.
- Kropka łącząca dwa przewody wskazuje, że istnieje między nimi kontakt elektryczny.

W celu uniknięcia nieporozumień lepiej nie stosować konwencji pokazanej w dolnej części rysunku 2.47. Nie jest ona jednoznaczna. Lepiej będzie przyjąć konwencję pokazaną bezpośrednio nad nią. Dzięki temu będzie wiadomo, że żadne krzyżujące się przewodniki nie są ze sobą zwarte.

## Kolory przewodów

Chciałbym przedstawić Ci jeszcze jedno, tym razem naprawdę ostatnie zagadnienie związane ze schematami. Nie chcę mieć wątpliwości związanych z polaryzacją przewodów zasilających, a więc połączenia zwarte z dodatnim biegunem źródła prądu będą oznaczały kolorem czerwonym, a połączenia zwarte z ujemnym biegiunem będą oznaczały kolorem niebieskim. Konwencję tę będę stosował na wszystkich schematach przedstawionych w pozostała części tej książki. Konwencję tę stosowałem czasami wcześniej i została ona pozytywnie przyjęta przez czytelników, a więc tym razem postanowiłem korzystać z niej zawsze.

Ujemne przewody mają częściej kolor czarny (kolor taki ma np. próbnik Twojego miernika, a także

ujemny przewód złącza baterii), ale kolor niebieski jest moim zdaniem bardziej charakterystyczny.

Pamiętaj o tym, że na schematach niewchodzących w skład tej książki nie spotkasz kolorowych oznaczeń ułatwiających pracę. Wszystkie przewodniki na schematach mają zwykły kolor czarny i pracując z takimi schematami, będziesz musiał samodzielnie określić polaryzację przewodów.

## Eksperyment 7: Zabawa z przekaźnikiem

Następnym krokiem na naszej ścieżce odkrywania obwodów przełączających jest użycie zdalnie sterowanego przełącznika. Przez „zdalnie sterowany” rozumiem taki, do którego możesz wysłać sygnał, aby go włączyć lub wyłączyć. Tego typu przełącznik określany jest mianem **przekaźnika**, ponieważ przekazuje instrukcję z jednej części obwodu do innej.

- Często przekaźnik jest kontrolowany przez niskie napięcie lub prąd, natomiast przełączca większe napięcie lub większy prąd.

Taka konfiguracja może być bardzo wydajna. Na przykład kiedy uruchamiasz silnik samochodu, względnie mały i tani przełącznik wysyła sygnał pochodzący z silnika do przekaźnika, który uruchamia silnik przez krótki, grubszy i droższy przewód elektryczny zdolny do przenoszenia prądu rzędu 100 A.

Podobnie, kiedy podnosiš pokrywę ładowanej od góry pralki, gdy ta obraca bębnem, zamkasz obwód małego przełącznika, który wysyła sygnał o małej wartości przez cienki przewód do przekaźnika. Przekaźnik odpowiada za wyłączenie potężnego silnika, który obraca bębnem pełnym mokrych ubrań.

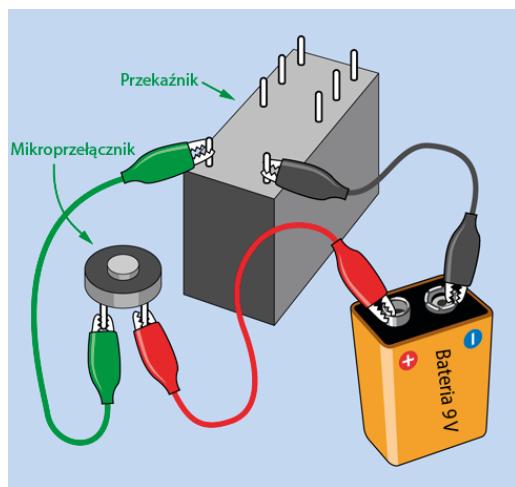
## Potrzebne będą:

- bateria 9 V, liczba: 1,
- przekaźnik DPDT, 9 V (DC), liczba: 2,
- mikroprzełącznik, SPST, liczba: 1,

- przewody obustronne zakończone zaciskami typu krokodyl, liczba: 5,
- nóż do prac technicznych, liczba: 1,
- multimetr, liczba: 1.

## Przekaźnik

Przekaźnik, którego użycie Ci zalecam, ma małe szpilkowate nóżki u dołu obudowy (dwa w pobliżu jednego końca i sześć w pobliżu drugiego końca). Sześć nóżek przekaźnika będzie ustawionych w dwóch rzędach zawierających po trzy złącza w każdym rzędzie (patrz rysunek 2.48). Prosimę, abyś kupił dwa przekaźniki. Jednego z nich będziesz mógł użyć w celach badawczych, tzn. będziesz mógł się do niego włamać i przekonać się, co znajduje się w środku. Jeżeli zrobisz to niezwykle ostrożnie, sam przekaźnik powinien później nadawać się do użytku. Jeżeli się nie uda, masz drugi w zapasie.



Rysunek 2.48. Pierwszy krok mający na celu wyjaśnienie pracy przekaźnika

## UWAGA: Problemy związane z polaryzacją

Niektóre przekaźniki są wyposażone w cewki wymagające dopływu prądu o odpowiedniej polaryzacji. Jeżeli prąd płynie przez cewkę w odpowiednim kierunku, to przekaźnik działa poprawnie, ale jeżeli

odwróciś kierunek jego przepływu (zmienisz polaryzację), to przekaźnik przestanie pracować.

Jest to szczególnie irytujące, jeżeli informacji na ten temat nie umieszczone w dokumentacji przekaźnika. W sekcji „Przekaźniki (niezbędne)” wymienitem kilka przekaźników, które pracują z prądem o dowolnej polaryzacji.

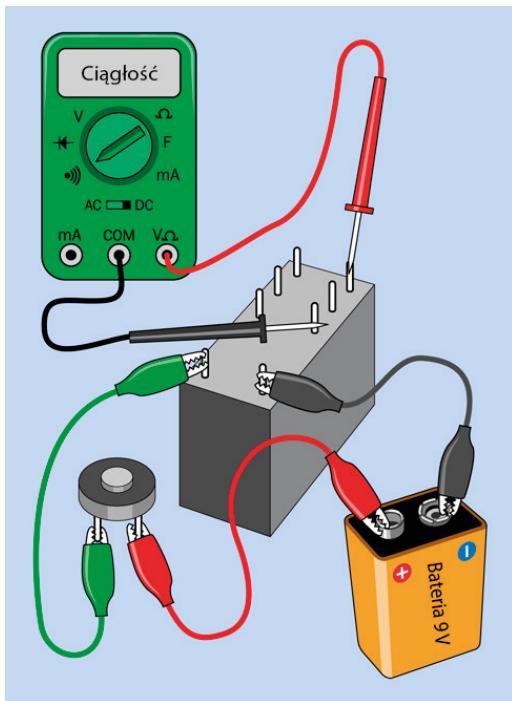
## Procedura

Korzystając z rysunku 2.48, podłącz przełącznik (przycisk) i przewody do przekaźnika. Komponenty na wspomnianym rysunku nie są przedstawione w skali. Gdy wciśniesz przycisk, to pomiędzy parę złączy, która jest oddzielona od reszty złączy przekaźnika, skierowany zostanie potencjał 9 V, w wyniku czego powinieneś usłyszeć ciche kliknięcie. Puść przycisk. Powinieneś usłyszeć drugie kliknięcie. Jeżeli Twój słuch nie należy do najlepszych, to dotknij ręką do obudowy przekaźnika. W momentach kliknięć powinieneś czuć niewielkie drgania.

Co się dzieje? Rozwiąż tę zagadkę za pomocą miernika. Włącz go w tryb pomiaru ciągłości obwodu i sprawdź jego działanie, zwierając ze sobą końcówki próbówek. Jeżeli nie usłyszysz brzęczenia, to znaczy, że wybrałeś zły tryb pracy miernika, bateria miernika jest rozładowana lub jedna z próbówek miernika jest podłączona do niewłaściwego gniazda.

Przyłóż próbniki do złączy przekaźnika tak, jak pokazano na rysunku 2.49, i wciśnij przycisk. Miernik powinien brzęczeć, gdy będziesz wciskać przycisk.

Brzęczenie miernika informuje o tym, że niektóre pary styków przekaźnika są ze sobą łączone po przyłożeniu napięcia do styków znajdujących się najbliżej Ciebie. Jeżeli masz problem z jednoczesnym przykładaniem próbówek do pinów i wciskaniem przycisku, to próbuj skorzystać z przewodów zakończonych zaciskami typu krokodyl (patrz rysunek 2.50). Jeden z zacisków każdego przewodu podłącz do próbówek miernika, a pozostałe zaciski podłącz do złączy przekaźnika. Dzięki temu będziesz miał wolne ręce.



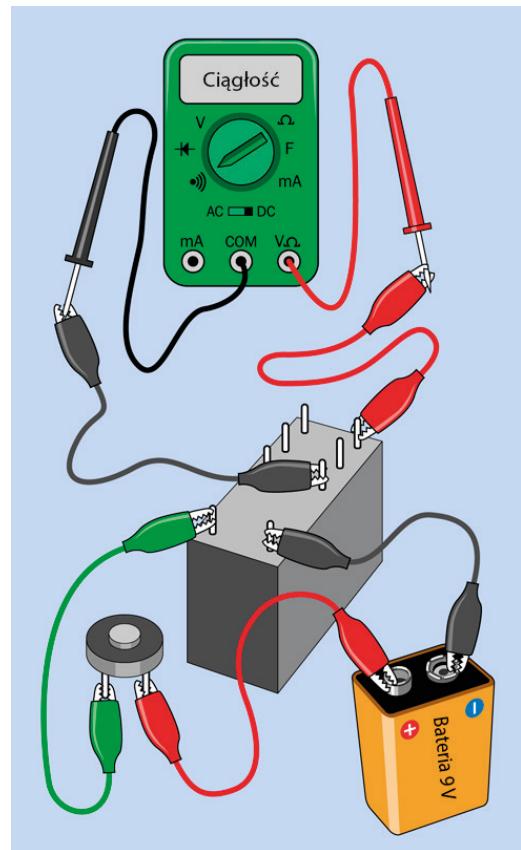
Rysunek 2.49. Krok drugi — pomiar ciągłości

Teraz przytóż czerwony próbnik — dotknij nim do wolnego pinu znajdującego się obok pinu, do którego dotykaś próbnikiem teraz (teraz dotykaś do najbardziej oddalonego od Ciebie pinu). Miernik powinien działać odwrotnie — brzęczeć wtedy, kiedy nie wciskasz przycisku, a milknąć, gdy go wciśniesz.

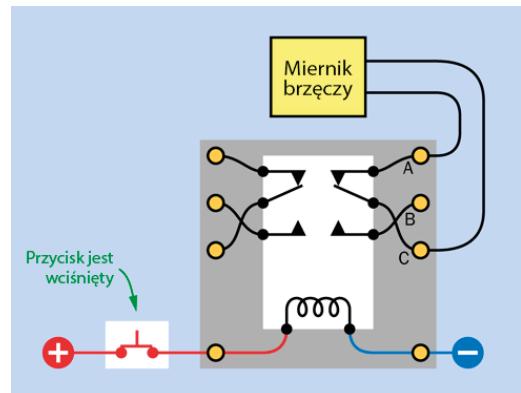
## Jak to działa?

Na rysunku 2.51 pokazano wnętrze przekaźnika, gdy prycziskasz przycisk. W dolnej części przekaźnika znajduje się cewka generująca pole magnetyczne poruszające parą przełączników znajdującej się wewnętrznie przekaźnika. Cewka poruszyła przełącznikiem znajdującym się po prawej stronie — zwiąż on pin A z pinem C, co spowodowało, że miernik wydał z siebie dźwięk.

Być może zastanawiasz się, dlaczego cewka przekaźnika odpływa od siebie elementy przełączników. Odpowiada za to wewnętrzny mechanizm przekaźnika przekształcający siłę ciągnącą na siłę



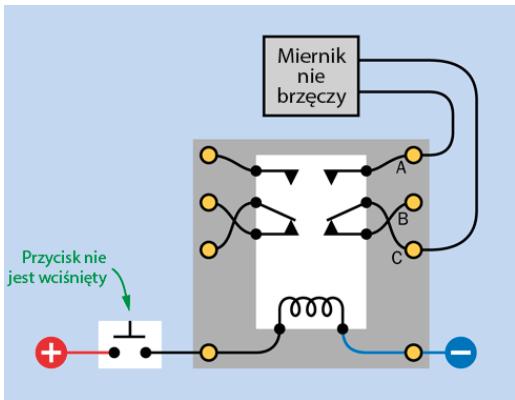
Rysunek 2.50. Do probówek możesz podłączyć przewody z zaciskami typu krokodyl — dzięki temu nie będziesz musiał trzymać probówek w rękach



Rysunek 2.51. Wnętrze przekaźnika, gdy przycisk jest wciśnięty (miernik brzęczy)

odpychającą. Konstrukcję tę zobaczysz w kolejnym eksperymencie, gdy otworzysz przekaźnik.

Na rysunku 2.52 pokazano pracę przekaźnika, gdy nie wciskasz przycisku. Styki przełączników wracają do położenia początkowego, przerwując połączenie pomiędzy pinami A i B. Powoduje to jednocześnie zwarcie pinów B i C. Styki pozostają w tej pozycji, gdy przez cewkę przekaźnika nie płynie prąd.



Rysunek 2.52. Wnętrze przekaźnika, gdy przycisk nie jest wciśnięty (miernik nie brzęczy)

## Inne przekaźniki

Uważam, że przedstawiłem najpopularniejszą konfigurację złączy przekaźników o tym rozmiarze, ale wiem, że są przekaźniki działające nieco inaczej. W pierwszym wydaniu tej książki korzystałem z zupełnie innego przekaźnika.

Skąd masz wiedzieć, jak działa przekaźnik dwubiegunkowy, dwupołożeniowy (DPDT), z którym nigdy wcześniej nie pracowałeś? Możesz podłączyć cewkę do prądu i sprawdzić miernikiem działanie różnych par pinów. Metodą eliminacji określisz funkcje poszczególnych pinów takiego przekaźnika.

Możesz również zjrzeć do noty katalogowej danego przekaźnika. Powinieneś w niej znaleźć schemat podobny do tego, który został przedstawiony na rysunku 2.21.

Czy to wszystko, co powinieneś wiedzieć o przekaźnikach? Nie, to dopiero wierzchołek góry lodowej.

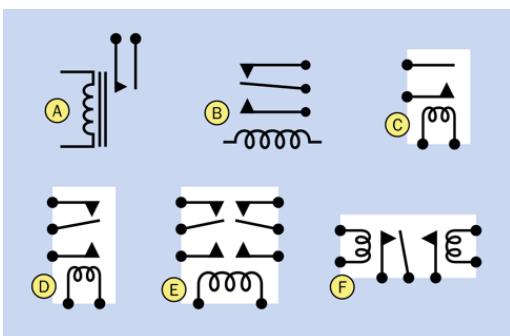
- Niektóre przekaźniki są **blokujące** — nie zmieniają swego położenia w wyniku odłączenia od zasilania. Przekaźniki blokujące są

zwykle wyposażone w **dwie cewki** poruszające przełącznikiem w obie strony.

- Niektóre przekaźniki są wyposażone w dwa biegury, a inne tylko w jeden biegun. Istnieją modele dwupolożeniowe i jednopolożeniowe.
- Niektóre cewki są przystosowane do pracy z prądem stałym, a inne z prądem przemiennym. Niektóre z cewek przystosowanych do pracy z prądem stałym wymagają przyłożenia prądu o określonej polaryzacji.

Jak zwykłe niezbędne informacje znajdziesz w notce katalogowej danego komponentu.

Na rysunku 2.53 pokazano schematyczne symbole różnych przekaźników. Typ A jest przekaźnikiem jednobiegunkowym, jednopolożeniowym. Typ B jest przekaźnikiem jednobiegunkowym, dwupołożeniowym. Typ C jest przekaźnikiem jednobiegunkowym, jednopolożeniowym narysowanym w konwencji, którą lubię stosować — zastosowano biały prostokąt przypominający o tym, że wszystkie elementy tworzą jeden komponent. Typ D jest przekaźnikiem jednobiegunkowym, dwupołożeniowym. Typ E jest przekaźnikiem dwubiegunkowym, dwupołożeniowym, a typ F jest blokującym przekaźnikiem jednobiegunkowym, dwupołożeniowym.



Rysunek 2.53. Różne schematyczne symbole przekaźników, szczegółowe informacje o każdym symbolu znajdziesz we wcześniejszych akapitach

Schematy przekaźników zawsze przedstawiają znajdujące się w nich przekaźniki w położeniu wyjściowym — położeniu, w którym znajdują się, gdy przez cewkę nie płynie prąd. Wyjątek stanowią

przekaźniki blokujące, które utrzymują zadane położenie przełączników nawet po odłączeniu zasilania od przekaźnika.

Testowateś **przekaźnik małosygnalowy** — przekaźnik taki nie może sterować pracą obwodów, przez które płynie prąd o dużym natężeniu. Większe przekaźniki mogą sterować pracą obwodów, przez które płynie prąd o natężeniu wielu amperów. Wybrany przez Ciebie przekaźnik powinien móc pracować przynajmniej z maksymalnym prądem, jaki może płynąć w tworzywie przez Ciebie obwódzie. W przeciwnym wypadku iskrzenie spowodowane przeciążeniem styków przekaźnika doprowadzi do jego uszkodzenia.

W kolejnych eksperymentach poznasz praktyczne zastosowania przekaźników — dowiesz się, jak można stosować przekaźniki w domowych instalacjach alarmowych. Wcześniej pokażę Ci, jak można zamienić przekaźnik w brzęczący oscylator, ale najpierw spróbujmy zatrzeć do środka przekaźnika.

## Otwieranie przekaźnika

Jeżeli jesteś niecierpliwy, to możesz otworzyć przekaźnik za pomocą metod pokazanych na rysunkach 2.54 i 2.55. Jednak lepiej by było, gdybyś skorzystał z bardziej przyziemnego narzędzia — noża do otwierania paczek lub innego noża do prac technicznych.

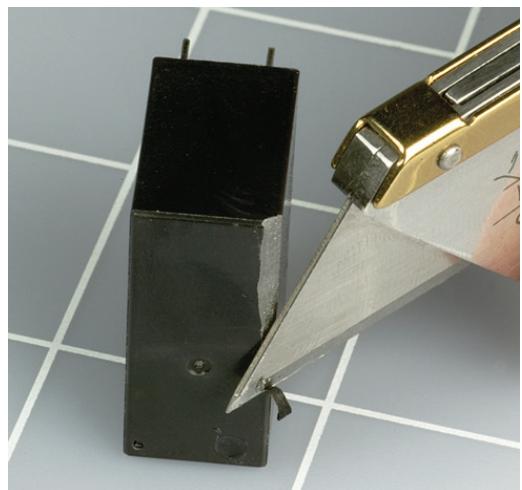


Rysunek 2.54. Pierwsza możliwość otwarcia obudowy przekaźnika (raczej niezalecana)

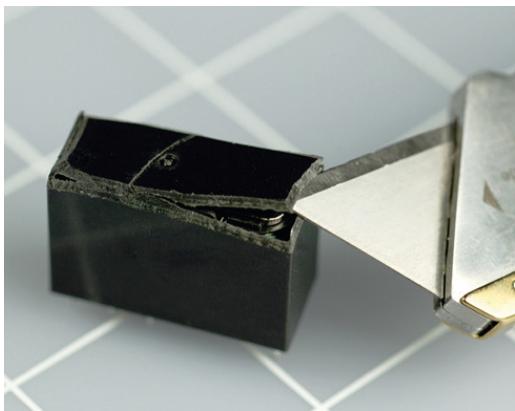


Rysunek 2.55. Druga możliwość otwarcia obudowy przekaźnika (z pewnością niezalecana)

Preferowaną przeze mnie technikę otwierania pokazuję rysunki 2.56 i 2.57. Odcinaj delikatnie krawędzie plastikowej powłoki zawierającej przekaźnik aż do momentu, kiedy powstanie minimalna przerwa. Nie posuwaj się dalej; elementy w środku znajdują się bardzo blisko krawędzi. Teraz zdejmij góre. Powtórz te czynności z pozostałymi krawędziami obudowy.



Rysunek 2.56. Zaczni od odcięcia plastikowych krawędzi obudowy; cięcia wykonuj od góry do dołu (w stronę powierzchni, na której pracujesz)

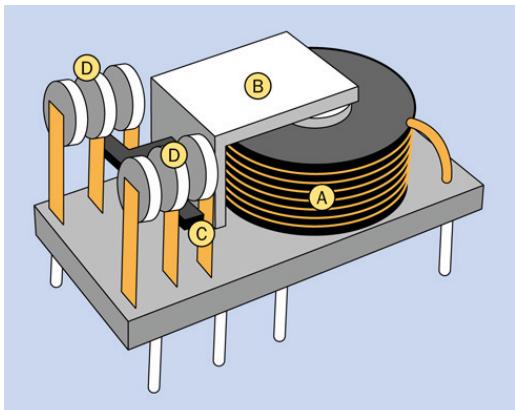


Rysunek 2.57. Po odcięciu krawędzi powinieneś być w stanie usunąć jedną ze ścian obudowy przekaźnika

Jeżeli wykonasz te czynności z należytą uwagą, to będziesz dysponował otwartym przekaźnikiem, który będzie wciąż pracował po podłączeniu jego cewki do prądu.

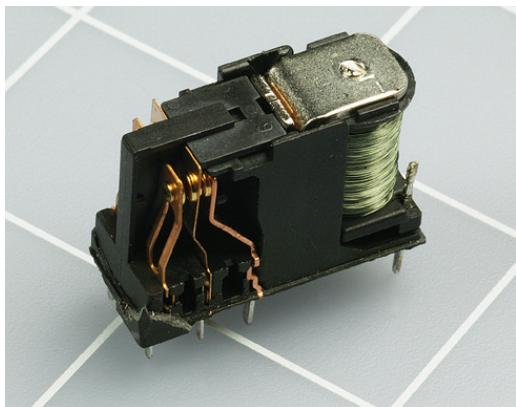
#### Co jest w środku przekaźnika

Na rysunku 2.58 przedstawiono w uproszczeniu wnętrze typowego przekaźnika. Cewka (A) wytwarza pole magnetyczne przesuwające dźwignię (B) w dół. Plastikowy element (C) napiera na giętkie metalowe paski i przesuwa biegony przekaźnika (D) pomiędzy kontaktami. Zaprezentowany przekaźnik wygląda nieco inaczej od przekaźnika, który polecam do zastosowania w eksperymentach opisanych w tej książce, ale oba komponenty działają na tej samej zasadzie.



Rysunek 2.58. Uproszczone wnętrze przekaźnika, opis komponentów znajdziesz w powyższym akapicie

Porównaj ten schemat z wnętrzem otwartego przeze mnie przekaźnika (patrz rysunek 2.59).



Rysunek 2.59. Wnętrze przekaźnika, oczka kratki narysowanej na podłożu są kwadratami o długości boku równej 2,5 cm

Na rysunku 2.60 pokazano cztery przekaźniki różnego typu zasilane napięciem 12 V. Przekaźnik stosowany w samochodach (skrajnie lewy) jest najprostszy i najbliższym do zrozumienia, ponieważ przy jego projektowaniu rozmiar obudowy nie miał szczególnego znaczenia. Mniejsze przekaźniki są zaprojektowane bardziej pomysłowo, ich konstrukcja jest bardziej złożona i trudniejsza do rozpracowania. Mniejsze przekaźniki są przeważnie przeznaczone do przełączania mniejszych prądów niż ich większe odpowiedniki.



Rysunek 2.60. Przekaźniki różnego typu zasilane napięciem 12 V; więcej informacji znajdziesz we wcześniejszym akapicie

## PODSTAWY: Terminologia związana z przekaźnikami

**Napięcie znamionowe:** Napięcie, jakiego powinieneś użyć do zasilenia przekaźnika.

**Minimalne napięcie zadziałania:** Minimalne napięcie, jakiego potrzebuje przekaźnik, aby zamknąć styki. Będzie ono minimalnie mniejsze od idealnego napięcia znamionowego. Napięcie to jest minimalnym napięciem, przy którym przekaźnik zadziała.

**Prąd pracy:** Prąd płynący przez cewkę, zwykle wyrażany w miliamperach, po zasilaniu przekaźnika. Czasami zamiast prądu określa się pobór mocy cewki wyrażony w miliwatach.

**Obciążalność styków:** Maksymalny prąd możliwy do przełączania pomiędzy kontaktami w przekaźniku. Zazwyczaj jest on wyrażony w odniesieniu do **obciążenia rezystancyjnego**, tzn. dla urządzenia pasywnego, takiego jak żarówka. Jeżeli używasz przekaźnika do przełączania silnika, musisz wieǳieć, że ten bierze znacznie większy prąd przy rozruchu niż podczas regularnej pracy. Dla takiego przypadku (o ile dokumentacja przekaźnika nie określa maksymalnego **obciążenia indukcyjnego**, przykładem takiego obciążenia jest np. silnik) najlepiej będzie, jeśli wybierzesz przekaźnik radzący sobie z prądem dwa razy większym od tego, jaki silnik pobiera w czasie normalnej pracy.

## Eksperyment 8: Oscylator zbudowany na przekaźniku

Przewody z zaciskami typu krokodyl, z których korzystałeś w poprzednim eksperymencie, miały dwie duże zalety: obwód mogłeś połączyć szybko, a połączenia były łatwe do prześledzenia.

Przedej czy później będziesz musiał przyzwyczaić się do szybszego, bardziej wygodnego, bardziej poręcznego i bardziej uniwersalnego sposobu łączenia obwodów — pracy z **płytką prototypową niewymagającą wykonywania połączeń lutowniczych**,

będącą najczęściej używaną podstawą dla większości prototypowych obwodów.

W latach 40. ubiegłego wieku obwody były tworzone na platformach, które wyglądały jak deski do krojenia chleba. Przewody i komponenty były unieruchamiane za pomocą gwoździ, klamer i śrub. Rozwiązywanie to było wygodniejsze od instalacji komponentów na metalowych podstawach. Przypominam, że tworzywa sztuczne były wtedy rzadko spotykane, a słowo „plastik” nie było jeszcze znane. Potrafisz to sobie wyobrazić?

Dzisiaj termin „płytką prototypową” jest używany w odniesieniu do plastikowego elementu o wymiarach około  $5 \times 18$  cm i grubości 1 cm (patrz rysunek 2.10). Rozwiązywanie to stało się najpopularniejszym systemem łączenia komponentów. Jedynym problemem związanym z pracą z tego typu płytą jest to, że otwory płytki są połączone za pomocą niewidocznych z zewnątrz przewodników, ale pomogę Ci rozwiązać ten problem.

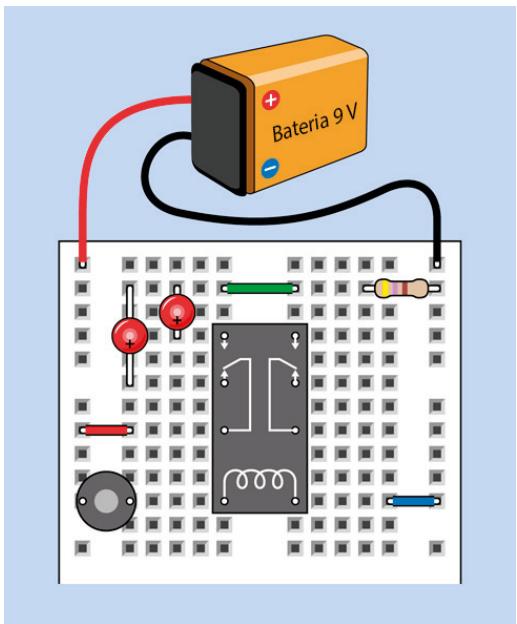
Najlepszym sposobem na nauczenie się pracy z płytą prototypową jest wykonanie na niej obwodu, co za chwilę zrobimy, rozbudowując wcześniejszy eksperyment, w którym badaliśmy pracę przekaźnika.

### Potrzebne będą:

- bateria 9 V, liczba: 1,
- klips baterii, liczba: 1,
- płytka prototypowa, liczba: 1,
- przekaźnik DPDT 9 V DC, liczba: 1,
- diody LED, liczba: 2,
- mikroprzełącznik, liczba: 1,
- rezistor  $470 \Omega$ , liczba: 1,
- kondensator elektrolityczny,  $1000 \mu\text{F}$ , liczba: 1,
- kombinerki, szczypce do cięcia drutu, przyrząd do zdejmowania izolacji, liczba: po jednym egzemplarzu,
- drut montażowy w przynajmniej dwóch kolorach, nie więcej niż 30 cm drutu każdego koloru.

## Początki pracy z płytą prototypową

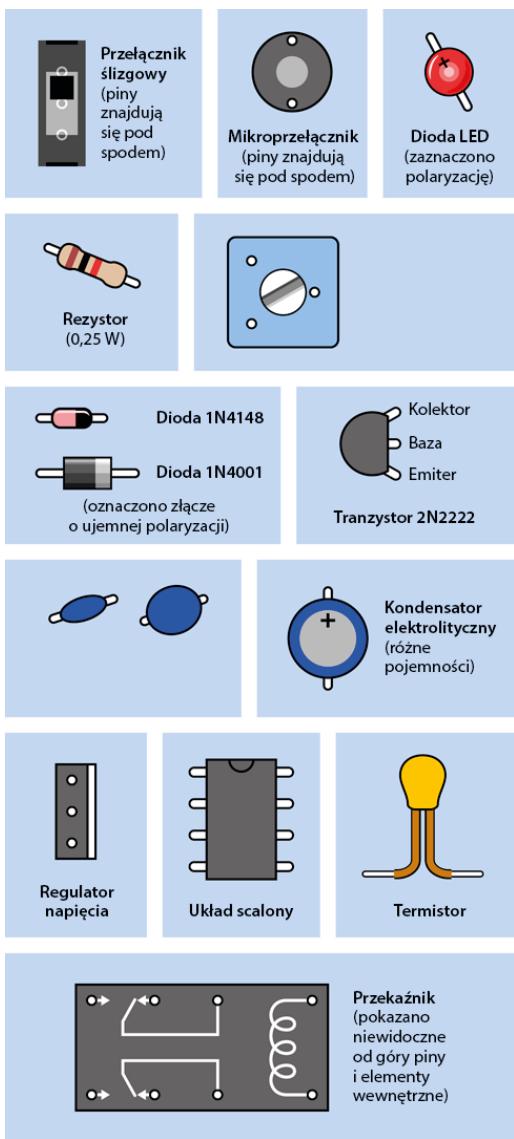
Na rysunku 2.61 pokazano widzianą od góry płytę zainstalowanymi na niej komponentami tworzącymi obwód. Chciałbym, abyś zbudował taki obwód.



Rysunek 2.61. Obwód przeznaczony do testowania przekaźnika zbudowany na bazie płytki prototypowej

Zapewne zastanawiasz się nad tym, co oznaczają symbole widoczne na rysunku 2.61. Na rysunku 2.62 znajdziesz opis wszystkich symboli stosowanych w tej książce na schematach wykonawczych obwodów budowanych na bazie płytki prototypowej. Co prawda nie spotkasz jeszcze wszystkich komponentów przedstawionych na rysunku 2.62, ale gdy je spotkasz, będziesz mógł wrócić do rysunku i poznać ich symbol.

Przekaźnik z poprzedniego eksperymentu widoczny jest na środku rysunku 2.61. Patrząc na przekaźnik od góry, nie widzi się jego złącza — złącza te są wpięte w płytę znajdująca się pod przekaźnikiem. Na schemacie pokazałem piny, abyś wiedział, w które otwory montażowe należy je podłączyć (złącza cewki są zwrócone w stronę dolnej części rysunku). Dodatkowo, dla przypomnienia, umieściłem



Rysunek 2.62. Symbole komponentów stosowane na schematach wykonawczych ułatwiających pracę z płytą prototypową

na schemacie symbole połączeń pomiędzy komponentami znajdującymi się wewnątrz przekaźnika. Przekaźnik jest ustawiony w pozycji wyjściowej — w pozycji, w której zatrzymuje się po odłączeniu przekaźnika od prądu.

Szary okrągły obiekt to przycisk zwany mikroprzełącznikiem. Symbol ten wygląda jak przeświecenie — zawiera znajdujące się pod spodem piny

— rozwiążanie takie ułatwia podłączenie go do właściwych otworów montażowych.

Dwa czerwone i okrągłe obiekty to diody LED. Montując je, zadbaj o to, aby ich dłuższe złącza były zwrócone w tym samym kierunku co znak plus widoczny na schemacie.

Rezystor charakteryzuje się opornością  $470\ \Omega$  — możesz ustalić to na podstawie kolorów pasków znajdujących się na jego obudowie.

Czerwone, zielone i niebieskie linie wyglądające jak przewody są przewodami podłączonymi do płytki. W kolejnej sekcji dowiesz się, jak je wykonać.

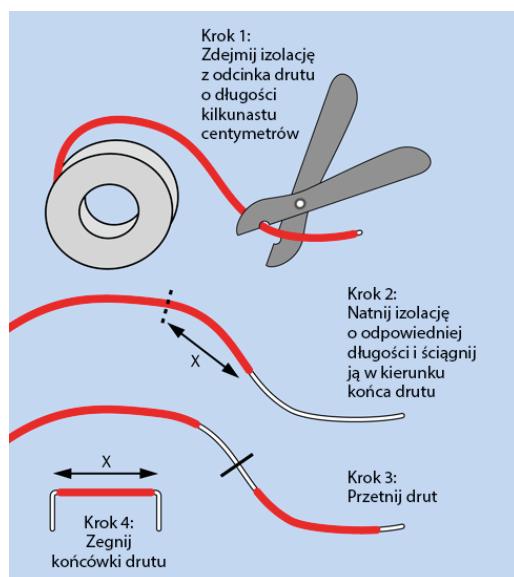
## Tworzenie przewodów połączeniowych

Jeżeli kupiłeś zestaw drutu montażowego pociętego na mniejsze fragmenty, z końców których zdjęto izolację, to możesz je od razu wtykać we właściwe otwory płytki prototypowej, ale zastosowane przez Ciebie przewody mogą być innego koloru niż te, które zaznaczyłem na rysunku.

Zalecam samodzielne tworzenie przewodów połączeniowych (pisałem o tym wcześniej). Procedurę ich obróbki przedstawiłem na rysunku 2.63. Najpierw zdejmij izolację z odcinka drutu o długości kilkunastu centymetrów. W tym celu złap drut lewą ręką (jeżeli jesteś osobą leworęczną, to złap go prawą ręką), a w drugą rękę weź przyrząd do zdejmowania izolacji. Drut wtłóż w otwór przyrządu przystosowany do średnicy posiadanej przez Ciebie drutu, a następnie zaciśnij przyrząd na drucie i ściagnij nim izolację.

Następnie ocen długość, jaką musi mieć widoczna część przewodu zainstalowanego na płytce. Powiedzmy, że długość ta wynosi  $X\ cm$ . Odmierz  $X\ cm$  izolacji pozostałej na drucie, przetnij ją, a następnie przesuń ją tak, aby znalazła się mniej więcej 1 cm od końca drutu.

Przetnij drut za pomocą odpowiednich szczypów lub kombinerek mniej więcej 1 cm za odcinkiem izolacji o długości  $X$  przesuniętej w stronę końca drutu.



Rysunek 2.63. Procedura tworzenia przewodów połączeniowych; szczegółowy opis czynności znajdziesz w tekście

Następnie weź kombinerki i wygnij końcówki drutu. Nie pasuje idealnie? Za jakiś czas będziesz umiał wykonywać przewody połączeniowe, oceniając niezbędne odległości na wyczucie.

## Zasilanie

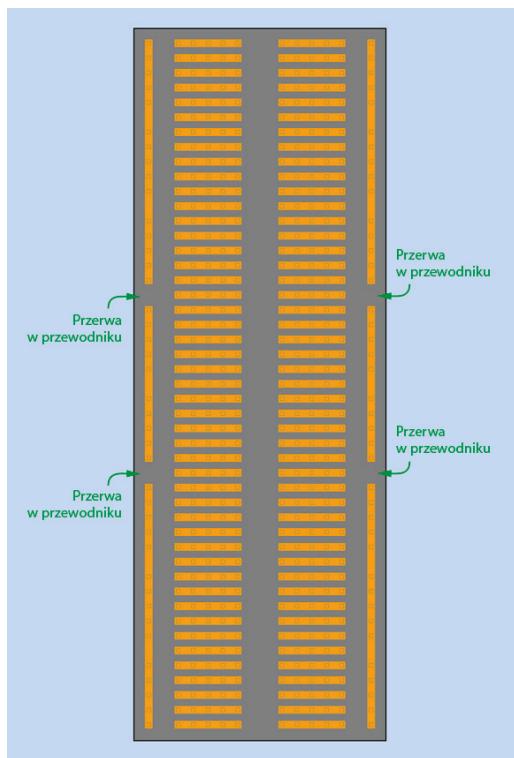
Na koniec musisz podłączyć do obwodu baterię 9 V. Końcówki przewodów klipsa baterii powinny być pokryte cyną umożliwiającą podłączenie ich do otworów płytki prototypowej. Jeżeli masz problem z ich podłączeniem, to spróbuj je włożyć, utrzymując je za pomocą kombinerek. Jeżeli nadal masz problem z ich podłączeniem, to możesz usunąć izolację z kolejnych kilku milimetrów przewodów.

Po podłączeniu przewodów do płytki prototypowej załącz klips na baterię, co zasugerowano na rysunku 2.61. Po podłączeniu zasilania do płytki dioda LED znajdująca się po lewej stronie powinna świecić. Wciśnięcie przycisku spowoduje domknięcie obwodu drugiej diody LED przez przekaźnik. Druga dioda będzie wtedy świecić. Gratulacje! Właśnie wykonałeś swój pierwszy obwód na płytce prototypowej.

Teraz zastanówmy się, dlaczego ten obwód działa.

## Wewnętrz płytki

Na rysunku 2.64 pokazano miedziane paski znajdujące się wewnętrz płytki prototypowej. Do tych małych prostokątów zostaną podłączone piny komponentów zamontowanych w otworach montażowych płytki.



Rysunek 2.64. Połączenia pomiędzy otworami płytki prototypowej wyposażonej w pojedyncze szyny zasilające

Pionowe paski określa się mianem szyn. Przez szyny płyną elektryny — szyny przewodzą prąd z dodatniego i ujemnego bieguna źródła prądu.

- W tej książce dodatni biegum źródła prądu łączę z szyną znajdującą się po lewej stronie płytki, a ujemny biegum źródła prądu łączę z szyną znajdującą się po prawej stronie płytki.

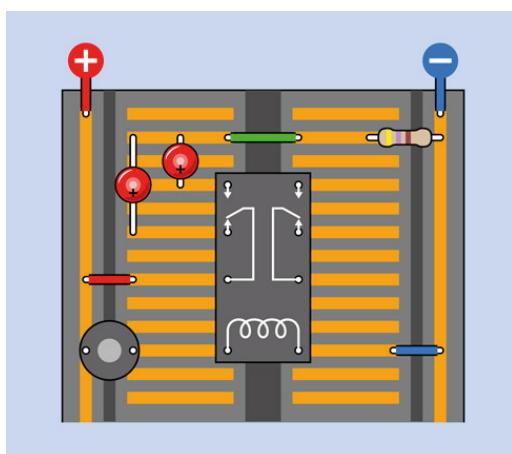
Zauważ, że każda szyna posiada dwie przerwy. Rozwiążanie takie nie jest stosowane we wszystkich płytach. Pozwala ono na zasilanie różnych części obwodów za pomocą różnych źródeł napięcia.

W praktyce rzadko się z niego korzysta, a przerwy w szynach zasilających są irytuje, ponieważ wiele użytkowników zapomina o nich. Jeżeli podczas pracy nad większym obwodem zajmującym miejsce również w dolnej części płytki odkryjesz, że prąd nie dopływa do połowy obwodu, może to oznaczać, że zapomniałeś zewrzeć ze sobą poszczególne odcinki szyn zasilających.

Jeżeli zajdzie taka konieczność, to będę Ci o tym przypominał.

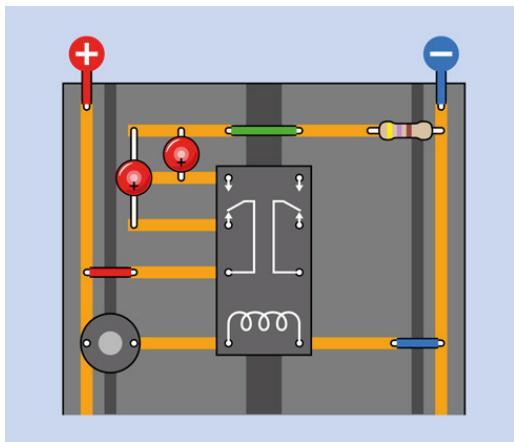
## Wyjaśnienie działania obwodu z przekaźnikiem

Na rysunku 2.65 pokazano miedziane paski znajdujące się wewnętrz płytki prototypowej. Paski te łączą komponenty zainstalowane na płytce. Prąd płynie po długich ścieżkach, ale ścieżki te są wykonane z miedzi, a więc charakteryzują się niską rezystancją.



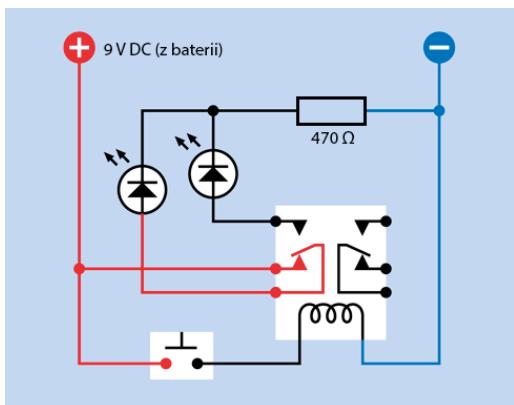
Rysunek 2.65. Komponenty zainstalowane na płytce prototypowej są połączone za pomocą miedzianych pasków znajdujących się wewnętrz płytki

Schemat ten będzie czytelniejszy po ukryciu miedzianych pasków, przez które nie płynie prąd. Obwód składający się tylko z użytkowanych elementów pokazano na rysunku 2.66.



Rysunek 2.66. Zmodyfikowana wersja schematu — usunięto miedziane paski, przez które w tym obwodzie nie płynie prąd

Teraz przyjrzyj się schematowi ideowemu tego obwodu pokazanemu na rysunku 2.67. Komponenty umieściłem tak, aby były ułożone w sposób podobny do ułożenia ich na płytce prototypowej. W dalszej części książki będę nakłaniał Cię do samodzielnego tworzenia schematów wykonawczych na podstawie schematów ideowych, ale zanim to nastąpi, musisz zdobyć pewne doświadczenie.

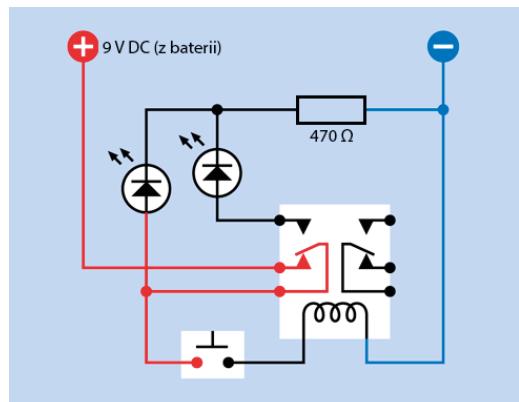


Rysunek 2.67. Schemat ideowy obwodu, który wykonales na płytce prototypowej

Czy zastanawiasz się, dlaczego tylko jeden rezistor  $470\ \Omega$  chroni dwie diody LED? Zastosowano jeden rezistor, ponieważ diody nie świecą jednocześnie.

## Dodawanie funkcji brzęczenia

Czas zmodyfikować obwód, aby jego działanie było ciekawsze. Popatrz na nowy schemat przedstawiony na rysunku 2.68 i porównaj go ze schematem widocznym na rysunku 2.67. Czy widzisz różnicę? W poprzednim obwodzie przycisk, przez który płynie prąd zasilający cewkę, był podłączony bezpośrednio do baterii. Teraz przycisk ten będzie podłączony do jednego ze złączy przekaźnika. Jaki będzie to miał wpływ na działanie obwodu?

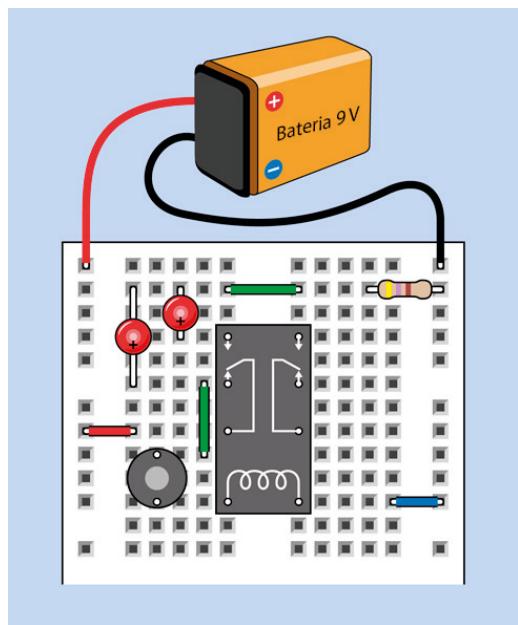


Rysunek 2.68. Schemat zmodyfikowanej wersji obwodu — prąd płynący do przycisku będzie przepływał wcześniej przez jedno ze złączy przekaźnika

Na rysunku 2.69 pokazano, w jaki sposób możesz zmodyfikować swój poprzedni obwód. Wystarczy, że obróciszesz przełącznik o  $90^\circ$  i podłączysz go do tego samego pinu przekaźnika, który zasila diodę LED znajdującą się po lewej stronie. Połączenie to należy wykonać za pomocą dodatkowego przewodu (na rysunku oznaczylem go kolorem zielonym).

Wciśnij na chwilę przycisk. Co się dzieje? Z przekaźnika dochodzi brzęczenie. Jeżeli Twój słuch nie należy do najlepszych, to dotknij przekaźnika dłonią — powinieneś poczuć drgania.

Czy wiesz, co się dzieje? W położeniu początkowym przełącznik znajdujący się wewnętrznie przekaźnika dostarcza prąd do diody LED znajdującej się po lewej stronie, a także do przycisku. Po wciśnięciu przycisku zasilana jest cewka przekaźnika. Przepływ prądu przez cewkę powoduje przestawienie



Rysunek 2.69. Zmodyfikowana wersja obwodu

wspomnianego przełącznika w górną pozycję, co powoduje przerwanie dopływu prądu do cewki i powrót przełącznika do pozycji wyjściowej, co ponownie wywołuje przepływ prądu przez cewkę — cykl zostaje powtórzony.

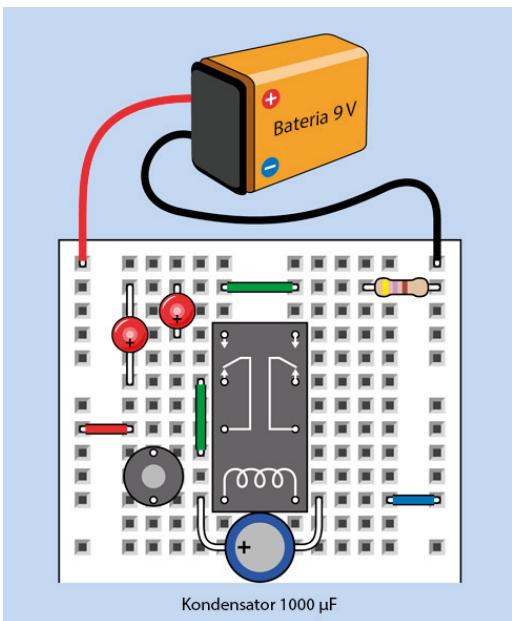
Dochodzi do **oscylacji** przekaźnika pomiędzy dwoma stanami.

Korzystasz z małego przekaźnika, a więc przełączanie pomiędzy pozycjami włączony i wyłączony jest bardzo szybkie. Dochodzi do niego około 20 razy na sekundę (proces ten przebiega zbyt szybko, aby diody LED mogły wygenerować światło).

- Jeżeli pozwolisz na pracę przekaźnika w takiej formie, narazisz go na spalenie lub uszkodzenie kontaktów. Dlatego prosiłem, abyś nacisnął przycisk jedynie na krótką chwilę. Aby uczynić ten obwód bardziej praktycznym, potrzebujemy jakiegoś środka do spowolnienia przekaźnika i zapobieżenia jego samoznieszczeniu. Tym środkiem jest kondensator.

## Dodawanie pojemności

Podłącz kondensator elektrolityczny o pojemności  $1000 \mu\text{F}$  równolegle do cewki przekaźnika, tak jak pokazuje to rysunek 2.70 tak, aby krótsze złącze kondensatora było podłączone do ujemnej części obwodu (w przeciwnym wypadku obwód nie zadziała). Ujemny biegum kondensatora jest dodatkowo oznaczony za pomocą znaku minusa nadrukowanego na jego obudowie. Na schemacie oznaczyłem biegum dodatni, ponieważ znak plusa jest czytelniejszy od znaku minusa, a dodatkowo chciałbym ujednolicić oznaczenia wszystkich komponentów z oznaczeniami, jakie przyjąłem dla diod LED.



Rysunek 2.70. Dodanie kondensatora sprawia, że przekaźnik oscyluje wolniej

- Kondensatory elektrolityczne bardzo źle znoszą odwrotne podłączenie do obwodu — mogą ulec zniszczeniu. Polaryzację kondensatora sprawdź dwukrotnie.

Jeśli teraz naciśniesz przycisk, przekaźnik powinien zacząć kliknąć o wiele wolniej. Dlaczego tak się dzieje?

Kondensator można porównać do miniaturowej baterii wielokrotnego ładowania. Jest ona tak mała, że

ładuje się w ciągu ułamka sekundy, zanim przekaźnik będzie miał czas na otwarcie swojej położonej niżej pary kontaktów. Potem, kiedy kontakty zostaną otwarte, kondensator zachowuje się jak bateria i zasila przekaźnik (i diodę LED znajdująca się po lewej stronie). Cewka otrzymuje energię przez około sekundę. Po wyczerpaniu energii przez kondensator przekaźnik powraca do stanu spoczynku i cały proces się powtarza.

Podczas tego procesu kondensator jest naprzemienne **ładowany i rozładowywany**.

Odtłącz prawą diodę LED. Zobaczysz, że lewa dioda LED pulsuje w przyjemny sposób stopniowo rozładowując kondensator.

Kondensator podczas ładowania pobiera prąd o dużym natężeniu, a więc jeżeli podczas tego eksperymentu będziesz zbyt długo przytrzymywać przycisk, to możesz doprowadzić do przegrzania mikroprzełącznika.

## PODSTAWY: Farady

**Farad** (F) jest jednostką miary pojemności elektrycznej. Nazwa tej jednostki pochodzi od nazwiska Michaela Faradaya — kolejnego pioniera elektryczności.

Farad jest dużą jednostką, która dzieli się na mikrofarady ( $\mu\text{F}$  — milionowe części farada), nanofarady ( $\text{nF}$  — tysięczne części mikrofarada) i pikofarady ( $\text{pF}$  — tysięczne części nanofarada). W Europie (częściej niż w Stanach Zjednoczonych) używane są nanofarady. W USA pojemność jest częściej wyrażana w pikofaradach i ułamkach mikrofaradów.

Tabela 2.2 przedstawia zależności pomiędzy pikofaradami, nanofaradami, mikrofaradami i faradami.

## UWAGA: Kondensator może być niebezpieczny

Jeżeli duży kondensator zostanie naładowany przy użyciu wysokiego napięcia, jego ładunek może

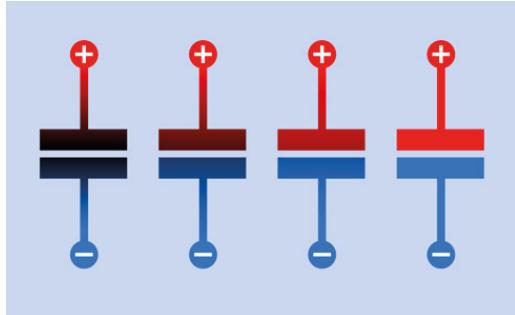
**Tabela 2.2.** Zależności pomiędzy pikofaradami, nanofaradami, mikrofaradami i faradami

Pikofarady	Nanofarady	Mikrofarady	Farady
<b>1 pF</b>	0,001 nF	0,000001 $\mu\text{F}$	
10 pF	0,01 nF	0,00001 $\mu\text{F}$	
100 pF	0,1 nF	0,0001 $\mu\text{F}$	
1 000 pF	<b>1 nF</b>	0,001 $\mu\text{F}$	
10 000 pF	10 nF	0,01 $\mu\text{F}$	
100 000 pF	100 nF	0,1 $\mu\text{F}$	
1 000 000 pF	1 000 nF	<b>1 <math>\mu\text{F}</math></b>	0,000001 F
		10 $\mu\text{F}$	0,00001 F
		100 $\mu\text{F}$	0,0001 F
		1 000 $\mu\text{F}$	0,001 F
		10 000 $\mu\text{F}$	0,01 F
		100 000 $\mu\text{F}$	0,1 F
		1 000 000 $\mu\text{F}$	<b>1 F</b>

przetrwać długi okres. Ponieważ obwody elektryczne budowane z pomocą tej książki używają bardzo niskiego napięcia, nie musisz martwić się tym zagrożeniem, ale jeśli będziesz dostatecznie lekkomyslny, aby włamać się do starego odbiornika telewizyjnego i zacząć w nim grzebać (czego nie polecam), może Cię spotkać niemila niespodzianka. Rozładowujący się kondensator może zabić Cię z równą łatwością co włożenie palców do gniazdka elektrycznego.

## PODSTAWY: Kondensatory

Wewnątrz kondensatora nie istnieje żadne połączenia elektryczne. Oba złącza kondensatora są połączone ze znajdującymi się wewnątrz niego **ptytkami (okładzinami)**, które znajdują się w pewnej odległości od siebie i są rozdzielone izolatorem zwany również **dielektrykiem**. Prąd stały nie płynie przez kondensator, ale przyłożone napięcie prowadzi do bardzo szybkiego nagromadzenia się w jego wnętrzu ładunku (patrz rysunek 2.71), ponieważ ładunek zgromadzony na jednej płytce przyciąga przeciwny ładunek zgromadzony na drugiej płytce.



Rysunek 2.71. W kondensatorze po podłączeniu do baterii zostanie zgromadzony ładunek

W większości nowoczesnych kondensatorów elektrolitycznych dwie płytki kondensatora zostały zredukowane do dwóch pasków bardzo cienkiej i giętkiej metalowej folii.

Kondensatory wykonywane są najczęściej jako ceramiczne (o względnie małej pojemności) i elektrolityczne (mogące przechowywać duży ładunek). Starsze kondensatory ceramiczne mają często

ksztalt dysku, a nowsze mają kształt zaokrąglonej kropli. Kondensatory elektrolityczne przypominają aluminiowe puszki z napojami i mogą być niemal dowolnego koloru, ale najczęściej mają kolor czarny.

Kondensatory ceramiczne nie mają polaryzacji, możesz podłączyć ujemne napięcie do którejkolwiek nóżki. Kondensatory elektrolityczne mają polaryzację i nie będą działać, jeśli nie podłączysz ich w prawidłowy sposób.

Symbol reprezentujący kondensator ma dwie istotne odmiany: z dwoma prostymi liniami (symbolizującymi okładziny w jego wnętrzu — taki kondensator nie ma określonej polaryzacji) lub z jedną linią prostą i jedną wykrzywioną. Widząc wykrzywioną linię, powinieneś przyjąć, że ta strona kondensatora powinna być przyłączona do niższego potencjału niż druga. Symbole na schemacie mogą również zawierać znak plus (+). Symbole te przedstawiono na rysunku 2.72.



Rysunek 2.72. Dwa warianty symbolu oznaczającego kondensator; więcej informacji na ich temat znajdziesz w tekście

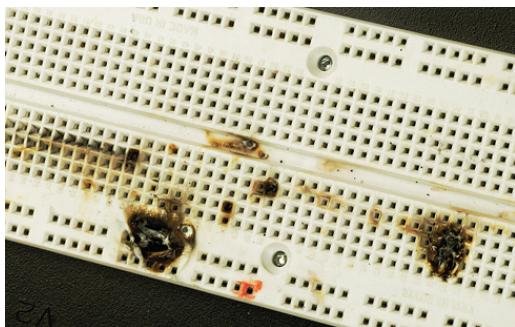
Symbol z wygiętą okładziną jest dzisiaj rzadko spotykany. Zakłada się, że będziesz wiedział, jak należy podłączyć kondensator elektrolityczny do obwodu. Ponadto powstały wielowarstwowe kondensatory ceramiczne charakteryzujące się większą pojemnością — kondensatory te mogą zastąpić część kondensatorów elektrolitycznych.

- Na moich schematach ideowych zobaczysz tylko symbol niewskazujący polaryzacji. To, czy zastosujesz kondensator elektrolityczny, czy ceramiczny, zależy od Ciebie.
- Na schematach wykonawczych przedstawiających komponenty zainstalowane na płytach prototypowych zaznaczam miejsca, w których najprawdopodobniej będziesz

chciał wstawić kondensatory elektrolityczne, ale gdybyś chciał, możesz zastąpić je kondensatorami ceramicznymi.

## UWAGA: Zwracaj uwagę na polaryzację kondensatora!

Okładziny najpopularniejszych kondensatorów elektrolitycznych są wykonane z aluminium. Rzadziej spotykane są okładziny wykonane z tantalu i niobu. Wszystkie te kondensatory wymagają zachowania polaryzacji. Na rysunku 2.73 przedstawiono efekt odwrotnego zainstalowania kondensatora tantalowego na płytce prototypowej (został on podłączony do źródła dostarczającego prąd o dużym natężeniu). Po minucie kondensator wybuchł, rozzrucząc wokół siebie małe płonące fragmenty, które wtopiły się w powierzchnię płytki. To dobra nauczka: zawsze zwracaj uwagę na polaryzację!



Rysunek 2.73. Do tej płytki przez przypadek wpięty został odwrotnie kondensator tantalowy, a źródło zasilania było w stanie wygenerować duży przepływ prądu

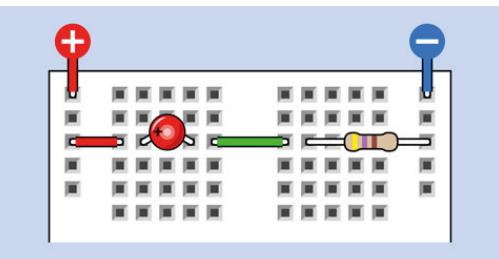
## PODSTAWY: Wyszukiwanie uszkodzeń

Gdy będziesz tworzył coraz bardziej skomplikowane obwody na swojej płytce prototypowej, prawdopodobieństwo popełnienia błędu będzie coraz wyższe. Każdy może się pomylić.

Jednym z błędów najczęściej popełnianych podczas pracy z płytą prototypową jest podłączenie przewodu do niewłaściwego rzędu otworów. Błąd ten jest szczególnie łatwy do popełnienia w przypadku komponentów takich jak przekaźniki, których piny

są niewidoczne. Czasem, gdy instaluję komponenty, wyciągam je i sprawdzam, czy ich złącza wchodzą we właściwe otwory, a następnie dociskam je z powrotem do płytki.

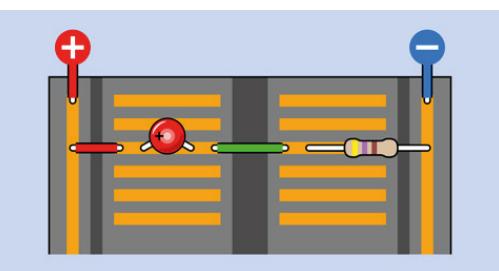
Trudniejszym do zlokalizowania błędem może być pomyłka wynikająca z nieznanosci wewnętrznej konstrukcji płytki prototypowej. Przyjrzyj się rysunkowi 2.74. Czy wyobrażasz sobie prostszy obwód? Prąd o dodatnim natężeniu wpływa do diody LED, przepływa przez fragment drutu, a następnie przez rezistor wpływa do ujemnej szyny zasilającej. W rzeczywistości obwód ten nie działa. Gwarantuję to.



Rysunek 2.74. Czy potrafisz powiedzieć, dla czego ten obwód nie działa?

Sytuacja pogorszy się, jeżeli zamienisz miejscami rezistor i diodę LED. Wtedy dioda LED ulegnie natychmiastowemu spaleniu.

Aby to zrozumieć, przyjrzyj się prześwietleniu płytki prototypowej (patrz rysunek 2.75). Problem polega na tym, że oba złącza diody LED są podłączone do tego samego paska znajdującego się wewnątrz płytki. Prąd może popływać przez diodę LED lub przez miedziany pasek. Rezystancja paska jest



Rysunek 2.75. Prześwietlenie płytka prototypowa wyjaśniające przyczynę nieprawidłowej pracy obwodu

wielokrotnie niższa od rezystancji diody LED, a więc większość elektronów popłynie przez pasek, a dioda LED nie będzie świecić.

Można popełnić również wiele innych błędów. Jak znajdować je szybko i wydajnie? Musisz postępować metodycznie, wykonując kolejno następujące czynności:

**1. Sprawdź napięcia.** Czerwony próbnik miernika podłącz do otworu znajdującego się w górnej części dodatniej szyny zasilającej Twojej płytki prototypowej. Ustaw miernik w tryb pomiaru napięcia prądu stałego (chyba że w eksperymencie zasugerowano pomiar napięcia przemiennego). Upewnij się, że zasilanie obwodu jest włączone. Teraz dotykaj czarnym próbnikiem miernika do różnych punktów szyny masy. Miernik powinien wskazywać napięcie zbliżone do napięcia źródła zasilającego obwód. Jeżeli trafisz na potencjał zbliżony do zera, to prawdopodobnie zapomniałeś zewrzeć ze sobą przerwane odcinki szyny. Jeżeli miernik wskaże napięcie rzędu kilku woltów, które będzie znaczco niższe od napięcia prądu zasilającego obwód, to w Twoim obwodzie mogło gdzieś dojść do zwarcia, w wyniku którego prąd o dużym natężeniu jest pobierany z baterii, co z kolei powoduje spadek różnicy potencjałów pomiędzy biegunami baterii (jeżeli zasilasz obwód baterią).

Teraz podłącz czarny próbnik do złącza znajdującego się w górnej części szyny masy i sprawdź ciągłość dodatniej szyny zasilającej za pomocą czerwonego próbnika.

Na koniec pozostaw czarny próbnik wetknietą w górną część szyny masy i za pomocą czerwonego próbnika sprawdź napięcia w losowo wybranych miejscach obwodu. Jeżeli znajdziesz gdzieś napięcie bliskie zeru, to znaczy, że prawdopodobnie gdzieś brakuje połączenia albo jakiś komponent lub przewód nie styka się dobrze z miedzianymi elementami znajdującymi się wewnętrz płytki prototypowej.

**2. Sprawdź umiejscowienie elementów.** Upewnij się, że wszystkie przewody połączeniowe i złącza wszystkich komponentów są włożone we właściwe otwory płytki prototypowej.

**3. Sprawdź, czy komponenty są zwrócone we właściwym kierunku.** Diody, tranzystory i spolaryzowane kondensatory muszą być zwrócone we właściwym kierunku. Gdy w dalszej części książki rozpocznesz pracę z układami scalonymi, pamiętaj o konieczności sprawdzania tego, czy są one zwrócone we właściwym kierunku. Dodatkowo sprawdź, czy żadne złącze instalowanego czipu nie zgęsto się i nie trafia w otwór płytki prototypowej.

**4. Sprawdź styk.** Dość rzadko może dojść do sytuacji, w której komponent nie styka się dobrze z elementami przewodzącymi prąd znajdującymi się wewnętrz płytki prototypowej (może być to przyczyną zerowego napięcia lub czasowego przerywania pracy obwodu). Problem ten występuje częściej w przypadku najtańszych płyt. Aby go rozwiązać, spróbuj przenieść komponenty w inne otwory płytki prototypowej. Problem ten występuje również częściej, gdy do płytki podłącza się druty o średnicy mniejszej od 0,64 mm.

**5. Sprawdź wartości charakterystyczne dla komponentów.** Sprawdź, czy zastosowałeś rezystory o właściwej rezystancji i kondensatory o właściwej pojemności. Rezystancję każdego rezystora instalowanego na płytce sprawdzam uprzednio za pomocą miernika. Jest to dość czasochłonne, ale w dłuższej perspektywie może wiązać się z brakiem konieczności tracenia czasu na poszukiwanie źródła problemów.

**6. Sprawdź, czy komponenty nie są uszkodzone.** Układy scalone i tranzystory mogą zostać uszkodzone przez prąd o niewłaściwym napięciu, niewłaściwą polaryzację lub ładunki elektrostatyczne. Postaraj się mieć zawsze

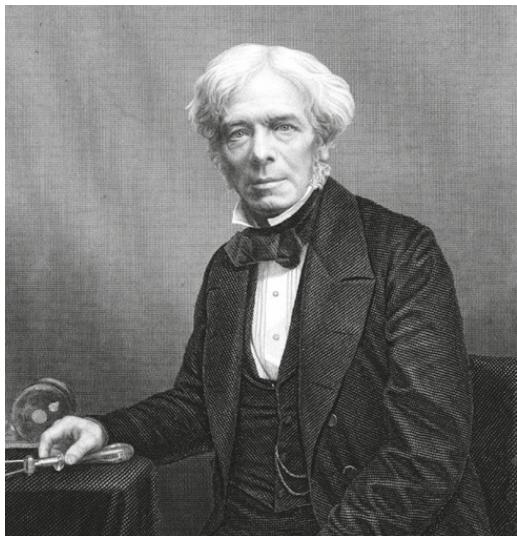
pod ręką zapasowe komponenty, aby móc wymienić uszkodzony egzemplarz.

**7. Sprawdź siebie!** Gdy wszystko zawiedzie, zrób sobie przerwę. Zbyt długa praca może zawęzić Twoje pole widzenia i sprawić, że nie zauważysz źródła problemu. Jeżeli zrobisz sobie przerwę, a następnie ponownie wróciś do poszukiwania źródeł problemu, to źródło to może nagle wydać się oczywiste.

Możesz zaznaczyć tę procedurę za pomocą zakładki. Dzięki temu będziesz mógł szybko do niej wrócić w razie problemów z którymś z obwodów.

## TEORIA: Michael Faraday i kondensatory

Pojemność elektryczna jest mierzona w faradach. Jednostka ta pochodzi od nazwiska kolejnego pioniera w dziedzinie elektryczności — Michaela Faradaya (patrz rysunek 2.76). Był on angielskim chemikiem i fizykiem, żyjącym w latach 1791 – 1867.



Rysunek 2.76. Michael Faraday, nazwa jednostki pojemności elektrycznej pochodzi od jego nazwiska

Chociaż Faraday nie był człowiekiem wykształconym, a także słabo znał się na matematyce, miał możliwość przestudiowania różnorodnych książek podczas siedmioletniej pracy jako uczeń introligatorstwa i dzięki

temu samodzielnie wykształcenia się. Ponadto żył w czasach, kiedy względnie proste eksperymenty prowadziły do odkrywania fundamentalnych praw związanych z elektrycznością. To wszystko sprawiło, że dokonał wielkich odkryć. Wśród nich znalazła się indukcja elektromagnetyczna — zjawisko, które otworzyło drogę do rozwoju silników elektrycznych. Odkrył również, że magnetyzm może wpływać na promienie światła.

Jego praca przyniosła mu niesamowite zaszczyty, a jego podobizna była w latach od 1991 do 2001 drukowana na brytyjskich banknotach o nominale 20 funtów.

## Eksperyment 9: Czas i kondensatory

Elektrony poruszają się z prędkością bliską prędkości światła, ale możemy z nich korzystać podczas pomiaru czasu wyrażonego w sekundach, minutach, a nawet godzinach. W tym eksperymencie dowiesz się, jak to jest możliwe.

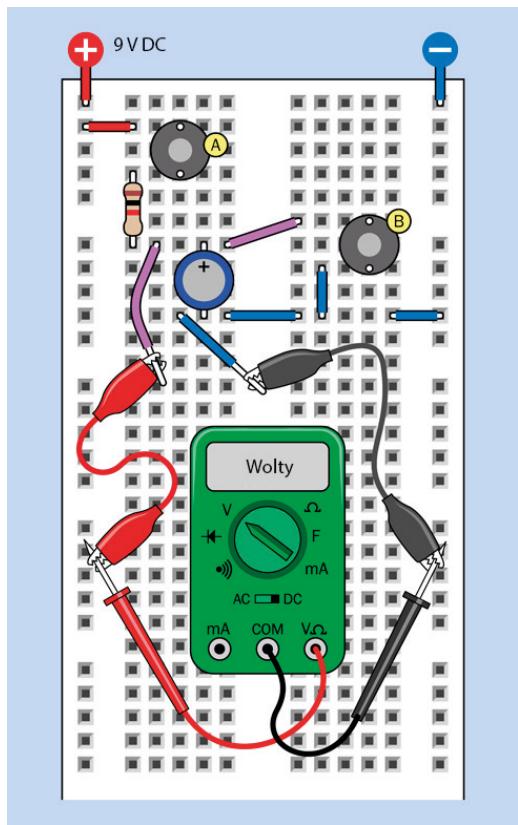
### Potrzebne będą:

- płytka prototypowa, przewody połączeniowe, szczypce do cięcia drutu, szczypce do zdejmowania izolacji, przewody z końcówkami typu krokodyl, multymetr,
- bateria 9 V wraz z klipsem, liczba: 1,
- mikroprzełącznik przyciskany, liczba: 2,
- standardowa dioda LED, liczba: 1,
- rezystory:  $470\ \Omega$ ,  $1\ k\Omega$ ,  $10\ k\Omega$  (po jednym każdego rodzaju),
- kondensatory:  $0,1\ \mu F$ ,  $1\ \mu F$ ,  $10\ \mu F$ ,  $100\ \mu F$ ,  $1000\ \mu F$  (po jednym każdego rodzaju).

### Ładowanie kondensatora

Ustaw miernik w tryb pomiaru napięcia prądu stałego i sprawdź napięcie baterii. Jeżeli jest niższe od 9,2 V, to znaczy, że do wykonania tego eksperymentu potrzebujesz nowszej baterii.

Na płytce prototypowej zainstaluj dwa mikroprzełączniki, rezystor  $1\text{ k}\Omega$  i kondensator  $1000\text{ }\mu\text{F}$  (patrz rysunek 2.77). Miernik podłącz do obwodu za pomocą przewodów z końcówkami typu krokodyl. Dzięki nim będziesz miał wolne ręce, dokonując pomiaru napięcia.

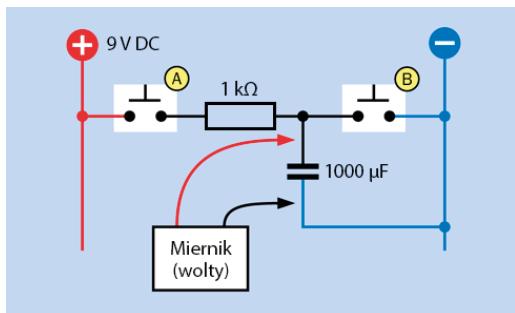


Rysunek 2.77. Prosty obwód służący do pomiaru czasu ładowania kondensatora; kondensator ma pojemność  $1000\text{ }\mu\text{F}$ , a rezystor charakteryzuje się rezystancją  $1\text{ k}\Omega$

Załóż klips na baterię i podłącz przewody zasilające do szyn płytki prototypowej (dodatni biegum baterii należy połączyć z szyną znajdującą się po lewej stronie).

Jeżeli miernik wskazuje potencjał większy od  $0,1\text{ V}$ , to rozładowaj kondensator, wciskając przycisk B zwierającej oba biegury kondensatora.

Schemat ideowy tego obwodu pokazano na rysunku 2.78. Schemat ten pomoże Ci zrozumieć zasadę pracy obwodu.



Rysunek 2.78. Schemat ideowy obwodu zaprezentowanego wcześniej na schemacie wykonawczym

Teraz wciśnij i przytrzymaj przycisk A i za pomocą stopera lub smartfona zmierz czas, w którym napięcie kondensatora osiągnie poziom  $9,0\text{ V}$ . Jeżeli Twój miernik automatycznie dobiera zakres pomiarowy, to na początku rozpoczęcie pomiary w miliwoltach, a wraz ze wzrostem napięcia przełączy się w tryb pomiaru woltów. W przypadku mojego obwodu ładowanie kondensatora trwało ponad trzy sekundy.

Napływ elektronów do kondensatora spowodował, że ładunek zgromadzony na jego dodatniej okładzinie stał się „bardziej dodatni”, a ładunek zgromadzony na jego ujemnej okładzinie stał się „bardziej ujemny”. Różnica potencjałów pomiędzy złączami kondensatora wzrosła i nie doszło pomiędzy nimi do przepływu prądu. Jedną z pierwszych informacji dotyczących kondensatorów, jaką znajdziesz w większości książek dotyczących elektroniki jest to, że:

- Kondensatory blokują przepływ prądu stałego.

Stwierdzenie to jest prawdziwe, dopóki do kondensatora przyłożony jest stały potencjał elektryczny.

## Układ RC

Rezystor  $1\text{ k}\Omega$  zastąp rezystorem  $10\text{ k}\Omega$ . Jeżeli miernik wciąż pokazuje jakąś różnicę potencjałów pomiędzy złączami kondensatora, to rozładowuj go, wciskając przycisk B.

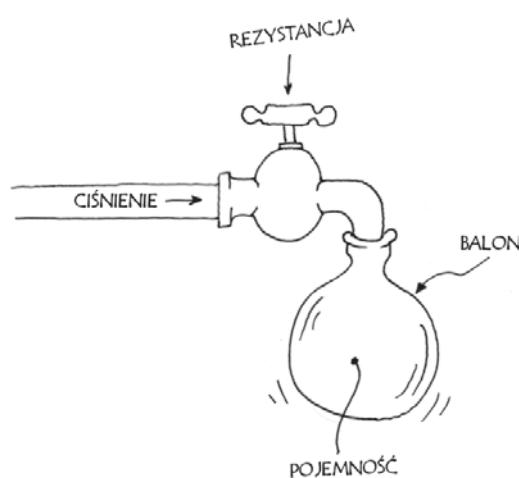
Powtórz eksperiment. Jak długo kondensator ładowany jest prądem płynącym przez rezystor  $10\text{ k}\Omega$ ?

Takie proste połączenie rezystora z kondensatorem określamy mianem **układu RC** (R od ang. *resistor* — rezystor, C od ang. *capacitor* — kondensator). Jest to bardzo ważna koncepcja w elektronice. Zanim wyjaśnię pracę układu, oto niektóre pytania, nad którymi warto się zastanowić:

- Czy ładowanie kondensatora prądem płynącym przez rezystor  $10\text{ k}\Omega$  do osiągnięcia napięcia  $9,0\text{ V}$  trwało 10 razy dłużej niż ładowanie go prądem płynącym przez rezystor  $1\text{ k}\Omega$ ?
- Czy napięcie na kondensatorze rosło w sposób liniowy, czy wzrastało szybciej na początku lub na końcu eksperymentu?
- Czy kondensator może kiedykolwiek osiągnąć napięcie równe napięciu baterii zmierzonymu na początku eksperymentu?

## Napięcie, rezystancja i pojemność

Wyobraź sobie, że rezystor to kurek kranowy, a kondensator to balon, który usiłujesz wypełnić wodą (patrz rysunek 2.79). Kiedy przykręcisz kurek do tego stopnia, że z kranu lecieć będzie jedynie strużka wody, wypełnienie balonu wodą potrwa dłużej.



Rysunek 2.79. Elektrony wpływające do kondensatora można porównać z wodą wpływającą do balonu

Zmniejszony przepływ wody nadal jednak doprowadzi do całkowitego napełnienia balonu wodą i (przy założeniu, że balon nie pęknie) ustanie w chwili, kiedy ciśnienie wewnętrz balonu będzie odpowiadać ciśnieniu w przewodach dostarczających wodę.

W opisie tego zjawiska pominięto ważny czynnik. Balon napełniany wodą rozciąga się, wywierając większe ciśnienie na znajdującą się w nim wodę. Wraz ze wzrostem ciśnienia wewnętrz balonu wzrasta opór stawiany wodzie wpływającej do niego. W związku z tym możemy się spodziewać, że woda będzie z czasem wpływać do balonu wolniej.

Jak ten czynnik wygląda w przypadku elektronów wpływających do kondensatora? Podobnie — początkowo elektrony wpływają bardzo szybko do kondensatora, ponieważ znajduje się w nim bardzo dużo wolnych dziur elektronowych. Kolejnym elektronom znalezienie wolnej dziury zajmuje więcej czasu. Proces ładowania zaczyna przebiegać coraz wolniej. Teoretycznie ładowany kondensator nigdy nie osiąga napięcia prądu ładującego.

## TEORIA: Stała czasowa

Prędkość ładowania kondensatora jest mierzona za pomocą funkcji zwanej stałą czasową. Jej definicja jest bardzo prosta:

$$RC = R \times C$$

gdzie  $RC$  to stała czasowa wyrażona w sekundach,  $C$  to pojemność kondensatora wyrażona w faradach, ładowana przez rezystor o rezystancji  $R$  wyrażonej w omach.

Wróć do obwodu, który skonstruowałeś na początku. Wartości poszczególnych komponentów możemy podstawić do wzoru, jednak wartości te musimy zamienić wcześniej na farady i omły.  $1000\text{ }\mu\text{F}$  to  $0,001$  farada, a  $1\text{ k}\Omega$  to  $1000$  omów, co daje po podstawieniu:

$$RC = 1000 \times 0,001$$

W związku z tym dla podanej rezystancji i pojemności  $RC = 1$ .

Czy to oznacza, że kondensator zostanie naładowany do pełna w ciągu jednej sekundy? Nie, to nie takie proste.

- Stała czasowa RC to czas, jaki zajmuje kondensatorowi pozyskanie ładunku będącego odpowiednikiem 63% przyłożonego napięcia, przy założeniu, że proces zaczął się od napięcia 0 V.

A jeżeli ładowanie kondensatora nie zaczęło się od potencjału 0 V? Jeżeli pomiar rozpoczęmy w momencie, gdy kondensator charakteryzuje się już jakimś napięciem, to sprawia się nieco komplikuje. Jeżeli  $U_{\text{róż}}$  jest różnicą napięcia kondensatora i napięcia zasilania, to RC jest liczbą sekund niezbędną dla kondensatora do dodania do swojego obecnego potencjału 63%  $U_{\text{róż}}$ .

(Dlaczego akurat 63%? Odpowiedź na to pytanie jest zbyt skomplikowana, aby udzielać jej w tej książce. Informacji na ten temat możesz poszukać w innej literaturze. Przygotuj się na obecność równań różniczkowych).

Chciałbym przedstawić Ci analogię, która ułatwii Ci zrozumienie tego zjawiska. Na rysunku 2.80 przedstawiono kogoś jedzącego okrągły torcik. W pierwszej chwili osoba ta jest bardzo głodna i zjada 63% tortu w ciągu jednej sekundy. Po tym pierwszym zaspokojeniu głodu nie jest ona już tak zachłanna i zjada jedynie 63% pozostałej części w ciągu tego samego czasu co poprzednio. W ramach trzeciej porcji zjada 63% tego, co jeszcze pozostało, ponownie w takim samym czasie, jaki zajęło jej zjedzenie poprzedniego kawałka. Sytuacja powtarza się dalej. O tej osobie można powiedzieć, że zachowuje się podobnie do kondensatora „zdającejego” ładunek elektryczny. Na talerzu zawsze pozostanie kilka okruchów do zjedzenia, ponieważ miłośnik ciasta nigdy nie zjada 100% tego, co pozostało na talerzu. Podobnie, kondensator nigdy nie pozyska pełnego ładunku. W idealnym świecie perfekcyjnych komponentów ten proces byłby kontynuowany w nieskończoność.

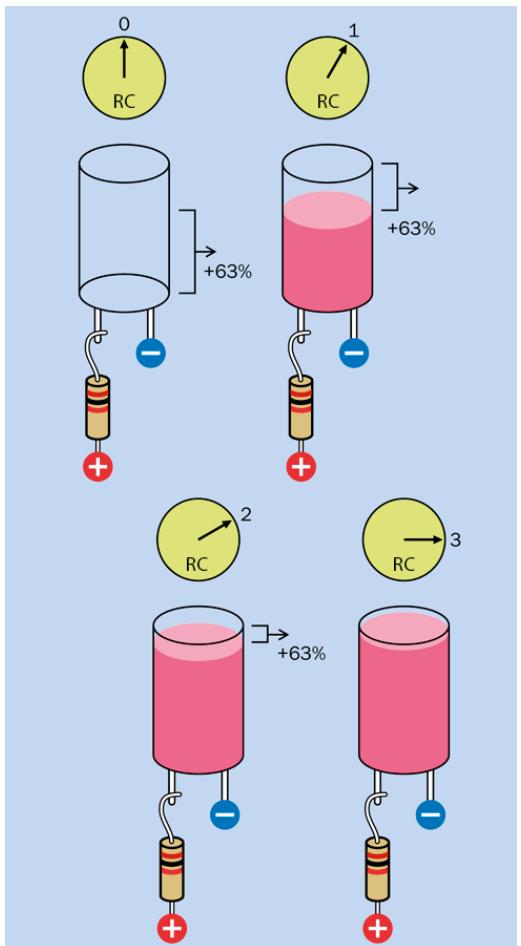


Rysunek 2.80. Jeżeli nasz smakosz zjada zawsze jedynie 63% ciasta pozostającego na talerzu, „ładuje” swój brzuch w taki sam sposób, jak robi to kondensator. Niezależnie od tego, jak długo będzie kontynuował posiłek, jego brzuch nigdy nie zostanie napelniony całą porcją ciasta

Proces ten pokazano w nieco innym sposobie na rysunku 2.81. Po upływie każdej stałej czasowej ( kolejnych sekund w przypadku kondensatora  $1000 \mu\text{F}$  i rezystora  $1\text{k}\Omega$ ) kondensator pobiera kolejne 63% różnicy pomiędzy zgromadzonym dotychczas ładunkiem a przyłożonym do niego napięciem.

W idealnym świecie i przy idealnych komponentach proces ładowania kondensatora trwałby nieskończonie długo. W rzeczywistym świecie mówimy nieco arbitralnie, że:

- Po czasie  $5 \times RC$  kondensator będzie niemal w pełni naładowany i możemy uznać, że proces ładowania został zakończony.



Rysunek 2.81. Inne spojrzenie na proces ładowania kondensatora

## TEORIA: Tworzenie wykresu

Chcę stworzyć wykres ilustrujący zmianę napięcia na ładowanym kondensatorze. W tym celu obliczę niezbędne dane za pomocą wzoru na stałą czasową.

Załóżmy, że  $U_{\text{kond}}$  jest chwilowym napięciem na kondensatorze, a  $U_{\text{róż}}$  jest (tak jak wcześniej) różnicą pomiędzy chwilowym napięciem kondensatora a napięciem ładowania. Poniższy wzór posłuży do określenia nowego napięcia na kondensatorze po upływie stałej czasowej. Nową wartość napięcia oznaczę symbolem  $U_{\text{nowe}}$ . Wzór ma następującą postać:

$$U_{\text{nowe}} = U_{\text{kond}} + (0,63 \times U_{\text{róż}})$$

Wartość 0,63 równa jest 63%.

Załóżmy, że bateria dostarcza prąd o napięciu równym dokładnie 9 V, a początkowy ładunek kondensatora wynosił dokładnie 0 V, a więc  $U_{\text{kond}} = 0$  V, a  $U_{\text{róż}} = 9$  V. Podstawmy te wartości do wzoru:

$$U_{\text{nowe}} = 0 + (0,63 \times 9)$$

Mój kalkulator poinformował mnie, że  $0,63 \times 9 = 5,67$  V. Po upłynięciu jednej stałej czasowej (w przypadku rezystancji 1 kΩ i pojemności 1000 μF jest to czas jednej sekundy) napięcie kondensatora osiągnęło wartość 5,67 V.

Jaki ładunek kondensator przyjmie w ciągu kolejnej sekundy? Musimy powtórzyć obliczenia, stosując nowe wartości. Obecnie napięcie kondensatora  $U_{\text{kond}}$  wynosi 5,67 V. Bateria wciąż dostarcza prąd o napięciu 9 V, a więc  $U_{\text{róż}} = 9 - 5,67 = 3,33$ . Podstawiamy te wartości do wzoru:

$$U_{\text{nowe}} = 5,67 + (0,63 \times 3,33)$$

Mój kalkulator poinformował mnie, że  $0,63 \times 3,33 = \text{około } 2,1$ , a  $2,1 + 5,67 = 7,77$ . Po upłynięciu dwóch sekund napięcie kondensatora wynosi 7,77 V.

Obliczenia możemy powtórzyć dowolną liczbą razy, tworząc ciąg liczb (zaokrąglony do dwóch liczb po przecinku) będących napięciami kondensatora po upływie kolejnych sekund, z założeniem, że napięcie zasilające kondensator to 9 V.

Po 1 sekundzie: 5,67 volta.

Po 2 sekundach: 7,87 volta.

Po 3 sekundach: 8,54 volta.

Po 4 sekundach: 8,83 volta.

Po 5 sekundach: 8,94 volta.

Po 6 sekundach: 8,98 volta.

Na rysunku 2.82 przedstawiono wykres. Powstał on w wyniku połączenia wyznaczonych punktów za pomocą krzywej. Nie obliczałem napięcia po upływie 6 sekund, ponieważ wartości te są bardzo zbliżone do 9 V.



Rysunek 2.82. Wykres ilustrujący gromadzenie się ładunku na okładzinach kondensatora

## Doświadczenie weryfikujące teorię

Zaprezentowałem sposób obliczania ładunku kondensatora w obwodzie RC. Jak można sprawdzić poprawność tej teorii? Czy powinieneś po prostu mi zaufać?

Powinieneś sprawdzić ją sam na drodze eksperymentu. Eksperymenty są ważną częścią procesu nauki przez odkrywanie.

Wróć do obwodu, który wykonałeś wcześniej. Upewnij się, że znajduje się w nim rezystor  $10\text{ k}\Omega$ , a nie  $1\text{ k}\Omega$ . Poproś znajomego, aby usiadł koło Ciebie i mierzył czas, gdy Ty będziesz obserwować napięcie mierzone przez multymetr. Co 10 sekund Twój przyjaciel będzie mówił „Teraz!”, a Ty będziesz zapisywać napięcie wskazywane wtedy przez miernik. Procedurę tę należy wykonać w ciągu jednej minuty.

W obwodzie znajduje się rezystor  $10\text{ k}\Omega$ , a nie  $1\text{ k}\Omega$ . Stała czasowa wynosi teraz 10 sekund, a nie 1 sekundę. Zmierzone przez Ciebie napięcia powinny być zbliżone do wartości, które obliczałem dla jednosekundowych interwałów, ale Ty będziesz dokonywać pomiarów co 10 sekund.

Zmierzone przez Ciebie napięcia powinny być zbliżone do wartości, które uzyskałem na podstawie obliczeń, ale nie będą one dokładnie takie same. Dlaczego? Istnieje wiele powodów.

- Twoja bateria generuje nieco inne napięcie od mojej.
- Rezystancja Twojego rezystora nie jest dokładnie równa  $10\,000\,\Omega$ .
- Pojemność Twojego kondensatora nie jest dokładnie równa  $1000\,\mu\text{F}$ .
- Twój miernik nie charakteryzuje się idealną dokładnością.
- Odczyt wskazań miernika trwa kilka mikrosekund.
- Twój kolega może nie informować Cię o upłynięciu dokładnie 10 sekund.

Istnieją jeszcze dwa inne czynniki, które mogły Ci nie przyjść do głowy. Po pierwsze, kondensatory nie przechowują prądu w sposób idealny. Charakteryzują się pewnym stopniowym **prądem upływu**. Prąd upływa z kondensatora nawet podczas ładowania. Pod koniec procesu ładowania dopływ elektronów jest tak wolny, że prąd upływu staje się ważnym czynnikiem.

Ponadto Twój miernik charakteryzuje się pewną wewnętrzną rezystancją, która jest co prawda dość duża, ale powoduje ona pobór niewielkiego prądu przez miernik. Tak, przyrząd pomiarowy wpływa na mierzoną wielkość! To dość powszechny problem w fizyce i inżynierii.

Czynniki te można zminimalizować, ale nie można wyeliminować ich całkowicie. Każdy eksperyment obarczony jest pewną granicą błędu. Jest to problematyczne, gdy próbujesz przeprowadzić eksperyment weryfikujący jakąś teorię. Weryfikacja może być żmudnym procesem wymagającym sporej dozy cierpliwości. To właśnie dlatego teoretycy mają inne osobowości od osób preferujących doświadczenia.

## Sprzężenie pojemnościowe

Gdy już wiesz, że kondensatory mogą być ładowane i rozładowywane, wróćmy do jednego z moich stwierdzeń:

- Kondensatory blokują przepływ prądu stałego.

Jak zapewne pamiętasz, stwierdzenie to uzupełnieniem dopiskiem informującym, że jest ono prawdziwe tylko wtedy, gdy do kondensatora przykładasz stały potencjał elektryczny.

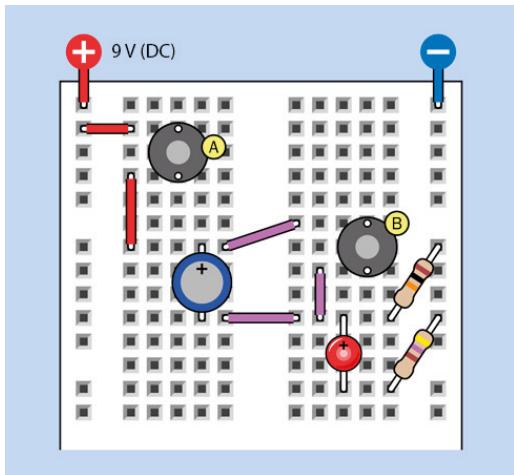
A jeżeli potencjał elektryczny nie jest stały? Co się dzieje w momencie podłączenia rozładowanego kondensatora do źródła napięcia?

To zupełnie inne zagadnienia. W takich warunkach kondensator **umożliwia przepływ sygnału**.

Jak to możliwe? Okładziny kondensatora nie stykają się, a więc jak impuls elektryczny może przejść z jednej okładziny na drugą?

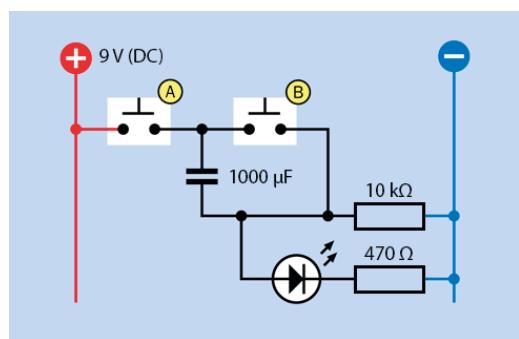
Odpowiem na te pytania za chwilę, ale najpierw chcę, żebyś dokładnie wiedział, o czym będę pisał.

Przyjrzyj się komponentom zainstalowanym na płycie widocznej na rysunku 2.83. Ułożenie komponentów przypomina to, które zostało przedstawione na rysunku 2.77, ale rezystor  $10\text{ k}\Omega$  został przesunięty w prawą stronę. Ponadto do obwodu dodano diodę LED i rezystor  $470\text{ }\Omega$ .



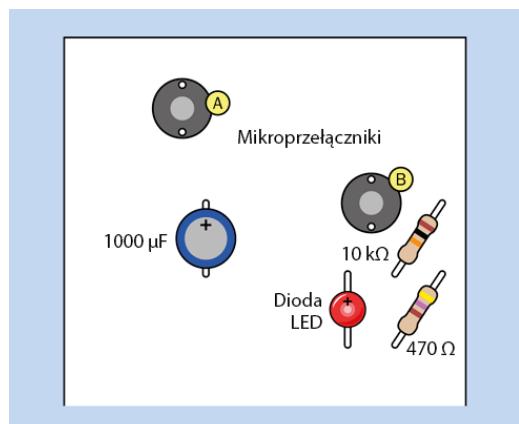
Rysunek 2.83. Miganie czerwonej diody LED wskazuje zmiany ładunku zgromadzonego na okładzinach kondensatora przy szybkich zmianach napięcia

Na rysunku 2.84 przedstawiono schemat ideowy tego obwodu.



Rysunek 2.84. Schemat ideowy obwodu zaprezentowanego wcześniej na schemacie wykonawczym

Na rysunku 2.85 przedstawiono wartości charakterystyczne komponentów.



Rysunek 2.85. Wartości charakteryzujące komponenty zainstalowane na płytce prototypowej

Po połączeniu obwodu wciśnij przycisk B w celu rozładowania kondensatora. Następnie wciśnij przycisk A. Dlaczego dioda LED zapaliła się i zaczęła powoli gasnąć?

Ponownie wciśnij przycisk A. Tym razem nic albo prawie nic się nie dzieje. Kondensator musi rozpocząć pracę od stanu całkowitego rozładowania. Wciśnij przycisk B, aby go rozładować. Teraz ponownie wciśnij przycisk A — dioda LED zapali się ponownie.

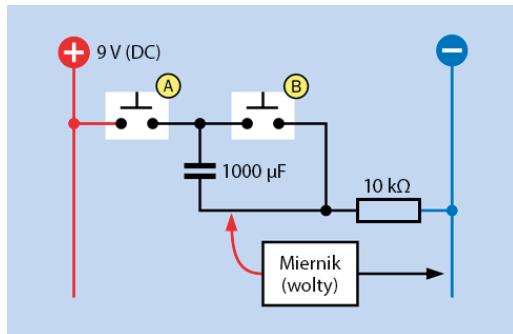
Wiemy, że na początku kondensator nie posiadał dodatniego ładunku na niższym złączu, ponieważ złącze to było podłączone do masy za pośrednictwem

rezystora  $10\text{ k}\Omega$ . Wiemy również, że dodatnie napięcie nie było obecne na początku pracy kondensatora na jego górnym złączu, ponieważ przycisk B zwierał ze sobą oba złącza kondensatora (dlatego proszę Cię o rozładowanie kondensatora na początku eksperymentu).

Wciśnięcie przycisku A powodowało wygenerowanie nagiego dodatniego impulsu, w wyniku którego dioda LED znajdująca po drugiej stronie kondensatora zaczęła generować światło. Prąd płynący przez diodę LED musiał mieć jakieś źródło, a jedynym wyjaśnieniem jest to, że dopływał on do diody przez kondensator.

## Prąd przesunięcia

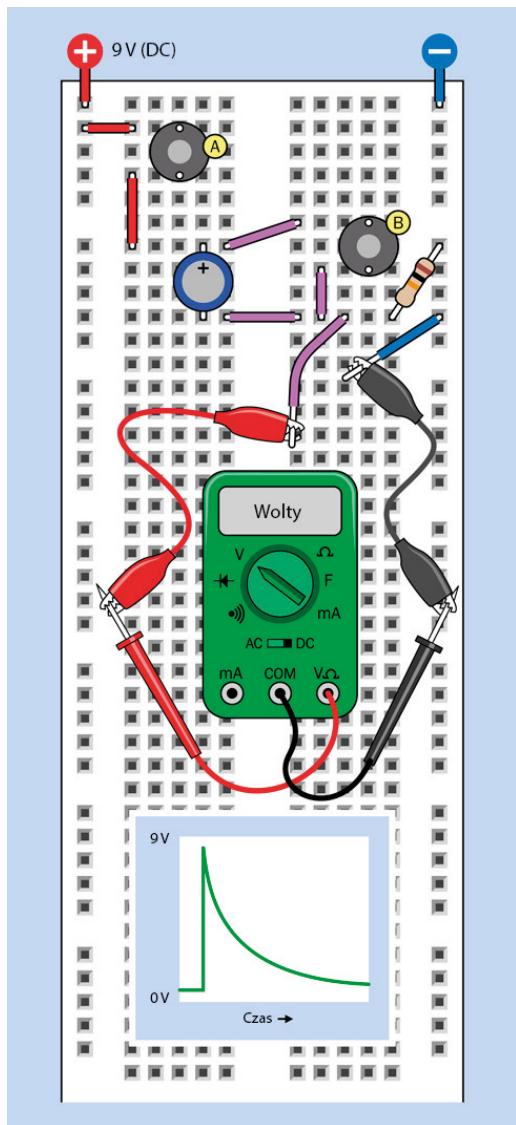
Zamiast diody i rezystora połączonych z nią szeregowo podłączmy do obwodu miernik. Na rysunku 2.87 przedstawiono schemat wykonawczy tego obwodu, a na rysunku 2.86 schemat ideowy. Rozładowuj kondensator, wciskając przycisk B, a następnie sprawdź wskazania miernika. Napięcie powinno wynosić około 0 V.



Rysunek 2.86. Schemat ideowy zmodyfikowanego obwodu

Wcisnąć przycisk A, obserwuj uważnie wskazania miernika. Mierniki cyfrowe nie dają szybkiej odpowiedzi, ale z pewnością pokażą nagły wzrost napięcia, po którym napięcie stopniowo spada.

Gdy podłączylem do obwodu oscyloskop mogący dokonywać pomiarów nagłych zmian napięcia, otrzymałem obraz widoczny w dolnej części rysunku 2.87. Wzrost napięcia był tak szybki, że wyglądał na skokowy.



Rysunek 2.87. Schemat wykonawczy obwodu, w którym dioda i rezistor zostały zastąpione miernikiem

Osoby zajmujące się elektroniką dobrze wiedzą, że nagłe zmiany napięcia prądu przechodzą przez kondensator. Dlaczego tak się dzieje?

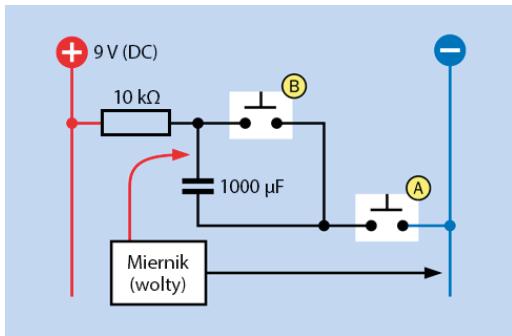
Zagadnienie to zainteresowało Jamesa Maxwella, który miał wrażenie, że nie powinno do tego dochodzić. Opracował on pojęcie **prądu przesunięcia**. Pojęcie to było zgodne z innymi teoriami, nad którymi pracował.

Dzisiaj istnieją również inne teorie, według których nagle impuls prądu wewnątrz kondensatora wytwarza pole, które może indukować napięcie na przeciwniej okładzinie kondensatora, ale są one na tyle skomplikowane, że w większości podręczników sprowadza się je do stwierdzenia, że kondensator blokuje przepływ prądu stałego, a pozwala na przepływ fluktuacji napięcia.

Jeżeli zmniejszysz pojemność kondensatora zastosowanego w obwodzie, to zobaczysz, że przepuszcza on coraz krótsze impulsy. Odłącz miernik i podłącz do obwodu diodę LED oraz rezystor  $470\ \Omega$ , a następnie wypróbuj działanie kondensatorów o pojemnościach  $100\ \mu\text{F}$ ,  $10\ \mu\text{F}$ ,  $1\ \mu\text{F}$  i  $0,1\ \mu\text{F}$ . Podłączenie do obwodu ostatniego kondensatora sprawi, że błysk diody LED będzie ledwo zauważalny.

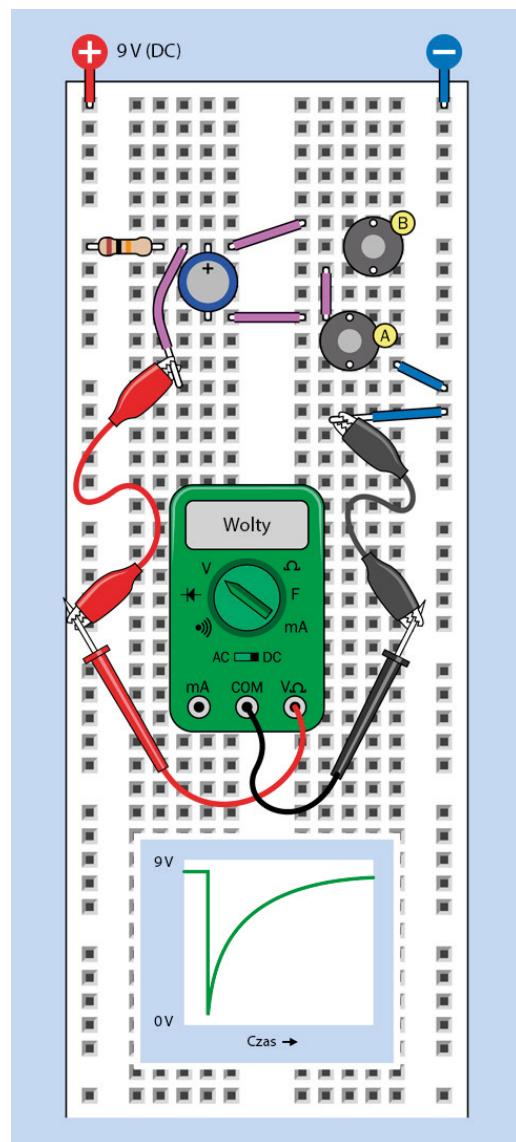
## Prąd przemienny

Jeżeli odwróciś obwód, to będzie on wciąż działać, ale prąd będzie płynął w przeciwnym kierunku. Na rysunku 2.89 przedstawiono zmodyfikowaną wersję obwodu — rezystor  $10\text{ k}\Omega$  został przesunięty w lewo, a przycisk A przeniesiono w prawo. Miernik wciąż mierzy napięcie pomiędzy rezystorem i kondensatorem. Na rysunku 2.88 przedstawiono schemat wykonawczy tego obwodu.



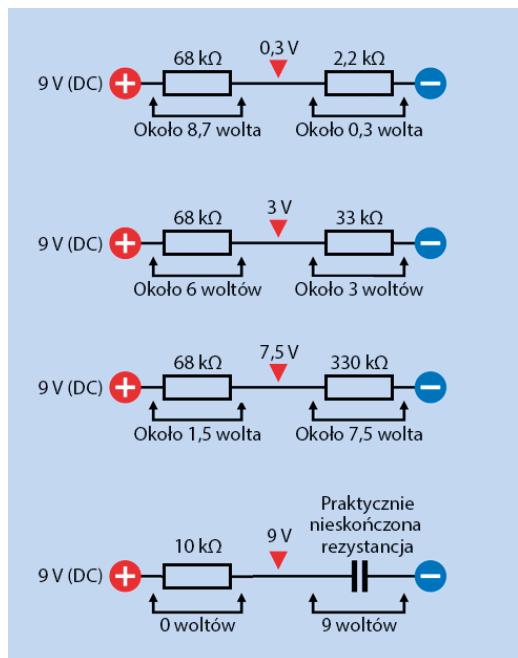
**Rysunek 2.88.** Schemat ideowy kolejnej modyfikacji obwodu

Wciśnij i zwolnij przycisk B — rozładowaj kondensator. Teraz miernik powinien pokazywać napięcie około 9 V. Dzieje się tak, ponieważ górne złącze kondensatora jest podłączone do dodatniej szyny zasilającej za pośrednictwem rezystora  $10\text{ k}\Omega$ . Kondensator



**Rysunek 2.89.** Schemat wykonawczy obwodu po kolejnych modyfikacjach

blokuje przepływ prądu stałego, a więc działa on tak, jakby dysponował nieskończoną rezystancją. W związku z tym dodatni ładunek nie ma dokąd odpływać. Pokazano to na rysunku 2.90. Ilustruje on wzrost napięcia pomiędzy parą rezistorów spowodowany wzrostem rezystancji pomiędzy wybranym punktem i masą.



**Rysunek 2.90.** Jeżeli dysponujesz parą rezystorów połączonych szeregowo i lewy rezistor jest podłączony do dodatniego bieguna źródła prądu, a prawy rezistor jest podłączony do masy, to napięcie pomiędzy rezystorami wzrasta wraz ze wzrostem rezystancji prawego rezystora; w przypadku prądu stałego kondensator charakteryzuje się praktycznie nieskończoną skuteczną rezystancją

Jeśli jednak w zmodyfikowanym obwodzie wciśniesz przycisk A, to spowodujesz wygenerowanie ujemnego impulsu. Rezystancja skuteczna rezystora znika, umożliwiając przepływ impulsu powodujący spadek mierzonego napięcia. Następnie kondensator będzie powoli ładowany ponownie, tak jak był ładowany w pierwszym teście wykonywanym w ramach tego eksperymentu.

Wykres widoczny w dolnej części rysunku 2.89 dobrze ilustruje zmianę napięcia kondensatora.

- Kondensator blokuje przepływ prądu stałego.
- Kondensator umożliwia przepływ krótkich fluktuacji napięcia niezależnie od kierunku ich przepływu.
- Kondensator po przepuszczeniu fluktuacji napięcia ponownie gromadzi ładunek, tak jak opisałem to na początku eksperymentu.

Na podstawie tego doświadczenia można wyciągnąć ważny wniosek. Prąd przemienny (AC) jest serią krótkich, względnie ujemnych i względnie dodatnich impulsów, a więc kondensator umożliwia przepływ prądu przemiennego.

Ważny jest rozmiar kondensatora. Kondensatory o mniejszych pojemnościach charakteryzują się krótszym czasem reakcji — przepuszczają impulsy o wysokich częstotliwościach i blokują impulsy o niskich częstotliwościach. Ta cecha kondensatorów sprawia, że przydają się one w wielu aplikacjach — między innymi w technice audio. Przekonasz się o tym, pracując nad eksperymentem numer 29. Pamiętaj, że sygnały audio są pewną formą prądu przemiennego, ponieważ charakteryzują się szybką fluktuacją.

Kondensator, który został zainstalowany w obwodzie po to, aby blokować przepływ prądu stałego, a przepuszczać impulsy prądu przemiennego, określamy mianem **kondensatora sprzęgającego**. Kondensator taki umożliwia przepływ sygnału pomiędzy różnymi częściami obwodu, jednocześnie blokując przepływ prądu stałego (każda część obwodu może być zasilana prądem o innym napięciu). Koncepcję tę zastosujemy w eksperymencie numer 11.

## Eksperiment 10: Przełączanie tranzystorami

Teraz już wiesz, jak działają kondensatory, a więc pora poznać kolejny ważny komponent — tranzystor. Gdy poznasz zasadę działania tranzystorów, dowiesz się, jak można praktycznie łączyć kondensatory z tranzystorami.

### Potrzebne będą:

- płytka prototypowa, przewody połączeniowe, szczypce do cięcia drutu, szczypce do zdejmowania izolacji i multimetr,
- tranzystor 2N2222, liczba: 1,
- bateria 9 V z klipsem, liczba: 1,
- rezystory:  $470 \Omega$  (liczba: 2) i  $1 M\Omega$  (liczba: 1),

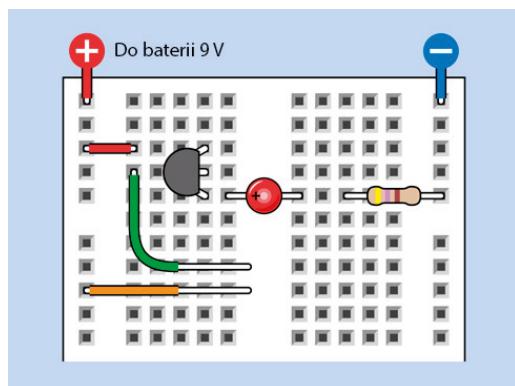
- potencjometr dostrojczy  $500\text{ k}\Omega$ , liczba: 1,
- dioda LED, liczba: 1.

## Test palca

Będę korzystał z tranzystora 2N2222, który jest najpopularniejszym układem półprzewodnikowym w historii (jego pierwsza wersja została wprowadzona na rynek przez firmę Motorola w 1962 roku i jest w produkcji do dziś).

Ponieważ patenty Motoroli dotyczące 2N2222 dawno straciły ważność, każda firma może produkować własne wersje tej części elektronicznej. Niektóre odmiany posiadają czarną plastikową obudowę, inne są zamknięte w małej metalowej „puszczce”. Obie wersje obudów pokazałem na rysunku 2.23. Wykonując eksperymenty opisane w tej książce, możesz korzystać z dowolnej wersji tego tranzystora. Musisz jednak uważać na jego oznaczenie (patrz sekcja „Tranzystory (niezbędne)” na początku tego rozdziału). Nie wszystkie układy 2N2222 są identyczne. Niektóre z nich nie mogą być zastosowane w eksperimentach opisanych w tej książce.

Korzystając z rysunku 2.91, zainstaluj na płytce prototypowej diodę LED, rezystor  $470\ \Omega$  i tranzystor. Upewnij się, że dłuższe złącze diody LED jest zwrócone w lewo (oznaczono je znakiem plus). Zwróć uwagę na to, aby płaska część obudowy tranzystora była zwrócona w prawo. Jeżeli kupiłeś tranzystor umieszczony w metalowej obudowie, co jest mało

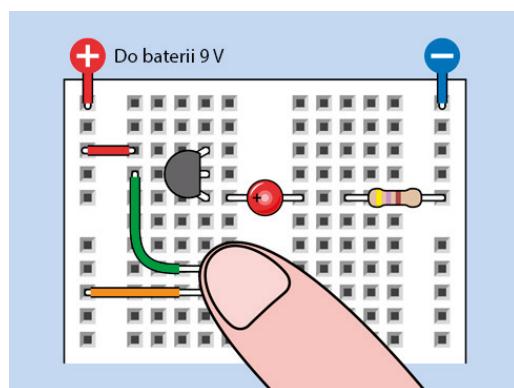


Rysunek 2.91. Obwód przeznaczony do pierwszego testu tranzystora wykonany na płytce prototypowej

prawdopodobne, to zadbaj o to, aby zakładka wystająca z obudowy była zwrócona w dół i w lewo.

Zauważ, że z końców zielonego i pomarańczowego drutu zdjęto fragmenty izolacji. Jeżeli korzystasz z zestawu fabrycznie przygotowanych przewodów, to musisz wygiąć po jednym końcu każdego z dwóch przewodów tak, aby leżał on płasko na płytce prototypowej.

Teraz coś zadziwiającego. Dotknij obu przewodów opuszką swojego palca (patrz rysunek 2.92), patrząc na diodę LED. Jeżeli nic się nie dzieje, to zwilż nieco opuszkę palca i spróbuj ponownie. Im bardziej przyciskasz palec do przewodów, tym jaśniejszym światłem świeci dioda LED. Tranzystor wzmacnia niewielki prąd płynący przez Twój palec. Dioda powinna zaświecić się ponownie, chociaż nie tak jasno jak poprzednio. Polóż opuszkę i spróbuj jeszcze raz, teraz dioda powinna świecić jaśniej.



Rysunek 2.92. Dotknij palcem do przewodów, aby wykonać eksperyment

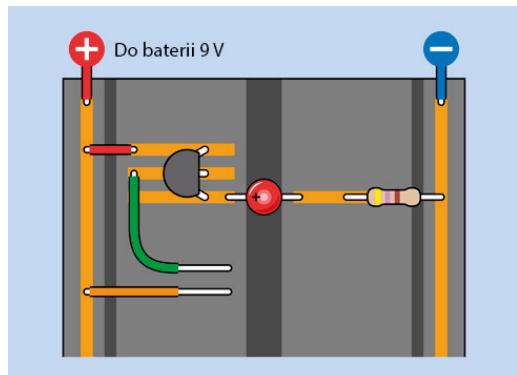
## UWAGA: Nigdy nie używaj obu dloni jednocześnie

Demonstracja przełączania za pomocą opuszki palca jest bezpieczna, jeśli prąd płynie wyłącznie przez Twój palec. Nie będziesz nawet tego czuł, ponieważ 9 V jest dostarczane przez bardzo małą baterię. Nie jest jednak dobrym pomysłem dotykanie palcami obu dloni różnych przewodów jednocześnie. To mogłoby doprowadzić do przepływu prądu przez Twoje ciało. Chociaż szansa na to, że zrobisz sobie

w ten sposób krzywdę, jest niezwykle mała, *nie powinieneś jednak dopuszczać do sytuacji, w której prąd przepływa przez Ciebie z jednej dłoni do drugiej. Przewodów dotykaj w taki sposób, aby nie prowadzić do skałczania skóry. Napięcia nie należy przykładać również do kolczyków.*

## Jak zadziałał test palca?

Przyjrzyj się rysunkowi 2.93. Pokazano na nim przewodniki znajdujące się wewnętrz płytki prototypowej, z których korzystamy podczas wykonywania tego eksperymentu. Spójrz na dolne złącze tranzystora. Jest ono połączone z diodą LED, która jest połączona z szyną masy za pośrednictwem rezystora  $470\ \Omega$ . Przez tranzystor musiało popływać wystarczająco dużo prądu, aby zapalić diodę LED.

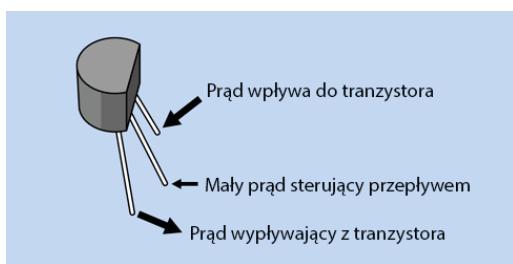


Rysunek 2.93. Pokazany wcześniej obwód wraz z elementami znajdującymi się wewnątrz płytki, przez które płynie prąd

Skąd wziął się ten prąd? Trochę prądu przepłynęło przez skórę Twojego palca i wpłynęło do środkowego złącza tranzystora, ale jego natężenie było zbyt niskie, aby zapalić diodę LED.

Tranzystor wyposażony jest w trzecie złącze znajdujące się na górze obwodu, które jest podłączone do dodatniej szyny zasilającej. Prąd wpłynął do tranzystora przez to złącze. Prąd ten może być sterowany małym prądem przepływającym przez Twój palec do środkowego złącza tranzystora.

Zasadę tę przedstawiono na rysunku 2.94.



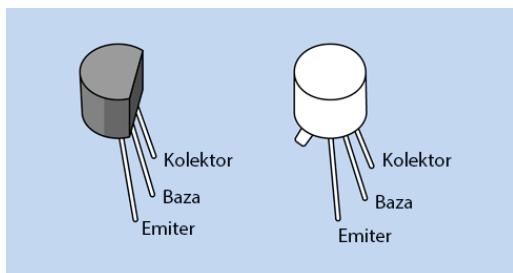
Rysunek 2.94. Podstawowe funkcje tranzystora NPN

Praca tranzystora wygląda zupełnie inaczej niż praca kondensatora, która została przedstawiona w poprzednim eksperymencie. Kondensator umożliwiał tylko przepływ krótkich impulsów elektrycznych. Tranzystor kontroluje przepływ prądu stałego.

## PODSTAWY: Tranzystory

W tym eksperymencie korzystałeś z **tranzystora bipolarnego**. Istnieją dwie odmiany tego tranzystora: układy **NPN** i **PNP**. Tranzystor NPN ma formę kanapki, w której zewnętrzne warstwy krzemu są typu *n* i zawierają nadmiar nośników ładunku ujemnego. Pomiędzy nimi umieszczono warstwę typu *p*, która zawiera nadmiar nośników dodatniego ładunku. Nie będę omawiał pracy tranzystorów na poziomie częstek elementarnych, ponieważ w tej książce interesuje nas bardziej to, jak tranzystor działa. Wyjaśnienie pracy tranzystora znajdziesz w wielu książkach technicznych, a także w internecie.

Trzy złącza tranzystora NPN (kolektor, baza i emiter) pokazano na rysunku 2.95.

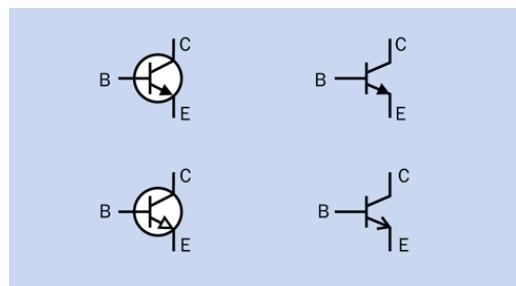


Rysunek 2.95. Złącza tranzystora NPN; po lewej stronie tranzystor w obudowie plastikowej, po prawej w obudowie metalowej

- Gdy do bazy tranzystora NPN przyłożony jest nieco większy dodatni potencjał niż do emitera, to tranzystor pozwala na przepływ dodatniego prądu pomiędzy kolektorem i emitem.
- W ten sposób mały prąd wpływający do bazy tranzystora może sterować przepływem dużego prądu wpływającego do kolektora.

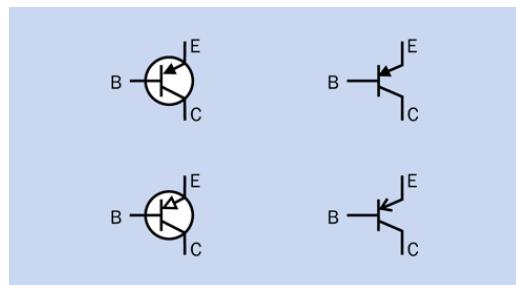
Tranzystor PNP działa odwrotnie niż tranzystor NPN. Umożliwia przepływ ujemnego prądu od kolektora do emitera, gdy do bazy zostanie przyłożony potencjał nieco niższy niż potencjał emitera. Czasami wygodniej jest zastosować tranzystor PNP, ale są one rzadziej spotykane. Nie będziemy z nich korzystać podczas pracy nad eksperymentami opisanymi w tej książce.

Na rysunku 2.96 pokazano cztery równoważne warianty symbolu tranzystora NPN. Literą B oznaczono bazę, literą C kolektor, a literą E emiter.



**Rysunek 2.96.** Wszystkie te symbole mogą służyć do oznaczenia tranzystora NPN

Na rysunku 2.97 pokazano cztery równoważne warianty symbolu tranzystora PNP.



**Rysunek 2.97.** Wszystkie te symbole mogą służyć do oznaczenia tranzystora PNP

Łatwo jest pomylić ze sobą symbole tranzystorów PNP i NPN, ale istnieje prosty sposób na ich rozróżnienie. Strzałka znajdująca się na symbolu tranzystora NPN jest zawsze zwrócona na zewnątrz, nigdy do środka.

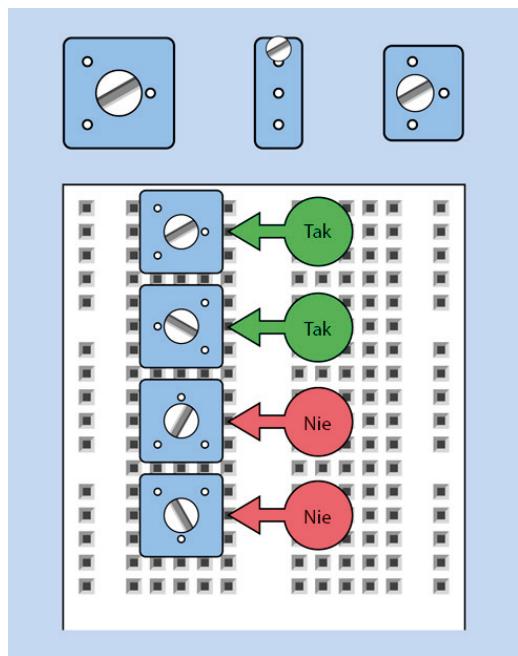
## Dodawanie potencjometru

Aby dowiedzieć się więcej na temat pracy tranzystora, potrzebujemy komponentu, który umożliwi bardziej precyzyjne sterowanie pracą obwodu, niż zapewnia Twój palec. Skorzystamy z potencjometru. Nie będzie to tak duży potencjometr jak potencjometry stosowane w poprzednich eksperymentach. Tym razem chciałbym skorzystać z **potencjometru dostrojczego** (patrz rysunek 2.22).

Komponenty te charakteryzuje różny rozmiar i kształt, ale wszystkie posiadają trzy złącza. Złącza te działają tak samo jak złącza dużych potencjometrów, z których korzystaliśmy wcześniej. Środkowe złącze jest zawsze podłączone do ruchomego elementu, a dwa pozostałe złącza są połączone z przeciwnymi krańcami rezystora znajdującego się wewnątrz potencjometru.

- Każde złącze potencjometru dostrojczego zainstalowanego na płytce prototypowej musi stykać się z innym rzędem otworów montażowych.

Zasadę tę wyjaśniono na rysunku 2.98. W górnej części rysunku przedstawiłem trzy rodzaje potencjometrów dostrojczych (łącznie z potencjometrem wieloobrotowym, którego stosowania nie polecam, ale być może kiedyś będziesz musiał z nim pracować). Złącza potencjometrów nie są widoczne od góry, ale pokazałem je dla lepszego wyjaśnienia. Poszczególne modele różni sposobem rozmieszczenia pinów, ale piny te zawsze znajdują się w odległości 2,5 mm od siebie w płaszczyźnie pionowej.

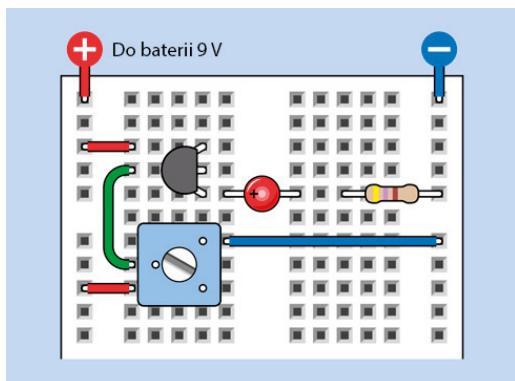


**Rysunek 2.98.** Trzy rodzaje potencjometrów dostrojczych i sposoby ich prawidłowego montażu

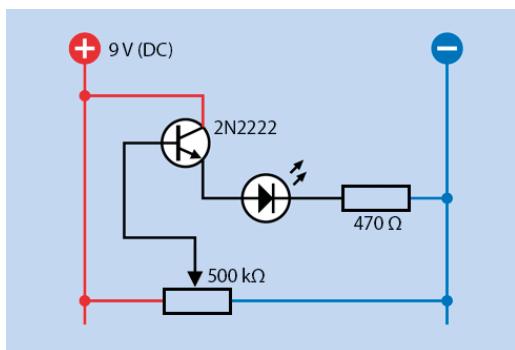
W dalszej części rysunku przedstawiono dwa przykłady oznaczone etykietą „Tak”. Potencjometry te będą działały prawidłowo, ponieważ każdy ich pin jest podłączony do innego rzędu otworów. Dwa kolejne przykłady oznaczone etykietą „Nie” nie będą działały poprawnie, ponieważ pary ich złączy zostały zwarte za pomocą przewodników znajdujących się wewnętrz płytki.

Po przedstawieniu podstaw pracy z potencjometrem dinstrojczym chciałbym, abyś zainstalował potencjometr 500 kΩ w swoim obwodzie (patrz rysunek 2.99). Podłącz obwód do zasilania i obracaj potencjometrem za pomocą miniaturowego śrubokrętu — obserwuj pracę obwodu, obracając potencjometrem w obie skrajne pozycje. Zauważ, że jeżeli dioda LED w ogóle nie świeci, to musisz wykonać trochę obrotu śrubą potencjometru, aby zaczęła się zapalać.

Na rysunku 2.100 przedstawiono schemat ideowy tego obwodu, który ułatwi Ci zrozumienie wykonanych połączeń.

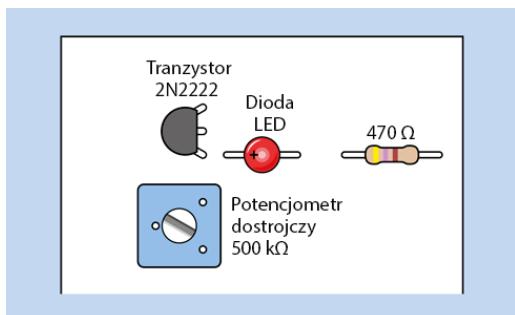


**Rysunek 2.99.** Podłącz potencjometr do wykonanego wcześniej obwodu — umożliwi to bardziej precyzyjne sterowanie pracą tranzystora



**Rysunek 2.100.** Schemat ideowy obwodu, w którym zainstalować potencjometr dinstrojczy

Wartości charakterystyczne komponentów obwodu pokazano na rysunku 2.101.



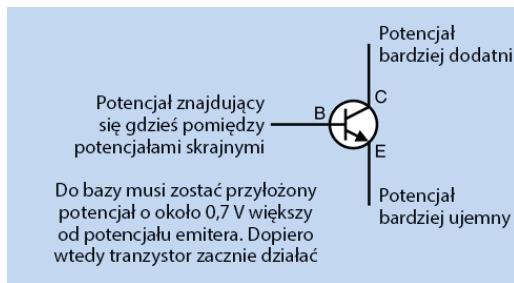
**Rysunek 2.101.** Wartości charakteryzujące komponenty zainstalowane na płytce prototypowej

Potencjometr łączy dodatnią i ujemną szynę zasilającą, działając jako **dzielnik napięcia**. Gdy ruchomy

element potencjometru znajdzie się na końcu ścieżki, na której pracuje, to będzie połączony bezpośrednio z dodatnią szyną zasilającą. Na przeciwnym końcu ścieżki będzie połączony bezpośrednio z ujemną szyną zasilającą. Ustawienie ruchomego elementu pomiędzy tymi skrajnymi pozycjami dzieli napięcie. Potencjometry są często stosowane w taki sposób w celu uzyskania dowolnej wartości napięcia.

Pisałem wcześniej o tym, że dioda LED nie zostanie zapalona, gdy tylko zaczniesz ruszać śrubą potencjometru. Czy wynika to tylko z tego, że przez diodę LED płynie zbyt mały prąd? Nie do końca. Pracując, tranzystor bipolarny pobiera część mocy. Tranzystor nie będzie przepuszczał prądu, dopóki napięcie bazy nie będzie wyższe od napięcia emitera (zwykle różnica tych potencjałów musi wynosić około 0,7 V). Jest to tak zwany  **dodatni bias** tranzystora.

Koncepcję tę przedstawiono na rysunku 2.102.

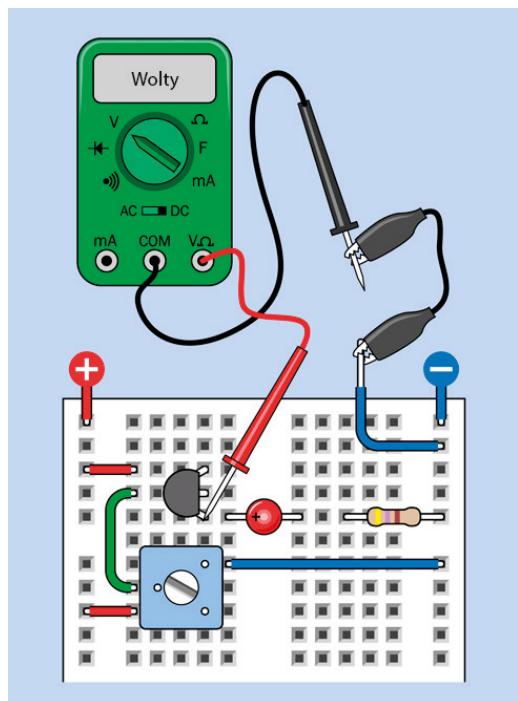


Rysunek 2.102. Praktyczna zasada pracy z tranzystorem NPN

## Napięcie i natężenie prądu

Już wiesz, że napięcie bazy tranzystora bipolarnego steruje mocą wyjściową tego tranzystora. Czy oznacza to, że tranzystor wzmacnia napięcie?

Możesz samodzielnie uzyskać odpowiedź na to pytanie. Weź do ręki multimeter, włącz tryb pomiaru napięcia i podłącz czarny przewód miernika do szyny masy płytki prototypowej (patrz rysunek 2.103). Dotknij czerwonym próbnikiem do złącza emitera tranzystora i zapisz zmierzone napięcie. Następnie dotknij próbnikiem do pinu bazy. Z pewnością napięcie emitera będzie niższe od napięcia bazy.



Rysunek 2.103. Sprawdzanie, czy tranzystor wzmacnia napięcie

Przestaw potencjometr dostrojczy w inne położenie i powtórz pomiary. Niezależnie od wartości napięcia bazy napięcie emitera będzie zawsze niższe.

Czy może to wynikać z tego, że rezistor  $470\ \Omega$  stawia zbyt mały opór elektryczny pomiędzy emitem tranzystora a ujemną szyną zasilającą? Czy to jest powodem spadku napięcia?

Sprawdźmy to. Wymontuj z płytki diodę LED oraz rezistor  $470\ \Omega$ . W miejsce tych komponentów, pomiędzy emitem tranzystora a szyną masy, wstaw rezistor  $1\ M\Omega$ . Napięcie emitera będzie wciąż niższe od napięcia bazy.

Gdybyś był na tyle cierpliwy, aby zmierzyć **natężenie prądu** wpływającego do bazy i wypływającego z emitem, to uzyskałbyś zupełnie inne wartości. W celu zmierzenia natężenia prądu włącz miernik w tryb pomiaru miliamperów. Miernik należy podłączyć szeregowo do obwodu w miejscu, w którym chcesz dokonać pomiaru. Prąd musi płynąć przez miernik.

Nie musisz sam dokonywać pomiarów natężenia prądu. Używany przez Ciebie tranzystor wzmacnia prąd wpływający do bazy ponad 200 razy. Jest to **współczynnik beta** tranzystora. W związku z tym możemy wyciągnąć następujący wniosek:

- Tranzystor bipolarny wzmacnia natężenie prądu, a nie jego napięcie.

W książce *Elektronika. Od praktyki do teorii. Kolejne eksperymenty* znajdziesz o wiele więcej informacji na ten temat. Tutaj przedstawię Ci tylko podstawowe wiadomości, ponieważ ta książka jest przeznaczona dla osób rozpoczynających przygodę z elektroniką.

W kolejnej sekcji podsumuję wiadomości dotyczące tranzystorów.

## PODSTAWY: Wszystko o tranzystorach NPN i PNP

Tranzystor jest **półprzewodnikiem**, tzn. czasem przewodzi prąd, a czasem nie. Jego rezystancja wewnętrzna zmienia się w zależności od mocy, jaką przyłożysz do jego bazy.

Wszystkie tranzystory bipolarne mają trzy złącza: kolektor, bazę i emiter, opisywane w kartach katalogowych producenta literami, odpowiednio, C, B i E.

- Tranzystory NPN są aktywowane **dodatnim** napięciem na bazie względem emitera.
- Tranzystory PNP są aktywowane **ujemnym** napięciem na bazie względem emitera.

W swoim stanie pasywnym oba typy tranzystorów blokują przepływ prądu pomiędzy kolektorem a emiterem, podobnie do przekaźnika typu SPST, którego kontakty są normalnie otwarte. (W rzeczywistości tranzystor pozwala na przepływ prądu o bardzo małej wartości, zwanego prądem **spoczkowym**).

Schematy mogą pokazywać emiter na górze, a kolektor na dole lub odwrotnie, w zależności od tego, jaki układ był wygodniejszy dla osoby rysującej schemat. Zwracaj uwagę na strzałkę tranzystora, aby mieć pewność, jaka końcówka znajduje się u góry

i z jakim typem tranzystora masz do czynienia (NPN i PNP). Podłączając tranzystor w nieprawidłowy sposób, możesz doprowadzić do jego uszkodzenia.

Tranzystory mogą mieć różne rozmiary i konfiguracje. W wielu przypadkach nie ma możliwości stwierdzenia, które styki odpowiadają poszczególnym wyprowadzeniom tranzystora (kolektorowi, emiterowi i bazie). Funkcje poszczególnych styków komponentu znajdziesz w nocie katalogowej producenta danego komponentu.

Jeżeli kolejność wyprowadzeń wyleciała Ci z głowy, możesz posłużyć się miernikiem wyposażonym w funkcję identyfikującą emiter, kolektor i bazę tranzystora. Jeżeli złącze emitera włożysz w otwór oznaczony literą E, złącze kolektora włożysz w otwór oznaczony literą C, a złącze bazy w otwór oznaczony literą B, to miernik wyświetli wartość współczynnika beta badanego tranzystora. Jeżeli złącza tranzystora zostaną włożone w niewłaściwe otwory, to miernik nie wyświetli żadnej wartości, wyświetlane wyniki będą niestabilne, wyświetcone zostanie zero lub wyświetlane wartości będą o wiele niższe od spodziewanych (prawie zawsze poniżej 50, a zwykle poniżej 5).

## UWAGA: Komponent łatwy do uszkodzenia

Tranzystory można bardzo łatwo uszkodzić w sposób nieodwracalny.

- Nigdy nie podłączaj źródła prądu bezpośrednio do żadnych dwóch złączy tranzystora. Zbyt wysokie natężenie prądu może spalić tranzystor.
- Zawsze ograniczaj natężenie prądu płynącego pomiędzy kolektorem i emiterem, stosując dodatkowe komponenty takie same jak rezystory — tranzystor należy chronić tak jak diodę LED.
- Nie podłączaj tranzystora do prądu o odwrotnej polaryzacji. Kolektor tranzystora NPN powinien być zawsze podłączony do

potencjału wyższego od bazy, która z kolei powinna być podłączona do potencjału wyższego od emitera.

## TEORIA: Początki tranzystorów

Chociaż niektórzy historycy uznają, że początki tranzystorów sięgają czasów wynalezienia pierwszych diod (które pozwalały na przepływ prądu w jednym kierunku i jednocześnie uniemożliwiały przepływ w kierunku przeciwnym), nie ma wątpliwości co do tego, że pierwsze działające tranzystory powstały w laboratoriach firmy Bell w roku 1948, a ich wynalazcami byli John Bardeen, William Shockley i Walter Brattain.

William Shockley był kierownikiem całego zespołu, który dostrzegł, jak niezwykle ważne mogą stać się przełączniki pozabawione części mechanicznych. John Bardeen był teoretykiem, a Walter Brattain doprowadził do ostatecznego uruchomienia tranzystora. Do momentu odniesienia sukcesu była to niezwykle produktywna praca zespołowa. Później Shockley zaczął prowadzić manewry mające na celu opatentowanie tranzystora wyłącznie pod jego nazwiskiem. Kiedy powiadomił o tym swoich współpracowników, byli oni oczywiście niezadowoleni z takiego obrotu sprawy.

Zły obraz wytworzyła również publikowana szeroko fotografia przedstawiająca Shockleya siedzącego w centrum badawczym przed mikroskopem, tak jakby to on wykonywał rzeczywistą pracę, podczas gdy pozostały stali z tyłu, co sugerowało, że ich rola była mniejsza. Kopia tej fotografii pojawiła się na okładce czasopisma „Electronics” (patrz rysunek 2.104). W rzeczywistości Shockley jako kierownik rzadko był obecny w laboratorium, gdzie wykonywano prace badawcze.

Produktywna współpraca szybko uległa zatarciu. Brattain poprosił o przeniesienie do innego laboratorium AT&T. Bardeen przeniósł się na uniwersytet stanu Illinois, aby prowadzić badania z zakresu fizyki teoretycznej. Shockley ostatecznie opuścił



Rysunek 2.104. William Shockley (z przodu), John Bardeen (z tyłu) i Walter Brattain (po prawej); otrzymali oni w 1956 roku Nagrodę Nobla za wspólną pracę nad pierwszym działającym tranzystorem w 1948 roku

laboratoria firmy Bell i założył własną firmę Shockley Semiconductor w miejscu, które wkrótce zyskało nazwę Doliny Krzemowej, ale jego ambicje przewyższały możliwości współczesnej technologii. Jego firma nigdy nie wypuściła produktu, który odniósłaby sukces rynkowy.

Ośmiu współpracowników Shockleya w jego firmie zdecydowało w pewnym momencie o zerwaniu współpracy z nim i założeniu własnego przedsiębiorstwa, któremu nadano nazwę Fairchild Semiconductor. Firma ta odniosła ogromny sukces w produkcji tranzystorów, a później układów scalonych.

## PODSTAWY: Tranzystory i przekaźniki

Jednym z ograniczeń tranzystorów NPN i PNP jest to, że w przeciwieństwie do przekaźników wymagają zasilania. Przekaźniki mogą zwierać lub rozwierać obwód, gdy nie płynie przez nie prąd.

Przekaźnik oferuje więcej opcji przełączania. Może być normalnie otwarty, normalnie zamknięty, może zawierać przełącznik dwupozycyjny, który daje możliwość istnienia dwóch różnych stanów włączenia. Może również przełączać dwa biegunki, czyli dwa zupełnie niezależne połączenia. Pojedyncze tranzystory nie są w stanie zapewnić cech przełączania

**Tabela 2.3.** Porównanie właściwości tranzystorów i przekaźników

	Tranzystor	Przekaźnik
Długoterminowa żywotność	doskonała	ograniczona
Konfiguracja do przełączania w stylu DP lub DT	nie	tak
Zdolność do przełączania prądów o dużym natężeniu	ograniczona	dobra
Zdolność do przełączania prądu zmiennego	zazwyczaj nie	tak
Zdolność do przełączania przez prąd zmienny	zazwyczaj nie	opcjonalna
Zdolność do miniaturyzacji	doskonała	bardzo ograniczona
Zdolność do przełączania z dużą prędkością	tak	nie
Przewaga cenowa przy zastosowaniu dla wysokich napięć i prądów	nie	tak
Przewaga cenowa przy zastosowaniu dla niskich napięć i prądów	tak	nie
Upływność w stanie wyłączenia	tak	nie

dwupozycyjnego lub dwubiegunowego, chociaż możesz skonstruować bardziej złożone obwody, które będą symulować takie zachowanie.

Tabela 2.3 zawiera porównanie cech tranzystorów i przekaźników.

Wybór pomiędzy przekaźnikami a tranzystorami będzie zależał za każdym razem od naszych konkretnych potrzeb.

Tyle, jeśli chodzi o teorię. Teraz zastanówmy się, co rozrywkowego lub użytecznego możemy zrobić przy użyciu tranzystora? Cokolwiek to jest, zrobimy to podczas eksperymentu numer 11!

## Eksperyment 11: Światło i dźwięk

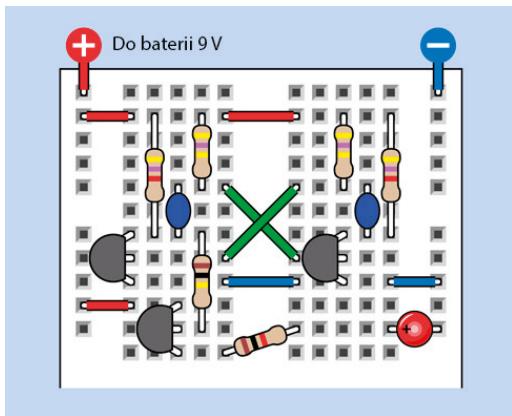
Czas wykonać pierwszy projekt, który będzie pełnił jakąś funkcję. Pod koniec projekt będzie bardzo prostym syntezatorem dźwięku.

### Potrzebne będą:

- płytka prototypowa, przewody połączeniowe, szczypce do cięcia drutu, szczypce do zdejmowania izolacji, multimetr,
- bateria 9 V wraz z klipsem, liczba: 1,
- rezystory: 470  $\Omega$  (liczba: 2), 1 k $\Omega$  (liczba: 2), 4,7 k $\Omega$  (liczba: 4), 100 k $\Omega$  (liczba: 2), 220 k $\Omega$  (liczba: 2), 470 k $\Omega$  (liczba: 4),
- kondensatory: 0,01  $\mu$ F (liczba: 2), 0,1  $\mu$ F (liczba: 2), 0,33  $\mu$ F (liczba: 2), 1  $\mu$ F (liczba: 1), 3,3  $\mu$ F (liczba: 2), 33  $\mu$ F (liczba: 1), 100  $\mu$ F (liczba: 1), 220  $\mu$ F (liczba: 1),
- tranzystory 2N2222, liczba: 6,
- dioda LED, liczba: 1,
- głośnik o średnicy 2,5 lub 5 cm i impedancji 8  $\Omega$ , liczba: 1.

### Fluktuacje

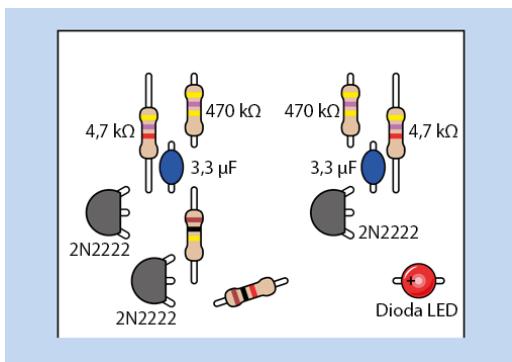
Na rysunku 2.105 pokazano obwód. Chcę, abyś wykonał go na płytce prototypowej. Komponenty są



Rysunek 2.105. Schemat wykonawczy obwodu oscylatora

umieszczone blisko siebie, a więc łatwiej będzie Ci je instalować za pomocą kombinerek. Licz uważnie otwory płytki prototypowej i dwukrotnie sprawdzaj, czy wszystkie komponenty zostały zainstalowane we właściwych miejscach.

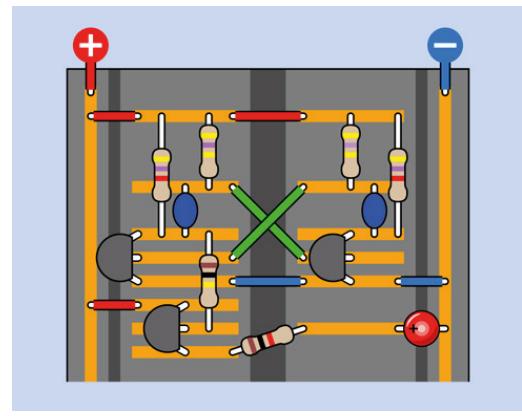
Wartości charakteryzujące komponenty obwodu pokazano na rysunku 2.106.



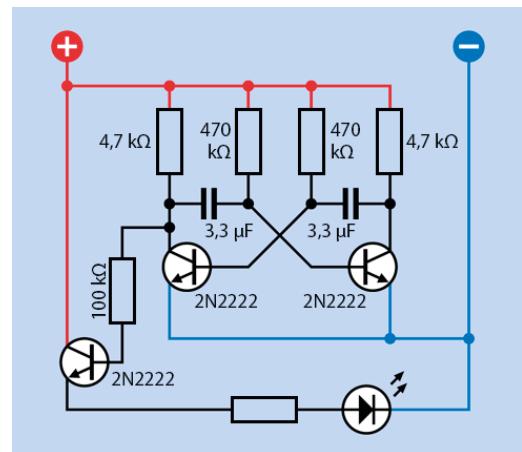
Rysunek 2.106. Wartości charakteryzujące komponenty obwodu

Podłącz obwód do prądu. Dioda LED powinna zapalić się na mniej więcej sekundę, a następnie wyłączyć na kolejną sekundę.

To wszystko? Nie, dopiero zaczęliśmy. Musisz zrozumieć funkcjonowanie zbudowanego obwodu. Przyjrzyj się schematowi przedstawionemu na rysunku 2.107, jeżeli masz problem ze zwizualizowaniem sobie sposobu, w jaki komponenty są ze sobą połączone. Następnie spójrz na rysunek 2.108.



Rysunek 2.107. Wizualizacja połączeń pomiędzy komponentami znajdującymi się wewnątrz płytki prototypowej



Rysunek 2.108. Komponenty na tym schemacie zostały umieszczone w tych samych miejscach, w których znajdująły się na schemacie wykonawczym

Przedstawiono na nim te same połączenia pomiędzy komponentami. Przyjrzyj się tym schematom. Na ich podstawie wyjaśnię działanie tego obwodu.

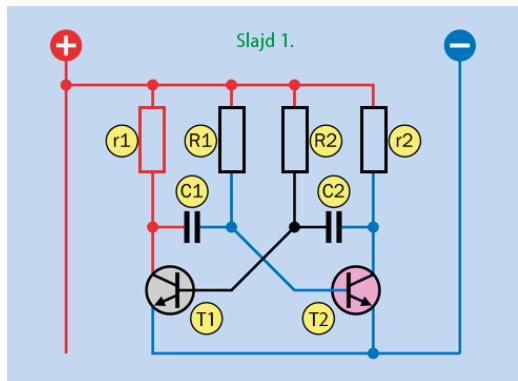
Pierwsze, co zauważysz, to pewna symetria. Czy oznacza to, że lewa i prawa połowa obwodu pracują tak samo? Tak, ale nie w tym samym czasie. Jedna połowa obwodu włącza diodę LED, a druga ją wyłącza.

Zrozumienie tego jest dość trudne, ponieważ stałe dochodzi do fluktuacji napięć. W tym samym czasie w obwodzie dochodzi do kilku zjawisk.

Zaprezentowałem cztery slajdy, dzięki którym powinieneś zrozumieć zjawiska zachodzące wewnątrz obwodu.

Na slajdach pominąłem trzeci tranzystor i diodę LED, ponieważ komponenty te nie generują oscylacji.

Pierwszy slajd przedstawiłem na rysunku 2.109. Spójrz na kolory, którymi oznaczyłem poszczególne przewody.



Rysunek 2.109. Pierwszy z czterech slajdów ilustrujących fluktuacje napięć w obwodzie z błyskającymi diodami LED; szczegółowy opis zjawisk znajdziesz w tekście

- Czarne przewody i komponenty charakteryzują się nieznanym lub pośrednim napięciem.
- Przewody oznaczone kolorem niebieskim charakteryzują się napięciem zbliżonym do zera.
- Przewody oznaczone kolorem czerwonym charakteryzują się napięciem zbliżonym do napięcia źródła prądu.
- Przewody oznaczone kolorem białym charakteryzują się potencjałem ściągniętym poniżej masy (zjawisko to wyjaśnię za chwilę).

Co do tranzystorów:

- Szary tranzystor nie przewodzi prądu z kolektora do emitera. Możesz uznać, że jest „wyłączony”.
- Tranzystor oznaczony kolorem różowym przewodzi prąd.

Tranzystory oznaczono popularnymi etykietami komponentów półprzewodnikowych tego typu: T1 i T2. Litera T jest skrótem od słowa tranzystor.

W celu rozróżnienia obu stron obwodu etykietami r1 i R1 oznaczono rezystory znajdujące się po lewej stronie, a etykietami r2 i R2 rezystory znajdujące się po prawej stronie. Małą literą oznaczono rezystory charakteryzujące się mniejszą rezystancją.

Zanim zacznę opis pracy obwodu, chciałbym przyпомнienie podstawowe zasady pracy tranzystora:

- Prąd wpływający do bazy „włącza” tranzystor, powodując spadek jego wewnętrznej rezystancji. W związku z tym emiter jest uziemiony potencjałem około 0 V. Kolektor tranzystora będzie charakteryzował się również potencjałem zbliżonym do 0 V. Ten sam potencjał będą miały komponenty podłączone bezpośrednio do kolektora. Baza tranzystora może również charakteryzować się względnie niskim napięciem, ale nie może ono być tak niskie jak napięcie emitera. Do takiej sytuacji dochodzi w tranzystorze T2 widocznym na rysunku 2.109.
- W „wyłączonym” tranzystorze skuteczna wewnętrzna rezystancja wzrasta do przynajmniej 5 k $\Omega$ . W związku z tym komponent podłączony do jego kolektora nie jest połączony z masą i może się na nim gromadzić pozytywny ładunek.

## Krok po kroku

Analizę pracy obwodu zacznę w momencie, w którym obwód już pracuje. Po omówieniu wszystkich etapów jego pracy opiszę moment rozpoczęcia pracy przez obwód.

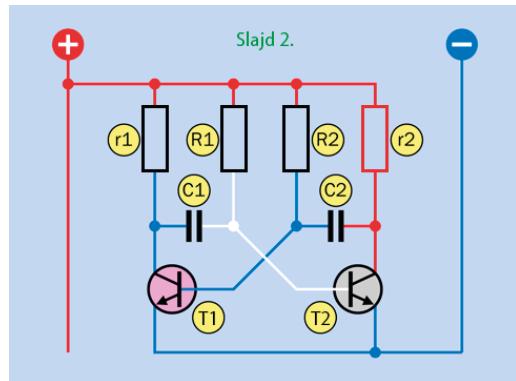
Spójrz na rysunek 2.109. Założ, że tranzystor T1 właśnie został wyłączony, a tranzystor T2 właśnie został włączony. Dolne złącze rezystora r1 było połączone z masą przez tranzystor T1, ale teraz tranzystor ten jest wyłączony i napięcie na jego kolektorze zaczyna rosnąć, co powoduje wzrost napięciaowej okładziny kondensatora C1. Napięcie bazy

tranzystora Q1 również zaczyna rosnąć, ale rośnie ono wolniej, ponieważ rezistor R2 charakteryzuje się wyższą rezystancją. Tymczasem tranzystor T2 jest włączony i umożliwia przepływ prądu przez tranzystor r2 w kierunku masy, co powoduje spadek napięcia. Prąd bazy tranzystora T2 również jest kierowany do szyny masy.

Co dzieje się dalej?

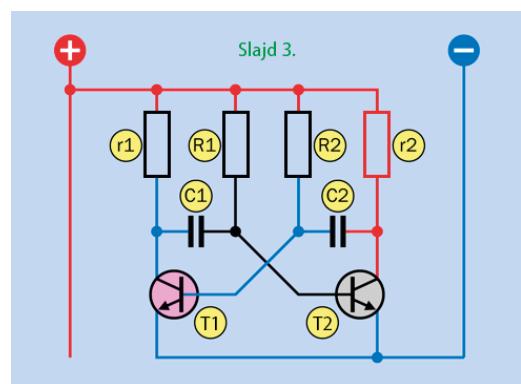
Na rysunku 2.110 pokazano slajd numer 2. Napięcie bazy tranzystora T1 wzrosło na tyle, że tranzystor zaczyna przewodzić prąd — rozpoczyna się pobieranie prądu z kondensatora C1, a także przepływ prądu przez bazę tranzystora (to właśnie dlatego teraz przewody te oznaczono kolorem niebieskim).

Nagle zmiana napięcia po lewej stronie kondensatora C1 powoduje indukcję spadku napięcia po jego prawej stronie, co jest skutkiem efektu polowego; powstaje tzw. prąd przesunięcia, który opisatem w eksperymencie numer 9. Powoduje to ściągnięcie napięcia po prawej stronie kondensatora C1 poniżej potencjału zerowego (dlatego przewód ten oznaczono kolorem białym). Skutkuje to natychmiastowym wyłączeniem tranzystora T2 przez ujemny potencjał docierający do jego bazy.



Rysunek 2.110. Drugi slajd

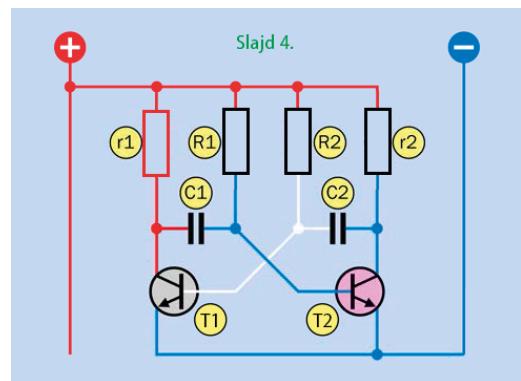
Na rysunku 2.111 przedstawiono slajd numer 3, na którym tranzystor T1 jest wciąż włączony, a tranzystor T2 jest wciąż wyłączone. Jest to lustrzane odbicie warunków przedstawionych przez slajd numer 1. Kondensator C1 zaczął ładować się w przeciwnym kierunku, poprzez rezistor R1. Powoduje



Rysunek 2.111. Trzeci slajd

to stopniowy wzrost napięcia przyłożonego do bazy tranzystora T2.

Na rysunku 2.112 pokazano slajd numer 4. Tranzystor T2 zaczął przewodzić prąd, łącząc z masą prawą okładzinę kondensatora C2. Powoduje to obniżenie potencjału po lewej stronie kondensatora C2 poniżej potencjału zerowego i wyłączenie tranzystora Q2 poprzez skierowanie potencjału zerowego do jego bazy. Sytuacja ta jest lustrzanym odbiciem sytuacji przedstawionej na slajdzie numer 2.



Rysunek 2.112. Czwarty slajd, teraz sekwencja ulega powtórzeniu

Po sytuacji przedstawionej na slajdzie numer 4 sekwencja jest powtarzana — wraca do sytuacji przedstawionej na slajdzie numer 1. Gdyby do obwodu podłączono dodatkowy tranzystor i diodę LED (tak jak na rysunku 2.108), dioda LED byłaby zapalona na slajdach numer 1 i 4.

## Kondensator sprzągający

Jak widzisz, działanie oscylatorów trudno jest zrozumieć. Opisany obwód jest bardzo popularny. Znajdziesz go najprawdopodobniej po wpisaniu w Google hasła „oscylator”, ale wciąż jego działanie może być trudne do zrozumienia.

Najważniejsze są slajdy numer 2 i 4 — nagły spadek napięcia po jednej ze stron kondensatora powoduje taki sam spadek napięcia po jego drugiej stronie — to efekt sprzągnięcia, który omówiłem w eksperymencie numer 9.

## Jak obwód rozpoczyna pracę?

Pamiętaj o tym, że omawiany obwód jest symetryczny. Dlaczego po podłączeniu obwodu do prądu oba tranzystory nie są jednocześnie włączone lub wyłączone?

W idealnym świecie, w którym dwa kondensatory lub dwa rezystory byłyby identyczne, obwód zainicjowałby się w sposób symetryczny, ale w rzeczywistości rezystory zawsze charakteryzują się nieco inną rezystancją, a kondensatory nieco inną pojemnością. W związku z tym któryś z tranzystorów zacznie przewodzić prąd, zanim zrobi to drugi tranzystor. Gdy dojdzie do przepływu prądu przez któryś z tranzystorów, obwód będzie pracował asymetrycznie, tak jak opisałem to w poprzedniej sekcji.

Jak określiłem miejsce, z którego należy wyprowadzić sygnał wyjściowy oscylatora? Spójrz ponownie na początkowy schemat. Zauważ, że rezystory r1 i r2 charakteryzują się znacznie niższą rezystancją od rezystorów R1 i R2. Pozwoli to prawej okładzinie kondensatora C1 na szybkie gromadzenie ładunku — kondensator osiągnie szybko napięcie zbliżone do napięcia zasilającego. Prawa okładzina kondensatora C2 zachowuje się tak samo. Szeroki zakres napięć jest osiągany przez oba te miejsca. Zdecydowałem się na wybór miejsca znajdującego się po lewej stronie obwodu, ponieważ pozwoliło to na uproszczenie ułożenia komponentów na schemacie.

Jeżeli z obwodu pobierany będzie prąd o zbyt wysokim natężeniu, to proces ładowania kondensatora będzie przebiegał wolniej, co zachwieje równowagę oscylatora. W związku z tym sygnał wyjściowy kieruję poprzez rezistor 100 k $\Omega$  do bazy kolejnego tranzystora. Tranzystor ten pobiera za pomocą bazy prąd o bardzo niskim natężeniu, ale jednocześnie wzmacnia sygnał, dzięki czemu sygnał wychodzący z tego tranzystora można skierować do innych komponentów.

## Dlaczego jest to tak skomplikowane?

W pierwszym wydaniu tej książki w eksperymencie numer 11 przedstawiłem projekt, w którym miganie diody LED było sterowane za pomocą programowalnego tranzystora jednołączowego. Działanie tego komponentu jest łatwiejsze do zrozumienia i wystarczy zastosować jeden komponent tego typu w obwodzie, ale komponenty tego typu wchodzą z użycia i niektórzy czytelnicy narzekały, że trudno jest je kupić, a inni twierdzili, że nie warto rozpisywać się o tym komponencie.

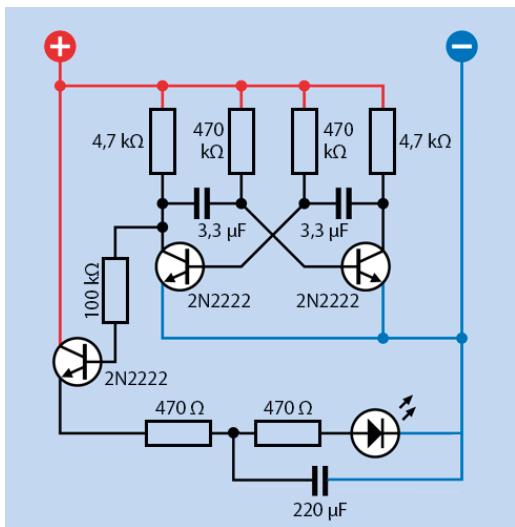
Tak naprawdę wciąż można kupić programowalne tranzystory jednołączowe, ale faktycznie komponenty te wchodzą z użycia. Tranzystory bipolarne są wciąż często spotykane w różnych układach, a więc postanowitem skorzystać z rad czytelników i nie pisać o programowalnym tranzystorze jednołączowym. Zanim wybrałem opisany schemat, przeanalizowałem wiele alternatywnych oscylatorów, ale zdecydowałem się na wybór najpopularniejszego schematu. Ponadto uważam, że działanie oscylatorów jest trudne do zrozumienia.

## Przetworzony impuls

Już wiesz, że dwa tranzystory mogą wygenerować sygnał pulsujący pomiędzy stanem wysokim i niskim, a trzeci tranzystor może wzmacnić ten sygnał tak, aby mógł ona zasilać diodę LED. Przypomnij sobie poprzedni eksperyment. Czy pracując nad nim, dowiedziałeś się czegoś, co można zastosować w tym eksperymencie?

Mamy sygnał wyjściowy, którego stan zmienia się dość wolno. Możemy udoskonalić nasz obwód, dodając do niego układ RC (jeżeli musisz sobie przypomnieć tę koncepcję, to zatrzymy do sekcji „Układ RC”).

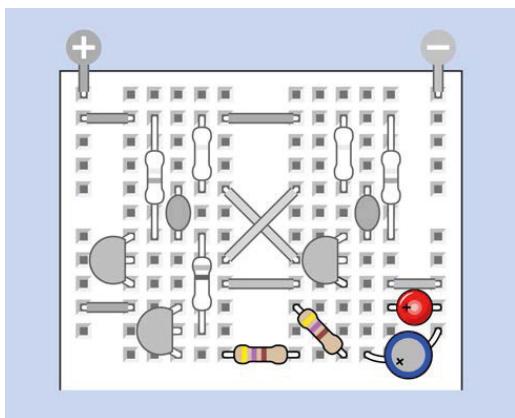
Przyjrzyj się rysunkowi 2.113. W dolnej części schematu dodano układ RC.



Rysunek 2.113. Do poprzedniego schematu dodano rezistor oraz kondensator  $220 \mu\text{F}$  tworzące obwód RC

Na rysunku 2.114 kolorami oznaczono komponenty, które zostały dodane lub których lokalizacja zmieniła się (patrz prawy dolny róg schematu). Pozostałe, nieprzeniesione komponenty zostały oznaczone kolorem szarym.

Teraz dioda LED będzie migała, gasnąc i zapalając się stopniowo. Czy wiesz dlaczego? Kondensator jest ładowany przez pierwszy rezistor  $470 \Omega$ , a następnie rozładowywany przez kolejny. Dlaczego to takie ważne? Założmy, że chcesz wykonać i podarować komuś elektroniczną biżuterię. Zmodyfikowanie jej tak, aby migała w określony sposób, może być ważne. Logo znajdujące się na starych komputerach firmy Apple pulsowało, a nie błyskało.



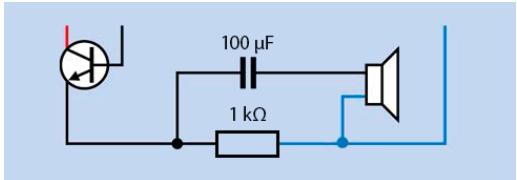
Rysunek 2.114. Komponenty, które zostały dodane lub których lokalizacja zmieniła się, oznaczono na kolorowo; dodany kondensator charakteryzuje się pojemnością  $220 \mu\text{F}$

## Zwiększanie szybkości

W jaki jeszcze sposób można zmodyfikować ten obwód? Możesz zmienić szybkość, z jaką pracuje. Usuń dwa kondensatory  $3,3 \mu\text{F}$  i w ich miejsca wstaw kondensatory  $0,33 \mu\text{F}$ . Obwód powinien teraz pracować około 10 razy szybciej, a więc dioda będzie błyskała również 10 razy szybciej. Czy tak się dzieje? Sprawdź to.

A jeżeli zastosujesz kondensatory o jeszcze mniejszej pojemności, np.  $0,1 \mu\text{F}$ ? Częstotliwości powyżej  $50 \text{ Hz}$  mogą nie być rejestrowane przez Twoje oko. Wchodzisz w zakres częstotliwości słyszalnych.

Jak zmodyfikować wyjście obwodu tak, aby efekt jego pracy był słyszalny, a nie widzialny? To proste! Odłącz diodę LED, rezistor  $470 \Omega$  i kondensator  $220 \mu\text{F}$ . W ich miejsce wstaw kondensator sprzągający  $100 \mu\text{F}$  i rezistor  $1 \text{k}\Omega$  (patrz rysunek 2.115). Rezystor łączy z masą emitera tranzystora, ponieważ tranzystor będzie pracował tylko wtedy, gdy jego emiter będzie charakteryzować się napięciem niższym od napięcia bazy. Kondensator blokuje przepływ prądu stałego i umożliwia przepływ prądu przemiennego. Na schemacie przedstawionym na wspomnianym wcześniej rysunku widoczna jest tylko zmodyfikowana część obwodu. Jak zainstalować elementy na płytce prototypowej? Powinieneś dojść do tego sam.



Rysunek 2.115. Zmodyfikowany obwód będzie generować dźwięk

## Dalsze modyfikacje

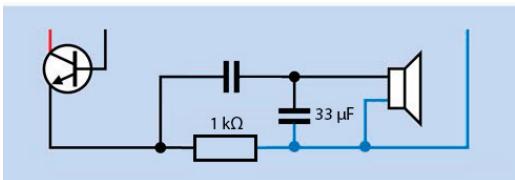
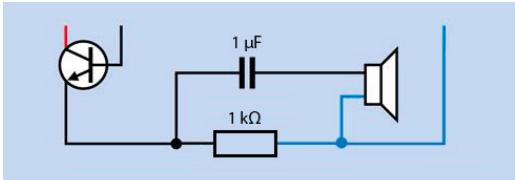
Twój obwód generuje już dźwięk. Jak zwiększyć częstotliwość generowanego dźwięku? Wystarczy wymienić rezystory lub kondensatory wchodzące w skład obwodu oscylatora. Rezystory  $470\text{ k}\Omega$  możesz zastąpić rezystorami  $220\text{ k}\Omega$  (lub komponentami o pośredniej rezystancji). Tranzystory mogą przełączać sygnał ponad milion razy na sekundę, a więc zwiększając częstotliwość pracy oscylatora, z pewnością nie osiągniesz tak wysokiej wartości granicznej. Sygnał oscylujący 10 000 razy na sekundę tworzy bardzo wysoki dźwięk. Sygnał o częstotliwości 20 Hz przekracza granicę słyszalności człowieka.

Jak można zmienić charakter dźwięku?

Na schemacie przedstawionym na rysunku 2.116 zastąpiłem kondensator sprzągający  $100\text{ }\mu\text{F}$ , który był połączony szeregowo z głośnikiem, kondensatorem  $1\text{ }\mu\text{F}$ . Zastosowanie kondensatora o niższej pojemności sprawi, że będzie on przepuszczał tylko sygnały o wyższej częstotliwości (krótkie impulsy) i pozbawi dźwięk niższych częstotliwości.

A jeżeli podłączysz kondensator równolegle do głośnika, tak jak pokazano na dolnej części rysunku 2.116? Wywoła on odwrotne zjawisko. Kondensator będzie dalej przepuszczał wyższe częstotliwości, ale w takim układzie będą one kierowane do masy z ominięciem głośnika. Zastosowaliśmy tzw. **kondensator obejściowy**.

Istnieje wiele prostych sposobów na zmodyfikowanie tego obwodu. Jeżeli chcesz, to możesz wykonać drugi identyczny obwód i zastosować jedną sekcję układu do sterowania drugą sekcją.



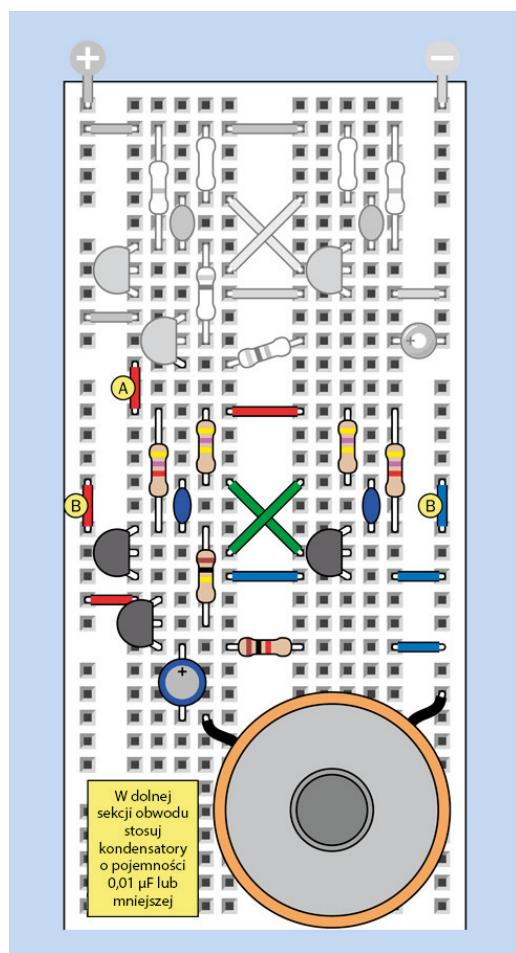
Rysunek 2.116. Kondensator sprzągający o niższej pojemności będzie blokował niższe częstotliwości, a więc do głośnika będą dochodziły tylko sygnały o wyższych częstotliwościach; umieszczenie kondensatora równolegle do głośnika spowoduje skierowanie wyższych częstotliwości bezpośrednio do masy, a więc do głośnika dotra niskie częstotliwości

Przywróć obwód do stanu przedstawionego na rysunku 2.106. Będzie on wtedy działał z początkową szybkością. Następnie skieruj sygnał wyjściowy do zduplikowanej sekcji, którą należy umieścić na płytce prototypowej pod wykonanym wcześniej obwodem. W drugiej sekcji do generowania dźwięku zastosuj kondensator  $0,01\text{ }\mu\text{F}$ . Taką modyfikację projektu przedstawiono na rysunku 2.117. Na rysunku tym zainstalowane wcześniej komponenty oznaczono kolorem szarym. Sekcja głośnika została przeniesiona w dolną część płytki.

Czerwony przewód oznaczony literą A został przeniesiony w inne miejsce — dostarcza sygnał wyjściowy górnej sekcji obwodu do dolnej sekcji obwodu. Czerwony i niebieski przewód (przewody oznaczone literą B) zwierają ze sobą poszczególne sekcje szyn zasilających płytka prototypowej.

Co się stanie, jeżeli zmienisz rezystory i kondensatory górnej części obwodu tak, aby generowała ona sygnał o wyższej częstotliwości?

Co się stanie, jeżeli wezmiesz kondensator  $220\text{ }\mu\text{F}$  i zaczniesz podłączać go pomiędzy różnymi częściami górnej i dolnej sekcji obwodu a szyną masy? Eksperyment taki nie jest groźny dla komponentów, a więc możesz wykonać go samodzielnie.



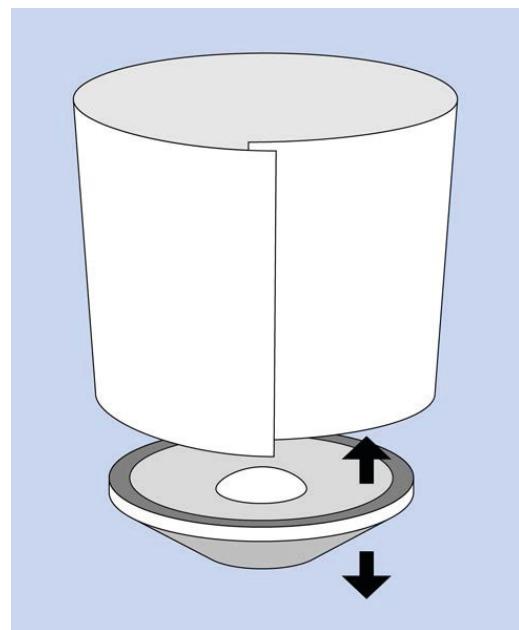
Możesz również cofnąć się do obwodu przedstawionego na rysunku 2.113 i zmienić sposób, w jaki komponenty są ze sobą połączone. Możesz wyjąć je z płytki prototypowej i połączyć w sposób pozwalający na przyczepienie obwodu do ubrania.

Czynność tę opiszę w eksperymencie numer 14. Oczywiście będzie to wymagało wykonania połączeń lutowniczych, ale chciałbym, abyś posiadał tę umiejętność, pracując nad eksperymentem numer 12 przedstawionym w kolejnym rozdziale.

## TEORIA: Montaż głośnika

Do roznoszenia dźwięku służy membrana głośnika, zwana też stożkiem. W miarę swojego wibrowania w górę i w dół emittuje ona dźwięk zarówno ze swojej przedniej, jak i tylnej strony. Ponieważoba dźwięki są przeciwnego w fazie, mają tendencję do wzajemnego wygaszania się.

Dźwięk dochodzący z głośnika można radykalnie poprawić przez dodanie tuby separującej dźwięk generowany z przodu i z tyłu głośnika. W przypadku głośnika o średnicy kilku centymetrów możesz użyć zwiniętego w rulon kartonu sklejonego taśmą. Patrz rysunek 2.118.



**Rysunek 2.118.** Tuba wykonana z kartonu poprawia siłę dźwięku emitowanego przez głośnik

Jeszcze lepszym rozwiązaniem byłoby zamontowanie głośnika w pudełku absorbującym dźwięki wychodzące z jego tylnej części.



## Wkraczamy głębiej

W trzecim rozdziale zastosujemy zdobytą wiedzę w praktyce, modyfikując niektóre z wykonanych wcześniej projektów. Dowiesz się, jak można wykonać zmodyfikowaną wersję obwodu przedstawionego w eksperymencie numer 11, którą będziesz mógł przyczepić do swojego ubrania. Ponadto opracujesz prosty alarm antywłamaniowy. W dalszej części książki — w rozdziale czwartym — rozpocznesz pracę z układami scalonymi.

Narzędzia, sprzęt i komponenty opisane w kolejnym podrozdziale przydadzą Ci się do pracy nad eksperymentami o numerach od 12 do 15. Dodatkowo będziesz potrzebował rzeczy, które zostały wymienione na początku poprzedniego rozdziału.

### **Lista zakupów: eksperymenty od 12 do 15**

Podobnie jak w przypadku poprzedniej listy zakupów przed zakupem narzędzi i wyposażenia stanowiska pracy zajrzyj do sekcji „Kupowanie narzędzi i wyposażenia” (znajdziesz ją w rozdziale 6.). Jeżeli interesuje Cię zakup zestawu komponentów, to zajrzyj do sekcji „Zestawy” (znajdziesz ją w rozdziale 6.). Jeżeli wolisz szukać komponentów i elementów eksploatacyjnych w sieci, to zajrzyj do sekcji „Komponenty” (znajdziesz ją w rozdziale 6.).

### **Zasilacz (niezbędny)**

Wszystkie projekty opisane w tej książce możesz zasilać za pomocą baterii 9 V, ale uważam, że zasilanie ich za pomocą **zasilacza sieciowego** jest o wiele wygodniejsze. Takie rozwiązanie powinno być bardziej opłacalne, ponieważ teraz będziesz

pracował nad obwodami pobierającymi więcej prądu.

Projekty możesz podłączać do domowej instalacji elektrycznej na trzy sposoby:

Najbardziej elastycznym rozwiązaniem jest zakup **zasilacza uniwersalnego** (przykład takiego zasilacza przedstawiono na rysunku 3.1). Zwykle umożliwia on wybór napięcia wyjściowego. Typowe napięcia to 3 V, 4,5 V lub 5 V, 6 V, 9 V i 12 V. Zasilacze tego typu są przeznaczone do zasilania małych urządzeń, takich jak dyktafony i małe odtwarzacze multimedialnych. Nie dostarczają one idealnie stabilnego napięcia, ale można to poprawić za pomocą kilku kondensatorów, co opiszę dokładnie, gdy dojdziemy do projektu, w którym będziemy korzystać z zasilacza.



**Rysunek 3.1.** Zasilacz, który dostarcza prąd stały po podłączeniu do gniazdka sieciowego; przełącznik ślizgowy pozwala na zmianę napięcia prądu wyjściowego

Möżesz również kupić **zasilacz jednonapięciowy**, który dostarczałby prąd stały o napięciu 9 V (patrz rysunek 3.2). Gdy zaczniesz pracować z cyfrowymi układami logicznymi, które muszą być zasilane prądem o napięciu 5 V, to będziesz mógł je zasilać



Rysunek 3.2. Zasilacz mogący dostarczać tylko prąd stały o napięciu 9 V

za pomocą taniego i małego regulatora napięcia (regulator może być również zasilany za pomocą baterii).

Trzecim rozwiązaniem jest wydanie większej ilości pieniędzy i zakup specjalnego **zasilacza warsztatowego**, który może dostarczać prąd stały o napięciu od 0 do +15 V i od 0 do -15 V. Zasilacze tego typu są często wyposażone w dodatkowe wyjścia prądu stałego o napięciu 5 V. Na górze zasilacza powinno dać się zainstalować kilka płyt prototypowych. Bez wątpienia przyda Ci się on w przyszłości, ale na razie nie musisz decydować się na jego zakup.

Jeżeli zdecydowałeś się na zakup zasilacza uniwersalnego, to zajrzyj do rozdziału 6., do sekcji „Pozostałe komponenty”. Przejdz do części dotyczącej rozdziału trzeciego — znajdziesz tam przydatne instrukcje.

Niezależnie od tego, który zasilacz wybierzesz, powinieneś on charakteryzować się następującymi cechami:

- Prąd wyjściowy powinien być stały, a nie przemienny. Większość zasilaczy dostarcza prąd stały, ale są pewne wyjątki.
- Zasilacz powinien dostarczać prąd o natężeniu przynajmniej 500 mA (0,5 A).
- Końcówka znajdująca się na kablu wyjściowym zasilacza nie ma znaczenia, ponieważ i tak ją odetniemy.
- Nie będziemy korzystać z końcówki zasilacza, a więc nie musisz zwracać uwagi na rodzaje końcówek dołączonych do zasilacza uniwersalnego.

- Najtańsze zasilacze sieciowe mogą pracować nieprawidłowo, jeżeli zaczniesz pobierać z nich prąd o natężeniu zbliżonym do maksymalnej wartości znamionowej. Postaraj się unikać takich modeli.

## Lutownica kolbową o niskiej mocy (zalecana)

Płytki prototypowe pozwalały na szybkie budowanie obwodów eksperymentalnych, a **lutownica** jest niezbędna do wykonywania połączeń pomiędzy komponentami obwodów, które mają być zespolone na stałe. Lutownica topi cienki drut będący **spoiwem lutowniczym**. Po rozpuszczeniu go można nim otoczyć druty, które chcemy ze sobą połączyć. Ostygnięcie spoiwo lutownicze tworzy trwałe połączenie.

Wszystkie projekty opisane w tej książce możesz wykonać na bazie płyt prototypowych, a więc lutownica nie jest czymś niezbędnym, ale tworzenie czegoś trwałego jest przyjemnym procesem, a lutownie jest przydatną umiejętnością. W związku z tym zalecam zakup lutownicy.

Osobiście wolę stosować lutownice o niskiej mocy do łączenia małych komponentów, które są wrażliwe na przegrzanie. Do lutowania większych komponentów wolę używać lutownicy o większej mocy (patrz kolejna sekcja). Niektórzy konstruktory wolą pracować z jedną lutownicą wyposażoną w regulator temperatury, ale uważam, że zbyt mała lutownica nie nadaje się do lutowania większych elementów, a zbyt duża do łączenia bardzo małych. Ponadto lutownica wyposażona w termostat jest dość droga.

Lutownica o niskiej mocy powinna charakteryzować się mocą 15 W. Im mniejsza kolba lutownicy, tym łatwiej się nią pracuje. Grot lutownicy powinien być cienki i smukły, ale jego końcówka powinna być zaokrąglona — grot powinien wyglądać jak zatemperowany ołówek. Najlepiej by było, gdyby grot był pokryty powłoką galwaniczną, ale nie wszyscy producenci umieszczają informacje o pokryciu grotu powłoką. Przykład dobrej lutownicy o mocy 15 W pokazano na rysunku 3.3. Odbarwienie się



Rysunek 3.3. Lutownica o niskiej mocy przeznaczona do prac precyzyjnych

materiału jest normalnym następstwem emitowania ciepła i nie zaburza pracy lutownicy.

## Lutownica ogólnego przeznaczenia (zalecana)

Ograniczona pojemność cieplna lutownicy o mocy 15 W będzie zbyt niska, aby można było połączyć grube druty, takie jak np. złącza przełączników przystosowanych do sterowania przepływem prądu o wysokim natężeniu. Złącza będą odprowadzały ciepło tak szybko, że lutownica o niskiej mocy nie będzie w stanie dostarczyć ciepła niezbędnego do stopienia spoiwa lutowniczego. Problem ten możesz napotkać również podczas próby przyutowania drutu do zacisku pełnowymiarowego potencjometru.

W takich sytuacjach przyda Ci się lutownica o mocy znamionowej od 30 do 40 W. Nie jest ona potrzebna do wykonania większości projektów opisanych w tej książce, ale polecam Ci ją do nauki wykonywania połączeń lutowniczych — większa pojemność cieplna sprawi, że wykonywanie połączeń będzie przebiegało sprawniej. Lutownica o mocy 30 W jest zwykle tańsza od lutownicy o mocy 15 W. Urządzenia takie są na ogół tanie. Uważam, że grot w kształcie drutu ułatwia przepływ ciepła, i jeżeli nie będziesz stosował lutownicy do pracy z delikatnymi komponentami, to nie potrzebujesz lutownicy zakończonej zaostronym grotem.

### Terminologia związana z lutownicą

W niektóre lutownice wbudowano **odsysacz**, który ułatwia rozlutowywanie komponentów. Jest to mały

tłoczek, który wciąga powietrze przez czubek lutownicy. Uważam, że nie jest to najlepsze rozwiązanie. Widziałem je tylko w lutownicach o mocy 30 W, które nie nadają się do pracy z wieloma komponentami elektronicznymi.

W opisach niektórych lutownic możesz trafić na słowo „spawarka”. Zignoruj je, ponieważ jest to tylko przykład niewłaściwie użytego terminu.

Do niektórych lutownic dołączany jest **statyw lutowniczy**, który umożliwia unieruchomienie łączonych komponentów. Warto rozważyć zakup takiego zestawu, ponieważ zakup tych przyrządów oddzielnie wiąże się z większym wydatkiem. Statyw lutowniczy zostanie opisany w kolejnej sekcji.

Jeżeli do lutownicy dołączono spoiwo lutownicze, to nie korzystaj z niego, o ile nie jest to **spoiwo z topikiem**.

Niektóre lutownice określa się mianem lutownic **otówkowych**. Jest to nieprecyzyjne określenie, ponieważ może odnosić się do lutownic o mocy 15 lub 30 W.

Lutownice otówkowe wyglądają zupełnie inaczej od lutownic **pistoletowych** (przykład takiej lutownicy przedstawiono na rysunku 3.4). Niektórzy wolą ergonomię takiego uchwytu. Model Therma-Boost widoczny na wspomnianym wcześniej rysunku posiada funkcję szybkiego startu, dzięki której rozgrzewa się w ciągu minuty, a więc urządzenie to nadaje się doskonale dla osób niecierpliwych. Jednak wszystkie lutownice pistoletowe charakteryzują się mocą 30 W lub wyższą, a ponadto są droższe od lutownic otówkowych.

## Statyw lutowniczy (niezbędny)

**Statyw lutowniczy** zwany również **trzecią ręką** posiada zazwyczaj dwa zaciski krokodylki, które mogą utrzymywać część elektroniczną lub przewody w pozycji odpowiedniej do ich lutowania. Niektóre wersje tego narzędzia zaopatrzone są również w szkło powiększające, sprzązynę będącą miejscem na rozgrzaną lutownicę oraz gabkę, w którą możesz



Rysunek 3.4. Lutownica Weller Therma-Boost 30W doskonale nadaje się do pracy z grubszymi drutami i większymi komponentami



Rysunek 3.5. Stawt lutowniczy z dodatkowymi akcesoriami

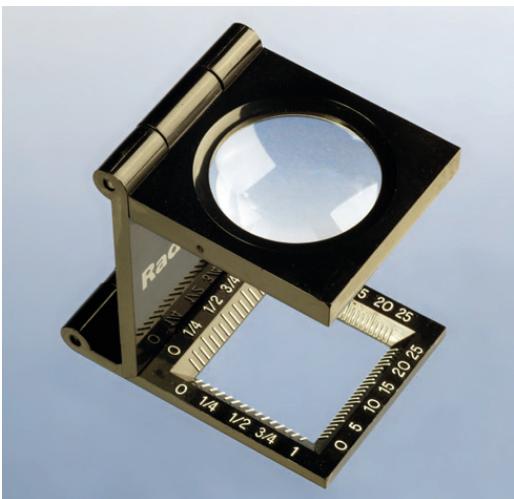
wytrzeć grot, kiedy ulegnie on zabrudzeniu. To dodatkowe wyposażenie narzędzia jest pożądane, ale niekonieczne.

## Szkło powiększające (niezbędne)

Niezależnie od tego, jak dobry masz wzrok, małe, poręczne szkło powiększające jest niezbędne do sprawdzania połączeń na płytce szybkiego montażu. Zestaw składający się z trzech soczewek, pokazany na rysunku 3.6, został zaprojektowany tak, aby trzymać go blisko oka, a uzyskiwane w ten sposób powiększenie jest znacznie lepsze niż to, jakie daje szkło przymocowane do statywów lutowniczych. Szkło powiększające w zginanej ramie, widoczne na



Rysunek 3.6. Poręczne szkło powiększające ułatwia ocenę połączeń lutowniczych



Rysunek 3.7. Tego typu szkło powiększające może stać na Twoim biurku

rysunku 3.7, przydaje się w sytuacjach, kiedy masz zajęte ręce. Tego typu elementy wyposażenia warsztatu znaleźć można w sklepach elektronicznych i hobbystycznych. Nie zapomnij również sprawdzić na [www.allegro.pl](http://www.allegro.pl). Wystarczą w zupełności plastikowe szkła powiększające, pod warunkiem że będziesz obchodził się z nimi ostrożnie.

## Przewody pomiarowe z końcówkami zaciskanymi (niezbędne)

W poprzednim eksperymencie polecałem zaczepienie na końcówce jednej probówki zacisku krokodylek. Drugi taki zacisk mógł zostać podłączony do drutu lub komponentu.

Lepszą alternatywą jest zakup przewodów pomiarowych zakończonych haczykami. Przykładowy produkt tego typu (Pomona 6244-48-0) pokazano na rysunku 3.8. Niestety jest to dość drogie rozwiązanie. Być może lepszym rozwiązaniem będzie zakup przewodów probierczych zakończonych zaciskiem krokodylkim (patrz rysunek 3.9). Są one zwykle dość tanie. Możesz również w dalszym ciągu wykonywać pomiary tak jak wcześniej za pomocą standardowych próbników.



Rysunek 3.8. Te miniauturowe zaciski haczykowe można zaczepić o druty lub złącza komponentów

## Opalarka (niezbędna)

Po połączeniu dwóch przewodów cyną lutowniczą często zachodzi potrzeba zaizolowania powstałego złącza. Taśma elektryczna jest nieporęczna i często ulega zsunięciu, odsłaniając styk elektryczny. Ty będziesz używał izolacji termokurczliwej, która tworzy bezpieczną, trwałą osłonę wokół odkrytego złącza metalowego. Do skurczenia izolacji użyjesz opalarki,



Rysunek 3.9. Przewody probiercze zakończone miniauturowymi zaciskami krokodylkami

która swoją budową przypomina niezwykle mocną suszarkę do włosów. Można je kupić w supermarketach ze sprzętem budowlanym. Sugeruję, abyś zakupił najtańszą, jaką uda się dostać. Patrz rysunek 3.10.



Rysunek 3.10. Opalarka służy do kurczenia koszulek termokurczliwych, które tworzą ciasną opaskę wokół metalowego złącza

W celu wykonywania prac precyzyjnych lepiej jest zaopatrzyć się w miniauturową opalarkę (patrz rysunek 3.11).



Rysunek 3.11. Praca miniauturową opalarką jest nieco łatwiejsza od pracy pełnowymiarowym urządzeniem

## Sprzęt przydatny przy rozlutowywaniu (zalecany)

**Odsysacz do cyny** odsysa gorącą, stopioną cynę, kiedy chcesz się pozbyć połączenia lutowanego stworzonego w złym miejscu (patrz rysunek 3.12). Niektórzy czytelnicy uważają, że odsysacz jest niezbędny do pracy, ale osobiście w razie wykonania połączenia lutowanego w złym miejscu wolę je odciąć i wykonać ponownie.



Rysunek 3.12. Aby usunąć cynę z połączenia, możesz podgrzać ją, aż przejdzie w stan płynny, a następnie wciągnąć ją przez przystosowaną do tego celu gumową gruszka

**Knot rozlutowniczy**, określany również mianem **plecionki**, nasiąka rozgrzanym spoiwem lutowniczym. Można go stosować wraz z odsysaczem. Zobacz rysunek 3.13.



Rysunek 3.13. Podczas usuwania płynnej cyny można również posłużyć się miedzianą plecionką

## Podstawka na lutownicę (zalecana)

W podstawce umieszczasz grot lutownicy, kiedy jej nie używasz, ale sam grot pozostaje rozgrzany (patrz rysunek 3.14). Podstawa jest dla lutownicy tym samym co stojak dla noża kuchennego. Jeżeli nie chcesz kupować podstawki do swojej lutownicy, możesz samodzielnie ją wykonać z metalowej rurki lub starej puszki przybitej do kawałka drewna. Lutownicę możesz również kłaść na brzegu stołu, na którym pracujesz, i uważać, aby nie zrzuścić jej na podłogę. Jeżeli lutownica upadnie na podłogę, to wypali otwór w syntetycznym dywanie lub plastikowej płytce podłogowej. Wiedząc o tych konsekwencjach i widząc spadającą lutownicę, możesz podjąć próbę jej złapania. Jeżeli złapiesz ją za gorącą część, to i tak ją upuścisz, a dodatkowo się poparzysz. Nigdy nie próbuj łapać spadającej lutownicy.



Rysunek 3.14. Bezpieczny i prosty stojak dla rozgrzanej lutownicy; żółtą gąbkę możesz zwilżyć i stosować do czyszczenia grotu lutownicy

Być może warto traktować podstawkę na lutownicę jako coś niezbędnego do pracy.

## Miniaturowa piła ręczna (zalecana)

Zakładam, że swoje ukończone układy elektroniczne będziesz chciał umieścić w ładnie wyglądających obudowach. Żeby osiągnąć ten cel, będziesz potrzebował narzędzi do cięcia i kształtowania plastiku. Możesz dla przykładu potrzebować wyciąć kwadratowy otwór, aby umieścić w nim przycisk przełączający energię.

Do tego celu nie nadają się narzędzia zasilane energią elektryczną, za to idealna będzie piła ręczna. Do tego typu prac można zastosować narzędzia takie jak mała piła ręczna lub uchwyt z wymiennym zestawem ostrzy firmy X-Acto. Zobacz rysunek 3.15.



Rysunek 3.15. Narzędzie przydatne do wycinania małych otworów pozwalających na montaż komponentów w plastikowych obudowach

## Gratownik (zalecany)

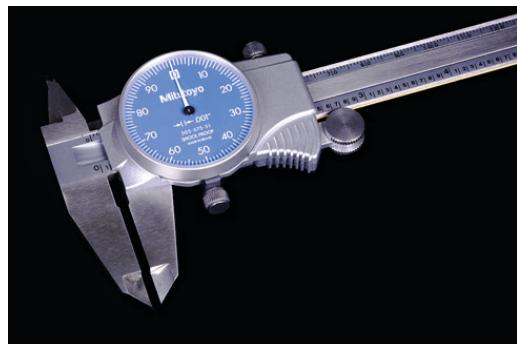
Gratownik ściera i wygładza wszelkie ostre krawędzie (powstałe na przykład po przepiłowaniu plastiku lub wywierceniu w nim otworu), a także nieznacznie powiększa same otwory. Ta ostatnia funkcja jest przydatna, ponieważ niektóre części mogą być produkowane w jednostkach innych niż metryczne, co może sprawić trudności podczas ich montażu w otworach wywierconych wiertłami o grubościach podanych w milimetrach. Patrz rysunek 3.16.



Rysunek 3.16. Gratownik

## Suwmiarka (zalecana)

To narzędzie może wydawać się zbyteczne, ale przydaje się bardzo do pomiaru zewnętrznej średnicy okrągłych obiektów (na przykład średnicy gwintu śrub mocujących przełączniki lub potencjometry), a także wewnętrznej średnicy otworów (do której być może będziesz chciał wpasować przełącznik lub potencjometr). Suwmiarkę pokazano na rysunku 3.17. Jeżeli wybierzesz model z cyfrowym wyświetlaczem zasilany za pomocą baterii, to będziesz mógł odczytywać wynik pomiarów w calach i milimetrach.



Rysunek 3.17. Suwmiarki służą do pomiaru wewnętrznych i zewnętrznych średnic

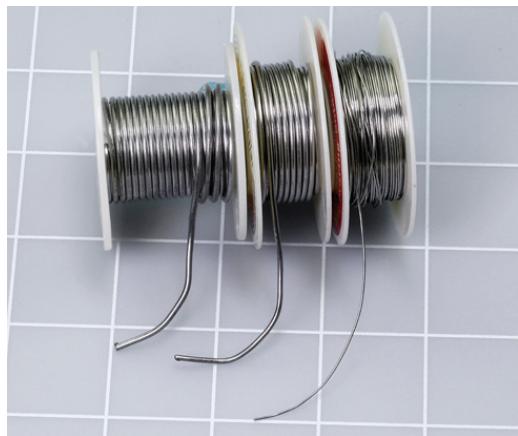
## Zaopatrzenie

Zakup wielu z wymienionych narzędzi jest zalecany, a nie wymagany. Zakup rzeczy wymienionych w tej sekcji jest niezbędny. Nie musisz ich kupować

jedynie wtedy, gdy jesteś całkowicie pewien tego, że nigdy nie będziesz chciał zbudować starej, nie-prototypowej wersji projektu. Narzędzia i materiały pozwalające na to kosztują mniej niż miesięczny abonament za telewizję kablową. Myślę, że to opłacała inwestycja.

### *Spoivo lutownicze (niezbędne)*

Spoivo będziesz topił w celu trwałego połączenia ze sobą dwóch elementów. Będziesz potrzebował cienkiego spoiwa, o grubości 0,5 – 1 mm, dla bardzo małych komponentów. Spoiwa lutownicze o różnej grubości przedstawiono na rysunku 3.18. Do wykonania projektów opisanych w tej książce potrzebujesz przynajmniej jednego metra takiego spoiwa.



Rysunek 3.18. Szpulki z cyną o różnej grubości

Nie kupuj cyny przeznaczonej do robót instalacyjnych (łączenia rur itp.), a także używanej w rzemiośle i jubilerstwie. Kupowane przez Ciebie spoivo powinno być przeznaczone do pracy z elektroniką.

Korzystanie z cyny zawierającej ołów jest kontrowersyjnym tematem. Pewien profesjonalista zapewniał mnie, że pozwala ona na wykonanie lepszych połączeń lutowniczych przy niższej temperaturze, pracuje się z nią łatwiej, a ryzyko dla zdrowia jest minimalne, jeżeli będziemy się nią postugiwać od czasu do czasu. Według niego cyna bezołowiowa jest problematyczna, ponieważ zawiera więcej kaliafonii, a więc generuje więcej oparów. Zagadnienie

to jest często omawiane na różnych forach internetowych. Wpisz w wyszukiwarce następujące hasła:

**cyna ołów lutowanie  
bezpieczeństwo**

Uważam, że dysponuję zbyt małym doświadczeniem, aby zająć jednoznaczne stanowisko w tej debacie. Jako mieszkaniec Unii Europejskiej nie powinieneś korzystać ze spoiwa zawierającego ołów, ponieważ korzystanie z niego jest zakazane.

Z pewnością potrzebujesz spoiwa lutowniczego zawierającego topik. Wybór pomiędzy spoiwem zawierającym ołów i spoiwem bezołowiowym pozostawiam Tobie.

### *Izolacja termokurczliwa (zalecana)*

Do użycia w połączeniu ze wspomnianą wcześniej opalarką. Będziesz potrzebował różnych rozmiarów w kolorach według własnego uznania. Patrz rysunek 3.19. Fragment izolacji termokurczliwej należy nasuwać na połączenie lutownicze, a następnie podgrzać ją za pomocą opalarki. Izolacja skurczy się, przylegając do połączenia i je izolując. Średnica koszulki termokurczliwej po podgrzaniu maleje o połowę, ale istnieją koszulki charakteryzujące się wyższym współczynnikiem kurczliwości. Różne materiały charakteryzują się między innymi różną kurczliwością i odpornością na ścieranie. Sprawdź w pobliskich sklepach z elektroniką, a także na [www.allegro.pl](http://www.allegro.pl). Ceny mogą znacznie różnić się od siebie. Nic nie stoi na przeszkodzie, aby kupić izolację najwyższą, ale musi ona być przystosowana do izolacji napięcia



Rysunek 3.19. Różne koszulki termokurczliwe

230 V lub wyższego. Wystarczy, że kupisz zestaw zawierający pięć lub sześć koszulek termokurczliwych o różnej średnicy. Częściej będziesz korzystał z koszulek o mniejszej średnicy.

### Miedziane zaciski krokodylki (zalecane)

Absorbują ciepło podczas lutowania delikatnych komponentów. Nie kupuj stalowych zacisków, które są pokryte cienką warstwą miedzi — powinieneś poszukać zacisków wykonanych w pełni z miedzi. Wystarczy, że kupisz dwa takie zaciski (patrz rysunek 3.20) — będziesz mógł korzystać z nich praktycznie w nieskończoność.



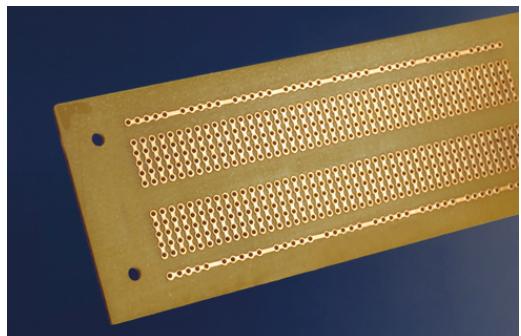
Rysunek 3.20. Te małe zaciski absorbują ciepło, chroniąc komponenty podczas ich lutowania

### Płytki szybkiego montażu (zalecane)

Kiedy będziesz gotowy przenieść swój układ z płytki prototypowej do jego stałej lokalizacji, przymocujesz wszystko do płytki uniwersalnej, zwanej również płytka szybkiego montażu.

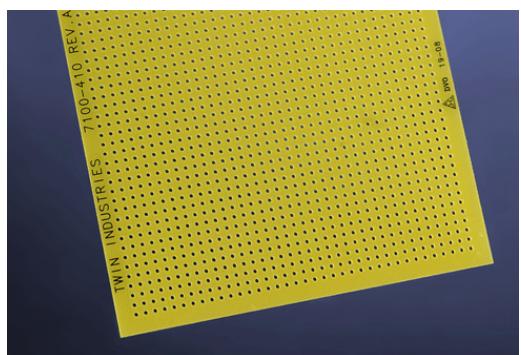
Będziesz potrzebował płytki posiadającej miedziane paski naniesione na jednej ze stron płytki. Ich układ powinien do złudzenia przypominać paski ukryte w płytce prototypowej, dzięki czemu będziesz mógł zachować taki sam układ komponentów podczas ich lutowania. Patrz rysunek 3.21. Na początek wystarczy, że kupisz tylko jedną taką płytkę.

Wadą płytki z takim układem przewodników jest to, że budowane na niej obwody będą zajmowały dużo miejsca. Aby skonstruować mniejszy obwód, możesz skorzystać z płytki perforowanej niezawierającej miedzianych ścieżek. Komponenty będziesz



Rysunek 3.21. Płytki perforowana posiada naniesiony wzór w postaci ścieżek i metalizacji wokół otworów; wzór ten jest taki sam jak układ przewodników znajdujących się wewnętrz płytki prototypowej

musiał wtedy łączyć ze sobą punktowo — wyjaśnię to w eksperymencie numer 14. Prawdopodobnie wystarczy Ci mała płytka tego typu, ale możesz kupić większą i wyciąć z niej fragment o odpowiednich wymiarach (patrz rysunek 3.22).



Rysunek 3.22. Zwykła płytka perforowana (bez ścieżek miedzianych) może być użyta do połączenia komponentów poprzez ich własne wyprowadzenia i dodatkowe przewody

Innym rozwiązaniem jest zakup **płytki uniwersalnej** z naniesionymi miedzianymi ścieżkami, które możesz przeciąć w odpowiednich miejscach. Osoby wykonujące dużo prac lutowniczych lubią korzystać z tego typu płytka. Przed wyborem płytki naucz się pracować z lutownicą.

### Drewniana podkładka (zalecana)

Podczas pracy z rozgrzaną cyną jej gorące krople będą spadać na stół lub biurko, przy którym pracujesz. Cyna niemal natychmiast zastyga i staje się

trudna do usunięcia, a po usunięciu pozostawia ślady na powierzchni. Dla bezpieczeństwa najlepiej zabezpieczyć miejsce swojej pracy, układając na nim płytę wiórową lub sklejkę o wymiarach  $0,5 \times 0,5$  m. Możesz ją kupić w dowolnym supermarketie budowlanym.

### Śruby (zalecane)

Do zamocowania części z tyłu panelu przydadzą się **śruby**. Będziesz potrzebował śrub o małych rozmiarach. Wyglądają one dobrze, jeśli ich tebki są płaskie i dobrze komponują się z samym panelem. Sugeruję zakup śrub nierdzewnych M3 o długości 10 i 13 mm oraz nakrętek M3 z nylowym kołnierzem zapobiegającym poluzowaniu.

### Obudowy (niezbędne)

Obudowa to nic innego jak małe (zwykle plastikowe) pudełko ze zdejmowaną pokrywą, wewnątrz którego można zamontować wykonany przez siebie projekt. Przełączniki, potencjometry i diody świecące montujesz w otworach wywierconych samodzielnie w obudowie, natomiast sam obwód zmontowany na płytce perforowanej wędruje do jej środka. W obudowie można zainstalować również mały głośnik.

Podczas pracy nad alarmem antywłamaniowym (eksperyment numer 15) będziesz potrzebował obudów o wymiarach mniej więcej 15 na 10 cm i wysokości około 5 cm.

### Gniazda zasilające

Po ukończeniu projektu i umieszczeniu go w obudowie będziesz potrzebował sposobu na dostarczenie mu energii. Kup kilka par okrągłych izolowanych gniazd i wtyków (patrz rysunek 3.23). Gniazda i wtyki tego typu są często oznaczone etykietą „6VDC”. Mogą one mieć różne rozmiary, ale pamiętaj o tym, że para gniazdo-wtyk musi charakteryzować się taką samą średnicą.

### Złącza typu goldpin

Po przymontowaniu komponentów do płytka perforowanej będziesz również potrzebował złączek o rozmiarze pasującym do otworów płytka perforowanej,

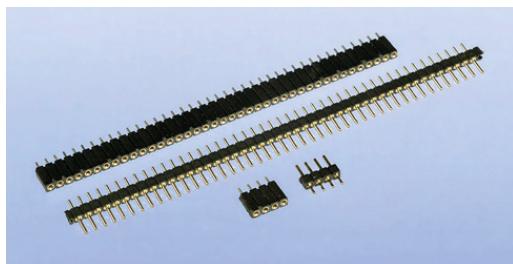


Rysunek 3.23. Gniazdo po prawej stronie może zostać zamontowane na ścianie obudowy, aby odbierać zasilanie z wtyczki po lewej stronie, wtyczkę należy założyć na przewody wyjściowe zasilacza

w której otwory rozstawione są co 2,54 mm. Złączki te pozwolą na podłączenie zewnętrznych przełączników i przycisków. Dzięki nim w przyszłości z łatwością wymontujesz płytę z obudowy projektu i naniesiesz na niej niezbędne poprawki.

Są one czasem nazywane „złączkami jednorzędowymi” lub „złączkami do druku”. Występują w postaci 36-stykowej lub większej. Możesz je łamać, tworząc złącza pasujące do Twoich potrzeb.

Rysunek 3.24 pokazuje złączkę przed podzieleniem i po podzieleniu na mniejsze sekcje. Przed zakupem upewnij się, że nóżki złączki mają rozstaw 2,54 mm (rozstaw ten powinien być zgodny z odlegością pomiędzy otworami płytka perforowanej).



Rysunek 3.24. Miniaturowe złącza nazywane czasami goldpinami

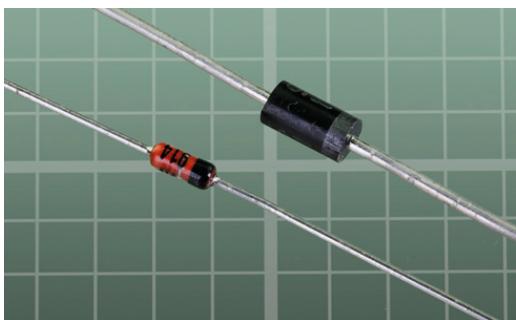
## Części

Przypominam, że możesz kupić komponenty w zestawie — zajrzyj do sekcji „Zestawy” (znajdziesz ją w rozdziale 6.). Jeżeli wolisz szukać komponentów i elementów eksploatacyjnych w sieci, to zajrzyj

do sekcji „Komponenty” (znajdziesz ją w rozdziale 6.). Poza komponentami opisanymi w rozdziale 2., w sekcji „Części”, będziesz potrzebował wymienionych niżej komponentów.

### Diody

Dioda umożliwia przepływ prądu tylko w jednym kierunku. Ujemne złącze diody określa się mianem **katody**. Katoda jest oznaczona linią (patrz rysunek 3.25). Dioda widoczna po prawej stronie tego rysunku to 1N4001. Może ona pracować z większym natężeniem prądu niż dioda widoczna po lewej stronie rysunku (1N4148). Diody są tanie i najprawdopodobniej przydadzą Ci się w przyszłości, a więc kup 10 sztuk każdego modelu. Mogą one pochodzić od dowolnego producenta.



Rysunek 3.25. Dwie diody (koniec oznaczony paskiem jest katodą)

## Eksperyment 12: Łączenie dwóch przewodów w jeden

Teraz możesz zacząć korzystać ze wszystkiego, co opisałem. Na początek nauczysz się postugiwać lutownicą.

Twoja przygoda z lutowaniem zacznie się od prostego zadania połączenia jednego przewodu z drugim, ale później przejdziesz bardzo szybko do stworzenia całego układu elektronicznego na płytce z otworami. Zaczynamy.

### Potrzebne będą:

- drut połączeniowy, szczypce do cięcia drutu i szczypce do zdejmowania izolacji,
- lutownica 30- lub 40-watowa,
- mała lutownica 15-watowa,
- cienkie spoiwo lutownicze,
- spoiwo lutownicze o średniej grubości (opcjonalne),
- statyw lutowniczy do przytrzymania przedmiotu Twojej pracy,
- izolacja termokurczliwa o różnych średnicach (opcjonalna),
- opalarka (opcjonalna),
- gruby karton lub kawałek sklejki do ochrony Twojego miejsca pracy przed rozgrzanymi kroplami cyny (opcjonalny).

### UWAGA: Lutownice nagrzewają się bardzo mocno!

Przestrzegaj poniższych podstawowych zasad:

Używaj odpowiedniej podstawki (na przykład będącej częścią Twojego statwu lutowniczego) do przechowywania lutownicy. Nie pozostawiaj jej w pozycji leżącej gdzieś na biurku lub stole.

Jeżeli w Twoim domu znajdują się małe dzieci lub zwierzęta, pamiętaj, że mogą one próbować bawić się lutownicą lub kablem doprowadzającym energię. Mogą w ten sposób zranić siebie lub Ciebie.

Zwracaj uwagę, aby nie dotykać rozgrzanym końcem lutownicy kabla dostarczającego jej energię. Po roztopieniu plastiku metalowy grot doprowadziły do zwarcia domowej instalacji elektrycznej.

Jeśli upuścisz lutownicę, nie próbuj być bohaterem, łapiąc ją w locie.

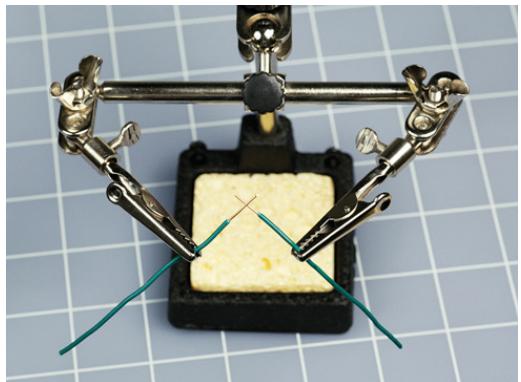
Większość lutownic nie posiada lampki informującej o jej połączeniu do prądu, dlatego zakładaj zawsze, że lutownica jest włączona, nawet jeśli jej wtyczka jest odłączona. Lutownica może utrzymywać

temperaturę powodującą poparzenie na długo po odłączeniu od prądu.

## Twoje pierwsze połączenie lutowane

Zaczniemy od użycia lutownicy codziennego użytku, czyli tej o mocy 30 lub 40 W. Podłącz ją do prądu, końcówkę umieść w stojaku na lutownicę i znajdź sobie inne zajęcie na następne 5 minut. Jeżeli zaczniesz używać lutownicy, nie dając jej czasu na pełne rozgrzanie, tworzone przez Ciebie połączenia nie będą pewne, ponieważ przy zbyt niskiej temperaturze spoiwo nie będzie w pełni stopione.

Zdejmij izolację z końców dwóch drutów o średnicy 0,64 mm i zamocuj je w statywie lutowniczym tak, aby ich odizolowane końcówki krzyżowały się ze sobą. Patrz rysunek 3.26.



Rysunek 3.26. Teraz możesz rozpocząć przygodę z lutowaniem

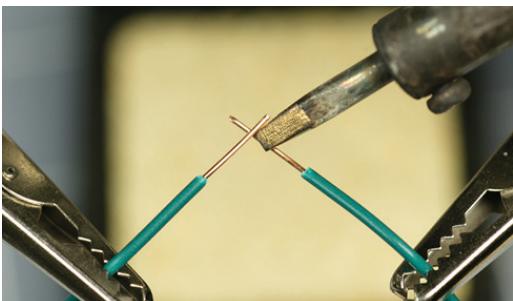
Upewnij się, że lutownica jest gotowa do pracy, topiąc małą porcję cyny dotknięciem rozgrzaną końcówką grotu. Cyna powinna stopić się natychmiastowo. Jeżeli topi się powoli, lutownica nie jest jeszcze dostatecznie rozgrzana.

Jeżeli grot Twojej lutownicy jest brudny, to go wyczyść. W tym celu moczy się gąbkę znajdującą się w podstawce uchwytu lutownicy, a następnie wyciera o nią grot lutownicy. Osobiście nie lubię tej techniki, ponieważ uważam, że wilgoć powoduje zmianę temperatury końcówki grotu, a to w połączeniu z jego rozszerzalnością cieplną może powodować

miniaturaowe pęknięcia w izolacji galwanicznej grotu. Rozgrzaną lutownicę wolę wycierać papierem — robię to na tyle szybko, aby nie osmalić papieru. Następnie grot pokrywam odrobiną cyny i wycieram go ponownie, dopóki nie będzie jednolicie lśniący.

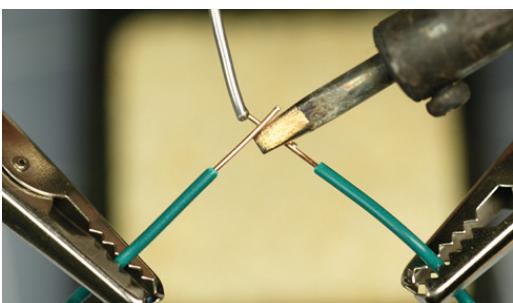
Po wyczyszczeniu grotu lutownicy wykonaj kroki opisane poniżej (pokazane na rysunkach od 3.27 do 3.31):

1. Przyłoż grot lutownicy na mniej więcej 3 sekundy do miejsca, w którym stykają się oba przewody, aby je podgrzać.



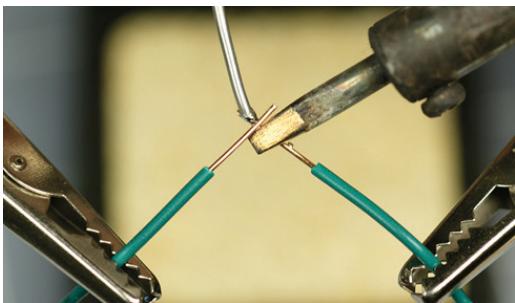
Rysunek 3.27. Krok numer 1

2. Utrzymując lutownicę w tej pozycji, przyłoż trochę cyny do miejsca złączenia przewodów, tam gdzie dotykaszt właściwie grotem lutownicy. W efekcie cyna, dwa łączone przewody i grot lutownicy powinny spotkać się w jednym miejscu.



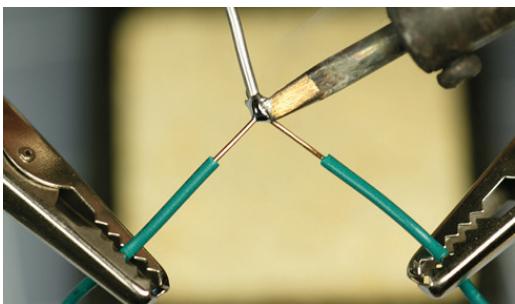
Rysunek 3.28. Krok numer 2

3. Na początku spoiwo lutownicze może topić się wolno. Bądź cierpliwy.



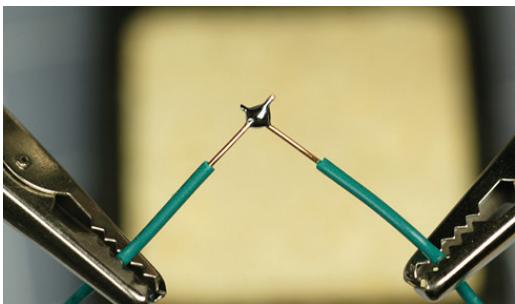
Rysunek 3.29. Krok numer 3

4. Teraz widzisz, że cyna zaczyna tworzyć kształt ładnej, okrągłej kropki.



Rysunek 3.30. Krok numer 4

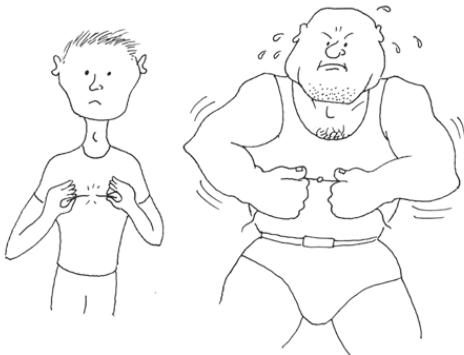
5. Odsuń lutownicę i cynę. Dmuchnij na połączenie, aby je ochłodzić. Po 10 sekundach powinno być dostatecznie chłodne, aby można było go dotknąć. Wykonane połączenie powinno być jednolite, mieć okrągły kształt. Po zastygnięciu spoiwo lutownicze powinno błyszczeć.



Rysunek 3.31. Krok numer 5

Gdy połączenie lutownicze ostygnie, odepnij przewody z zacisków i szarpnij nimi, aby przekonać się,

czy jesteś w stanie je rozłączyć. Użyj siły! Jeżeli pomimo Twoich największych wysiłków przewody pozostają złączone, są połączone elektrycznie i powinny pozostać w takim stanie. Jeżeli nie zrobiłeś dobrego połączenia, powinieneś z łatwością oddzielić oba przewody od siebie. Prawdopodobne przyczyny takiego stanu rzeczy to zbyt niska temperatura lub za mała ilość cyny użyta w trakcie lutowania. Różnicę pomiędzy dobrze i źle wykonanym połączeniem pokazano na rysunku 3.32.



Rysunek 3.32. Dobrze wykonane połączenie lutownicze (strona prawa) jest bardzo łatwo odróżnić od źle wykonanego (strona lewa)

Chciałem, abyś zaczął od lutownicy o większej mocy, ponieważ dostarcza ona więcej ciepła, co ułatwia pracę.

Proces lutowania można podsumować w następujący sposób: podgrzej druty; przyłoż cynę, nadal ogrzewając przewody; poczekaj, aż cyna zacznie się topić; poczekaj jeszcze chwilę, aż rozpuszczona cyna otoczy łączone elementy, a następnie odsuń źródło ciepła od łączonych elementów. Cały proces powinien trwać od czterech do sześciu sekund.

## TEORIA: Mity odnośnie do lutowania

### Mit 1: Lutowanie jest bardzo trudne

Miliony osób nauczyło się lutować, a statystycznie rzecz biorąc, nie ma podstaw, aby zakładać, że masz mniejszą koordynację ruchową niż większość z nich. Ja przez większość mojego życia cierpię na schorzenie powodujące drżenie dloni, które sprawia, że

mam problemy z utrzymaniem w bezruchu małych przedmiotów. Brakuje mi również cierpliwości przy wykonywaniu powtarzających się precyzyjnych czynności. Więc skoro ja potrafię lutować komponenty, każdy powinien być w stanie to robić.

### Mit 2: Lutowanie naraża Twoje zdrowie na wpływ szkodliwych chemikaliów

Powinieneś unikać wdychania oparów spoiwa lutowniczego, ale ta sama reguła obowiązuje dla produktów codziennego użytku, takich jak wybielacz czy farba. Po pracy ze spoiwem lutowniczym należy umyć ręce — aby zrobić to dokładnie, możesz postużyć się szczoteczką do paznokci. Gdyby lutowanie stanowiło znaczące zagrożenie dla zdrowia, już dawno temu ktoś zauważałby wysoki odsetek zgonów wśród hobbystów elektroników.

### Mit 3: Używanie lutownicy jest niebezpieczne

Lutownica jest mniej groźna od żelazka, którego używasz do prasowania koszul, ponieważ dostarcza mniejszą ilość ciepła. Z mojego doświadczenia wynika, że lutowanie jest mniej niebezpieczne niż spora część czynności wykonywanych w typowym gospodarstwie domowym lub przydomowym warsztacie. Ta uwaga nie zwalnia jednak z obowiązku zachowania ostrożności. Lutownica jest bardzo gorąca i jeżeli jej dotkniesz, to z pewnością się poparzysz.

## PODSTAWY: Osiem najczęstszych błędów związanych z lutowaniem

**Za niska temperatura.** Połączenie wygląda dobrze, ale ponieważ nie użyłeś dostatecznie dużej temperatury podczas lutowania, cyna nie stopiła się dostatecznie dobrze, aby zmienić swoją wewnętrzną strukturę molekularną. Pozostała w formie granulkowej, zamiast przejść w stan całkowicie zwartej. Powstał tak zwany „**zimny lut**”, który rozpadnie się, kiedy pociagniesz przewody w przeciwnych kierunkach. Podgrzej ponownie połączenie i dodaj nowej cyny.

**Przenoszenie cyny na miejsce połączenia.** Wiodąca przyczyną niedostatecznej podgrzanej cyny jest

pokusa dołożenia jej do połączenia bezpośrednio z grotą lutownicy. Powoduje to, że chłodne przewody obniżają temperaturę cyny. Powinieneś w pierwszej kolejności dotknąć przewodów i podgrzać je, a dopiero potem dodać cynę. Dzięki temu przewody będą gorące i pomogą w stopieniu cyny, która ma do nich przywrzeć.

- Ponieważ jest to powszechnie spotykany problem, powtórzę jeszcze raz: twoim celem nie jest dołożenie gorącej cyny do zimnych przewodów, ale zimnej cyny do rozgrzanych przewodów.

**Za wysoka temperatura.** Nie stanowi ona zagrożenia dla samego połączenia, ale dla wszystkiego, co znajduje się blisko niego. Izolacja winylowa ulegnie stopieniu, uwidaczniając nagie przewody, co zwiększy ryzyko zwarcia. Możesz uszkodzić lub wręcz stropić półprzewodniki, a także wewnętrzne plastikowe części przekaźników i łączników. Uszkodzone komponenty muszą zostać wylutowane i zastąpione sprawnymi komponentami, co zajmie czas i może okazać się bardzo kłopotliwe. Jeżeli lutowanie nie wychodzi Ci z jakiegoś powodu, to odczekaj chwilę, aż wszystko ostygnie, a następnie spróbuj ponownie.

**Zbyt mało cyny.** Cienkie połączenie pomiędzy dwoma przewodnikami może nie być dostatecznie mocne. Łącząc dwa przewody, sprawdź zawsze pod ich spodem, czy cyna dostała się we wszystkie miejsca.

**Przesuwanie łączonych elementów przed zastygnięciem cyny.** W ten sposób możesz stworzyć niewidoczne pęknięcie pomiędzy dwoma przewodnikami. Był może nie będzie ono stanowiło przeszkody w przewodzeniu tego połączenia, ale w przyszłości, pod wpływem wibracji lub temperatury pracy, doprowadzi do zwiększenia przerwy między elementami i utraty kontaktu elektrycznego. Uszkodzenia tego typu często bywają trudne do wykrycia. Uniknij tego problemu, montując łączone elementy w zaciskach lub umieszczać je w otworach płytki perforowanej.

**Brud i zatłuszczenie.** Spoiwo lutownicze do celów elektrycznych zawiera kalafonię, która oczyszcza

lutowaną powierzchnię. Mimo to inne zanieczyszczenia mogą uniemożliwić stworzenie trwałego połączenia. Jeżeli element wygląda na zanieczyszczony, oczyść go papierem ściernym przed lutowaniem

**Węgiel na czubku grotu.** Grot stopniowo pokrywa się czarnymi „piegami” węglowymi, które tworzą barierę dla przepływu ciepła. Czyść końcówkę grotu zgodnie z wcześniejszymi poradami.

**Niewłaściwe materiały.** Cyna lutownicza jest przeznaczona do części elektronicznych. Nie nadaje się do łączenia aluminium, stali nierdzewnej i innych materiałów. Będziesz w stanie zmusić ją do połączenia z elementami chromowanymi, ale nie będzie to łatwe.

**Brak sprawdzenia skutecznego połączenia.** Nie zakładaj, że wykonane połączenie jest dobre. Zawsze wykonuj praktyczny test, używając odpowiedniej sity. Tam, gdzie nie jesteś w stanie uchwycić połączonych elementów palcami, wetknij pod nie ostrze śrubokręta i spróbuj je lekko wygiąć, ewentualnie pociągnij je małymi szczypcami. Nie przejmuj się możliwością zniszczenia swojej pracy. Połączenie, które nie przetrwa takiego testu, nie było dobre.

Najgorsze spośród ośmiu wymienionych błędów są suche/zimne luty, ponieważ można je wykonać z dużą łatwością i na pierwszy rzut oka wyglądają dobrze.

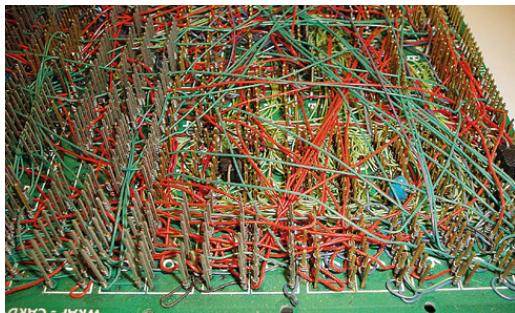
## TEORIA: Alternatywy dla lutowania

Już w latach pięćdziesiątych XX wieku połączenia wewnętrz urządzeń elektrycznych, takich jak odbiorniki radiowe, były lutowane ręcznie przez pracowników na liniach montażowych. Jednak rozwój central telefonicznych wytworzył potrzebę szybszego tworzenia dużej liczby błyskawicznych i pewnych połączeń między dowolnymi dwoma punktami. Skutecznym rozwiązaniem okazały się **połączenia owijane** (ang. *wire wrap*).

W projektach elektronicznych wykorzystujących połączenia owijane komponenty montowane są na płytce drukowanej posiadającej wysokie, pozłacane

prostokątne bolce o zastrzonych końcach, wystające z jej dolnej strony. Do połączeń używany jest specjalny posrebrzany drut. Specjalne narzędzie, ręczne lub napędzane elektrycznie, zawija odizolowaną część przewodu wokół wybranego bolca, wywierając dostatecznie dużą siłę, aby spoić „na zimno” miękką warstwę srebra z bolcem. Sam proces zawijania pozwala stworzyć dobry kontakt elektryczny, tym bardziej że zazwyczaj wykonywanych jest od 7 do 9 owinięć, a każde z nich powoduje dotknięcie czterech krawędzi bolca.

W latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych ten system został zaadaptowany przez hobbystów budujących swoje własne komputery. Rysunek 3.33 pokazuje przykładową płytę drukowaną zbudowanego ręcznie komputera. Ta sama technika została użyta przez NASA do zbudowania komputera w pojeździe kosmicznym programu Apollo, który polecił na Księżyc. Dzisiaj ta technika ma niewiele zastosowań komercyjnych.



Rysunek 3.33. Połączenia owijane w zbudowanym przez Steve'a Chamberlina 8-bitowym procesorze i komputerze. Stworzenie takiej sieci połączeń w tamtych czasach przy użyciu lutowania byłoby niezwykle czasochłonne i podatne na błędy. Zdjęcie zaprezentowane dzięki uprzejmości Steve'a Chamberlina

Szeroko rozpowszechnione w przemyśle komponenty przewlekane przez otwory, takie jak układy scalone w pierwszych komputerach domowych, wpłynęły na rozwój lutowania na fali stojącej. Technika ta polega na wytworzeniu fali lub wodospadu z roztopionej cyny i przesuwaniu nad nią podgrzanej płytki z obwodem drukowanym, do której wstawione zostały wszystkie komponenty. Odpowiednia maska

na powierzchni płytka zapobiega przyklejaniu cyny w miejscach, w których jest ona niepożądana.

Jeszcze nowsza technika polega na montowaniu powierzchniowo komponentów, których rozmiary są mniejsze od ich odpowiedników przewlekanych. Każda część jest przyklejana do płytka pokrytej pastą lutowniczą, następnie cały układ jest podgrzewany, co powoduje stopienie pasty i stworzenie trwałych połączeń.

## Twoje drugie połączenie lutowane

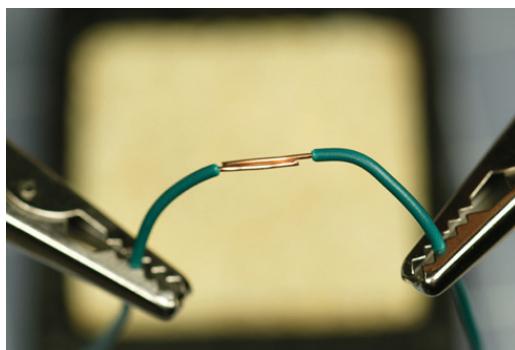
Wypróbuj teraz swoją mniejszą lutownicę. Ponownie musisz podłączyć ją do prądu i pozostawić na pięć minut, aby mieć pewność, że jest dostatecznie dobrze rozgrzana. W tym czasie nie zapomnij wyłączyć z prądu drugiej lutownicy i odłożyć jej w bezpieczne miejsce, gdzie będzie mogła ostygnąć.

Do wykonania tego połączenia użyj cieńszej cyny. Będzie ona pobierała mniejszą ilość ciepła generowanego przez lutownicę o mniejszej mocy.

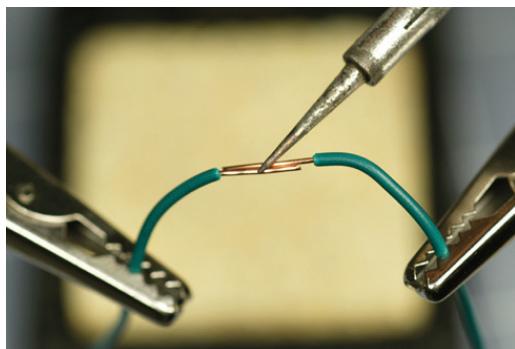
Tym razem chciałbym, abyś ułożył przewody równolegle do siebie. Połączenie ich w takiej pozycji jest odróżnieniem bardziej trudniejsze niż w sytuacji, kiedy się krzyżują, ale ta umiejętność jest niezbędna. W przeciwnym razie nie będziesz w stanie wsunąć izolacji termokurczliwej i zabezpieczyć połączenia.

Sposób wykonania takiego połączenia pokazuję rysunki od 3.34 do 3.38. Na początku końcówki przewodów nie muszą się ze sobą całkowicie stykać, cyna uzupełni małe przerwy. Druty muszą być jednak dostatecznie gorące, aby stopić cynę, a to może zajść kilka dodatkowych sekund, zwłaszcza kiedy używasz lutownicy o mniejszej mocy.

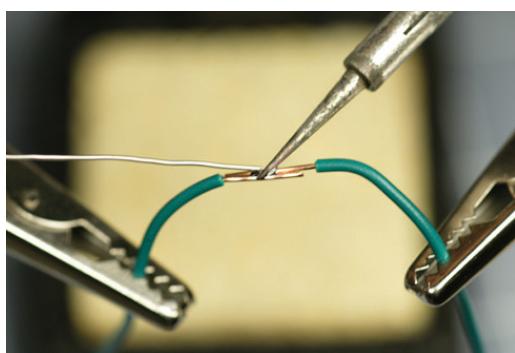
Pamiętaj, aby nakładać cynę tak, jak zostało to pokazane na zdjęciach. Nie próbuj nanosić cyny z końcówki grota. Zaczni od podgrzania łączonych drutów, a następnie dotknij ich i grota cyną (nie odrywając grota od drutów). Poczekaj, aż cyna się roztopi, a zobaczysz, jak chętnie wpływa ona między łączone końcówki. Jeśli tak się nie dzieje, wykaż cierpliwość i nagrzej przewody dłużej.



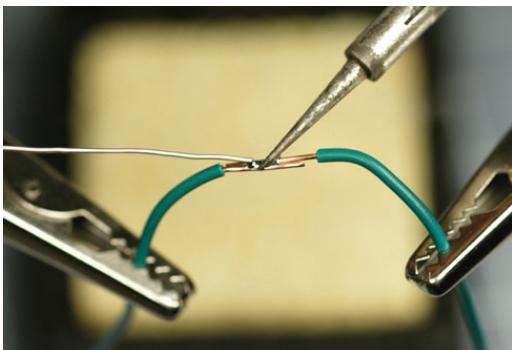
Rysunek 3.34. Krok 1: ustaw druty równolegle do siebie



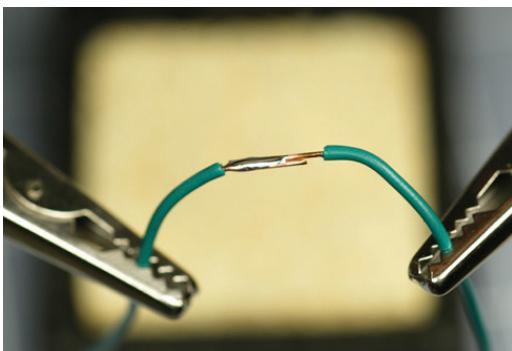
Rysunek 3.35. Krok 2: podgrzej druty



Rysunek 3.36. Krok 3: podgrzewając druty, przyłoż do nich spojwo lutownicze i poczekaj, aż zacznie się topić, bądź cierpliwy



Rysunek 3.37. Spoivo wpływa pomiędzy druty



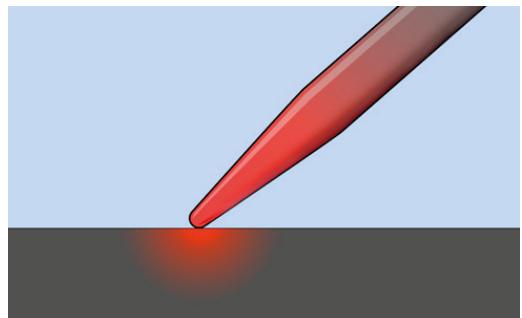
Rysunek 3.38. Gotowe połączenie błyszczy; spoivo wpłynęło pomiędzy miedziane druty

Gotowe połączenie lutownicze powinno charakteryzować się taką ilością cyny, która zapewni trwałość połączenia, a jednocześnie pozwoli na nasunięcie na nie koszulki termokurczliwej. Za chwilę wróć do tego tematu.

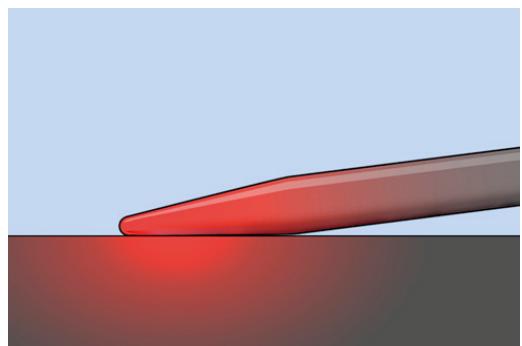
## TEORIA: Lutowanie

Im lepiej będziesz rozumiał proces lutowania, tym łatwiej będzie Ci robić dobre połączenia lutowane.

Koniec grotu lutowniczego jest gorący, a Ty chcesz przenieść to ciepło do tworzonego połączenia. Dlatego powinieneś tak dobierać kąt, pod którym przykładasz grot do lutowanej powierzchni, aby kontakt odbywał się przy jak największej powierzchni. Patrz rysunki 3.39 i 3.40.



Rysunek 3.39. Przy bardzo malej powierzchni kontaktu pomiędzy końcówką grotu i lutowaną powierzchnią przekazywana jest niewystarczająca ilość ciepła



Rysunek 3.40. Większa powierzchnia kontaktu pomiędzy grotem i lutowaną powierzchnią znacznie zwiększy ilość przekazywanego ciepła

Kiedy cyna zaczyna topnieć, poszerza powierzchnię kontaktu, co pozwala na większy transfer ciepła i samooczynne przyspieszenie całego procesu. Najtrudniejszą rzeczą jest zainicjowanie całego procesu.

Przepływ ciepła ma to do siebie, że czasem może doprowadzić do jego ucieczki z miejsca, w którym go potrzebujesz, i pojawienia się w miejscu zupełnie nieoczekiwany. Zlutowanie bardzo grubego przewodu może okazać się niemożliwe, ponieważ on sam nie nagrzewa się wystarczająco mocno, aby stopić cynę — maszynowy przewód przewodzi ciepło, powodując jego ucieczkę z miejsca lutowania. Nawet 40-watowa lutownica nie wystarczy, aby pokonać ten problem. Jednocześnie możesz napotkać drugi problem — lutownica może nie być w stanie rozpuścić cyny, ale może dostarczyć wystarczająco dużo ciepła, aby stopić izolację przewodu.

Przyjmij ogólną zasadę: Jeśli nie jesteś w stanie wykonać połączenia lutowanego w 10 sekund, przykładasz zbyt małą ilość ciepła.

## Dodawanie izolacji

Kiedy osiągniesz sukces w tworzeniu dobrych liniowych połączeń dwóch przewodów, będziesz mógł przystąpić do części łatwiejszej. Wybierz koszulkę termoizolacyjną, której rozmiar jest wystarczająco duży, aby wsunąć w nią połączenie z zachowaniem małego luzu.

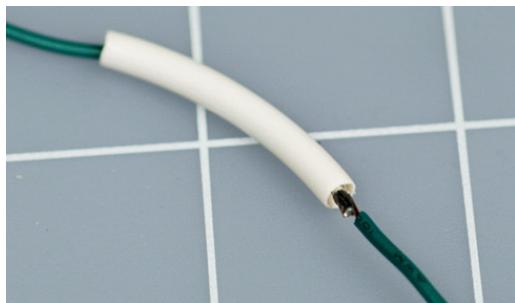
Oczywiście wszystko należy zaplanować wcześniej. Koszulkę termokurczliwą należy nasunąć na przewody **przed** ich złutowaniem. Poznasz tę koncepcję w praktyce, wykonując czynności opisane w liście kroków umieszczonej w kolejnej sekcji.

Zakładam, że koszulka termokurczliwa została przez Ciebie nasunięta na jeden z drutów. Przesuń ją w taki sposób, aby miejsce złączenia wypadło w jej środku, a następnie umieść całość przed wyłotem opalarki i włacz jej zasilanie (trzymając palce z dala od strumienia gorącego powietrza). Obróć przewód tak, aby został podgrzany ze wszystkich stron. Jeśli nadmiernie podgrzeszysz izolację, skurczy się ona tak bardzo, że popęka. W takiej sytuacji będziesz musiał ją usunąć i zacząć od nowa. W chwili kiedy izolacja utworzy ciasną opaskę wokół przewodu, zadanie jest skończone — nie ma potrzeby dalej rozgrzewać przewodu. Średnica kurczącej się koszulki ulega zmniejszeniu, ale pamiętaj o tym, że koszulka ulega również nieznaczнемu skróceniu.

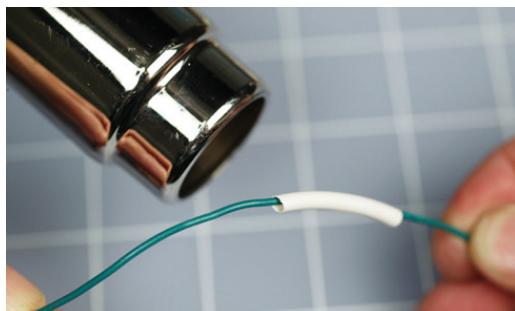
Pożądany wynik pokazują rysunki od 3.41 do 3.43. Dla większego kontrastu na zdjęciach użyłem białej izolacji. Izolacje w innych kolorach są równie dobre.

## UWAGA: Opalarki również bywają gorące!

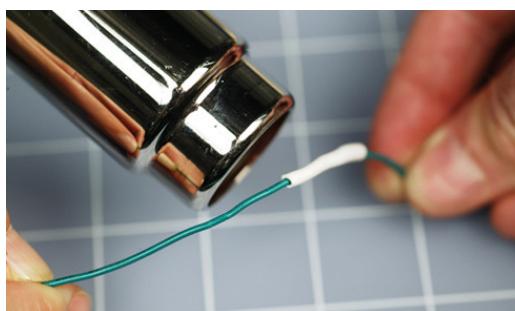
Zwrót uwagę na chromowaną obudowę wylotu opalarki. Stal jest droższa od plastiku, stąd wniosek, że producent umieścił tam metalową część nie bez



Rysunek 3.41. Nasuń izolację na miejsce złączenia dwóch przewodów



Rysunek 3.42. Podgrzej izolację



Rysunek 3.43. Kontynuuj podgrzewanie do momentu, kiedy izolacja ciasno opasa miejsce złączenia

powodu. Ten powód to powietrze, które rozgrzewa się do temperatury topiącej plastik.

Metalowa tuba jest nagrzana do tego stopnia, że jest w stanie poparzyć Cię jeszcze kilka minut po jej użyciu. Inne osoby i zwierzęta domowe, nieświadome stopnia rozgrzania tego narzędzia, są narażone na niebezpieczeństwo. Najważniejsze, co musisz zrobić, to upewnić się, że nikt w Twoim domu nie użyje nigdy opalarki, zakładając błędnie, że jest to suszarka do włosów (patrz rysunek 3.44).



Rysunek 3.44. Inni członkowie Twojej rodziny powinni mieć świadomość, że wygląd opalarki — przypominający suszarkę do włosów — jest mylący

To narzędzie jest trochę bardziej niebezpieczne, niż wygląda to na pierwszy rzut oka. Miniatura opalarka jest nieco bezpieczniejsza, ale pracując z nią, należy również zachować ostrożność.

## Modyfikacja zasilacza

Sugeruję, abyś poćwiczył swoje umiejętności lutowania, wykonując coś praktycznego. Możesz dodać do swojego zasilacza kolorowe druty określające dodatni i ujemny biegun, a jeżeli nie masz jeszcze zasilacza, to możesz przedłużyć kable klipsa baterii 9 V. W obu przypadkach zastosuj druty o średnicy 0,64 mm, ponieważ można je wygodnie podłączyć do płytki prototypowej.

Ponieważ w obu zadaniach nie występują elementy czułe na ciepło, do ich realizacji lepiej będzie użyć lutownicy o większej mocy.

Zakładam, że Twój zasilacz ma formę modułu podłączanego bezpośrednio do kontaktu. Z zasilacza wystaje para przewodów, przez które dostarczany jest prąd stały niezbędny do zasilania projektów. Na końcu przewodów znajduje się miniatura wtyczka. Wtyczka ta zwykle pasuje do odtwarzaczy multimedialnych lub telefonu, ale nie nadaje

się do zasilania projektów opisanych w tej książce, ponieważ musimy podłączyć zasilacz do płytki prototypowej.

Jak można rozwiązać ten problem? Czytaj dalej. Pokażę Ci.

### Krok 1: Przetnij i zmierz

Na początku sprawdźmy, czy zasilacz pracuje prawidłowo.

Nie podłączaj go jeszcze do gniazdka. Odetnij końcówkę z przewodu niskiego napięcia (patrz rysunek 3.45).



Rysunek 3.45. Pierwsza czynność, którą należy wykonać, modyfikując zasilacz

Przytnij oba przewody, używając szczypiec z ostrzem. Jeden z przewodów utnij krócej od drugiego. W ten sposób zapobiegnesz przypadkowemu zwarciu obu przewodów (po odstolięciu izolacji) i spaleniu zasilacza. Zdejmij około 5 mm izolacji z końców obu przewodów (patrz rysunek 3.46).



Rysunek 3.46. Odsłonięte końcówki przewodów

Jeżeli odsłonięte końcówki zostaną zwarte, gdy zasilacz będzie podłączony do kontaktu, to może on zostać przeciążony lub znajdujący się w nim bezpiecznik może się przepalić. Może również dojść do iskrzenia, ale iskry te nie będą zagrażały Twojemu zdrowiu. Nic strasznego, ale lepiej do tego nie dopuszczać.

Włącz miernik w tryb pomiaru napięcia prądu stałego i przyłożyć probówkę do odsloniętych drutów za pomocą przewodów zakończonych zaciskami krokodylkami. Upewnij się, że czerwona probówka miernika jest podłączona do gniazda przeznaczonego do pomiaru napięcia, a nie natężenia prądu. Podłącz zasilacz do gniazdk i zobacz, jakie napięcie generuje zasilacz.

Nieobciążone zasilacze mogą generować prąd o napięciu wyższym niż znamionowe. Wewnętrzna rezystancja miernika jest tak duża, że zasilacz pracuje tak, jakby nic nie było do niego podłączone.

Aby test odpowiadał rzeczywistości, wybierz rezistor o wartości  $680\ \Omega$  i wstaw go pomiędzy wyprowadzenia zasilacza. To sprawi, że napięcie na zasilaczu spadnie do odpowiedniego poziomu. Przyłożyć końcówki miernika do obu końców rezystora. Teraz uzyskasz sensowny wynik pomiaru.

Użycie rezystora o wartości mniejszej niż  $680\ \Omega$  nie jest zbyt dobrym pomysłem, ponieważ te zakupione przez Ciebie mają moc zaledwie  $0,25\text{ W}$  i jeśli spróbujesz wymusić na nich większą moc, zacząć się

nagrzewać i ostatecznie się przepalią. Prawo Ohma mówi nam, że kiedy rezistor o wartości  $680\ \Omega$  jest podłączony do  $9\text{ V}$ , płynący przez niego prąd jest rzędu  $13\text{ mA}$ , a wtedy tracona moc wynosi  $0,12\text{ W}$  ( $120\text{ mW}$ ), co mieści się w granicach dopuszczalnej mocy maksymalnej rezystora ( $0,25\text{ W}$ ).

Jeżeli chcesz zobaczyć, jak napięcie prądu generowanego przez zasilacz zmienia się wraz ze spadem rezystancji, to możesz podłączyć do niego równolegle kilka rezystorów  $680\ \Omega$ . To dość interesujący eksperyment, ale wróćmy do naszego głównego celu, czyli zasilania płytki prototypowej.

#### Krok 2: Lutowanie

Podłącz próbniki do przewodów tak, aby miernik nie wskazywał napięcia ujemnego. Jeżeli wartość wyświetlona na zasilaczu jest poprzedzona znakiem minus, znaczy to, że końcówki są podpięte do przewodów odwrotnie. Zamień je miejscami, wtedy znak minus powinien zniknąć. W ten sposób dowiesz się, który przewód jest dodatni.

Jeżeli miernik wskazuje dodatnią wartość napięcia, to znaczy, że przewód podłączony do czerwonego próbnika jest przewodem dodatnim. Właściwe określenie polaryzacji jest ważne, ponieważ podłączając zasilanie do obwodu w sposób odwrotny, możesz uszkodzić komponenty zainstalowane na płytce.

Kolejne kroki należy wykonać w przypadku przy-lutowywania drutów do przewodów zasilacza oraz w przypadku przyutowywania ich do przewodów złącza baterii  $9\text{ V}$ .

Utnij dwa kawałki drutu o średnicy  $0,64\text{ mm}$  — jeden czerwony, a drugi czarny. Każdy powinien mieć około  $5\text{ cm}$  długości. Zdejmij około  $0,5\text{ cm}$  izolacji z obu końców przewodów.

Przyłutuj druty o średnicy  $0,64\text{ mm}$  do przewodów zasilacza lub złącza baterii, korzystając z zaprezentowanej wcześniej techniki. Oczywiście czerwony drut należy przyłutować do dodatniego przewodu źródła prądu.

Jeżeli dysponujesz koszulką termokurczliwą i opalką, to możesz ostoić połączenie, korzystając ze wspomnianej wcześniej techniki. Wynik Twojej pracy powinien przypominać ten przedstawiony na rysunku 3.47. Przedłużone przewody powinny w dalszym ciągu mieć różną długość, dzięki czemu zmniejszone zostaje ryzyko przypadkowego zatarcia końcówek przewodów. Teraz możesz podłączyć końcówki drutów o średnicy 0,64 mm do swojej płytki prototypowej.



Rysunek 3.47. Kolorowe druty jednożyłowe, przyutowane do przewodów wychodzących z zasilacza, umożliwiają łatwe zasilenie płytki prototypowej

## Skracanie kabla zasilającego

Do czego jeszcze możesz zastosować nowe umiejętności? Mam pewien pomysł. Osoby posiadające laptopy innych firm niż Apple korzystają z zasilaczy, od których można odłączyć kable zasilające łączące zasilacze z gniazdkiem sieciowym (niektóre z nich wyposażone są również w odłączalny przewód niskiego napięcia zasilający laptop). Typowy przewód wyposażony we wtyk sieciowy przedstawiono na rysunku 3.48.

A co, jeżeli jesteś miłośnikiem firmy Apple? Może Twoja drukarka lub Twój skaner są wyposażone w odłączany kabel zasilający. Ćwiczenie to ma na celu skrócenie kabla tak, aby miał określona przez Ciebie długość i nie leżał zapętlony na podłodze. Jeżeli tak jak ja uważasz, że przewód zasilający Twojego laptopa jest zbyt długi i lubisz podróżować z jak najlżejszym bagażem, to efekt Twojej pracy przyda Ci się w praktyce.



Rysunek 3.48. Zasilacze laptopów produkowanych przez firmy inne niż Apple są wyposażone w odłączane kable zasilające

### Skracanie kabla w dwunastu krokach

Na rysunku 3.49 widzimy krok pierwszy polegający na przecięciu kabla zasilającego za pomocą szczypów. Oczywiście przecinanego kabel musi **być odłączony od gniazdka**.



Rysunek 3.49. Skracanie kabla (krok 1. z 12)

Na rysunku 3.50 przedstawiono fragmenty kabla, które będziemy ze sobą łączyć. Nie wyrzucaj środkowej, wyciętej części kabla. Może Ci się przydać w przyszłości.



Rysunek 3.50. Skracanie kabla (krok 2. z 12)

Dwa przewody wchodzące w skład kabla można rozdzielić za pomocą noża przeznaczonego do prac technicznych (patrz rysunek 3.51).



Rysunek 3.51. Skracanie kabla (krok 3. z 12)

Przewody wchodzące w skład kabla przedstawionego na rysunku 3.52 zostały przycięte tak, aby były różnej długości, ale pasowały do siebie. W ten sposób ponowne połączenie dwóch fragmentów kabla będzie zajmowało mniej miejsca, a dodatkowo ryzyko powstania zwarcia w wyniku przerwania połączenia będzie o wiele niższe.

Zauważ, że przewody są zawsze oznaczane nadrukiem albo charakterystycznym kształtem grzbietu. Upewnij się, że masz zamiar połączyć ze sobą odpowiednie przewody.

Zdejmij niewielką ilość izolacji z przewodów (wystarczy 3 mm). Jeżeli dysponujesz koszulkami



Rysunek 3.52. Skracanie kabla (krok 4. z 12)

termokurczliwymi, to wytnij dwa fragmenty mniejszej koszulki, które osłonią poszczególne przewody wchodzące w skład kabla, i jeden fragment większej koszulki, o długości około 5 cm, który osłoni całość połączenia. Zobacz rysunek 3.53.



Rysunek 3.53. Skracanie kabla (krok 5. z 12)

Niektóre koszulki są przeznaczone tylko do izolacji przewodów niskiego napięcia. Nie stosuj takich koszulek do izolacji tego kabla.

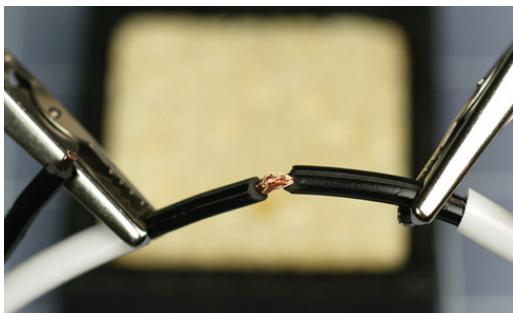
Teraz rzecz najtrudniejsza: zapanowanie nad swoją zawodną pamięcią. Musisz pamiętać, aby nasunać izolację na przewody, **zanim** wykonasz trwałe połączenie. Grube wtyczki na obu końcach uniemożliwiają wsunięcie jakiekolwiek izolacji później. Jeżeli cechujesz się podobnym brakiem cierpliwości jak ja, będziesz miał trudności z pamiętaniem o tej czynności za każdym razem. Zobacz rysunek 3.54.

Użyj statwu lutowniczego do prawidłowego ułożenia pierwszego połączenia. Ułóż przewody tak, aby ich końce pokrywały się ze sobą, a następnie ściśnij je lekko pomiędzy palem wskazującym a kciukiem. Chodzi o to, aby żaden drobny przewód linki nie wystawał ze złącza. Taki sterzący drucik może



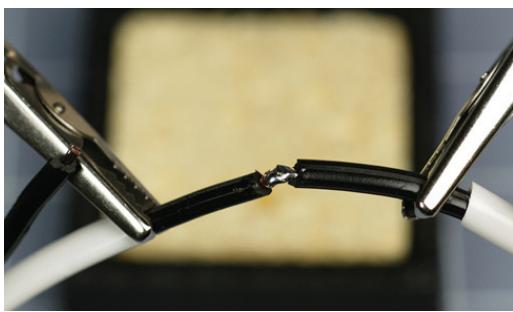
Rysunek 3.54. Skracanie kabla (krok 6. z 12)

przedziurawić izolację, kiedy ta jest jeszcze miękka i gorąca. Zobacz rysunek 3.55.



Rysunek 3.55. Skracanie kabla (krok 7. z 12)

Łączony przewód jest znacznie masywniejszy od drutu o średnicy 0,64 mm, na którym pracowałeś poprzednio, dlatego będzie pochłaniał więcej ciepła. Musisz dłużej zatrzymać na nim grot lutownicy. Upewnij się, że cyna spływa swobodnie do złącza. Po jego ostygnięciu odwróć przewód i sprawdź połączenie od spodu. Najprawdopodobniej znajdziesz tam pewną liczbę drucików miedzianych nieprzykrytych spokiem. Połączenie powinno przyjąć formę twardego, zaokrąglonego bąbla. Zobacz rysunek 3.56.



Rysunek 3.56. Skracanie kabla (krok 8. z 12)

W trakcie lutowania trzymaj izolację termokurczliwą jak najdalej od złącza. W ten sposób wydzielające się ciepło nie doprowadzi do przedwczesnego skurczenia izolacji, co uniemożliwiłoby nasunięcie jej na złącze.

Kiedy złącze ostygnie, nasuń na nie izolację i podgrzej ją opalarką (patrz rysunek 3.57). Uważaj, aby nie kierować strumienia gorącego powietrza na pozostałe fragmenty koszulek termokurczliwych.



Rysunek 3.57. Skracanie kabla (krok 9. z 12)

Na rysunku 3.58 pokazano skurzoną koszulkę zaściśniętą na przewodzie.



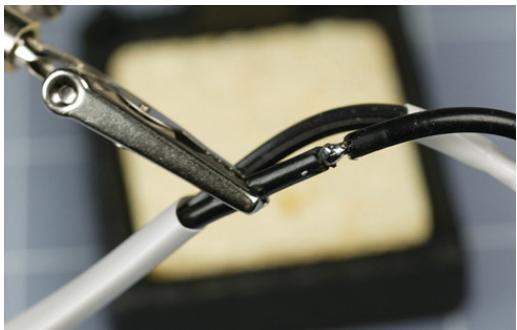
Rysunek 3.58. Skracanie kabla (krok 10. z 12)

Przygotuj się do zlutowania końcówek drugiego przewodu. Zobacz rysunek 3.59.



Rysunek 3.59. Skracanie kabla (krok 11. z 12)

Na rysunku 3.60 pokazano drugie połączenie. Po osłonięciu go drugim fragmentem koszulki termo-kurczliwej będziesz mógł nałożyć większą izolację na oba połączone przewody. Nie zapomnijesz nasunąć grubszej izolacji na początku, prawda?



Rysunek 3.60. Skracanie kabla (krok 12. z 12)

Na rysunku 3.61 pokazano kabel po wykonaniu wszystkich czynności.



Rysunek 3.61. Skrócony kabel

## Co dalej?

Jeżeli udało Ci się wykonać wszystkie przedstawione do tej pory zadania z lutowania, masz wystarczające umiejętności do złutowania swojego pierwszego układu elektronicznego. Najpierw chciałbym jednak, abyś przekonał się, jak bardzo małą tolerancję na gorąco mają komponenty. Nie chciałbym, abyś naprawiał się, lutując komponenty, a na końcu odkrył, że podczas pracy stopił tranzystor lub diodę LED. Wylutowywanie uszkodzonych komponentów jest o wiele mniej przyjemne od łączenia ich ze sobą.

## Eksperyment 13: Podgrzewanie diody

W eksperymencie numer 4 przekonałeś się, jak łatwo można zniszczyć diodę, przepuszczając przez nią zbyt duży prąd. Przepływający prąd wytworzył ciepło, które stopiło diodę.

Jeżeli ciepło wygenerowane przez prąd przepływający przez komponent może doprowadzić do jego uszkodzenia, to czy komponent może zostać uszkodzony przez ciepło emitowane przez lutownicę? Wydaje się to całkiem prawdopodobne, ale sprawdźmy to w praktyce.

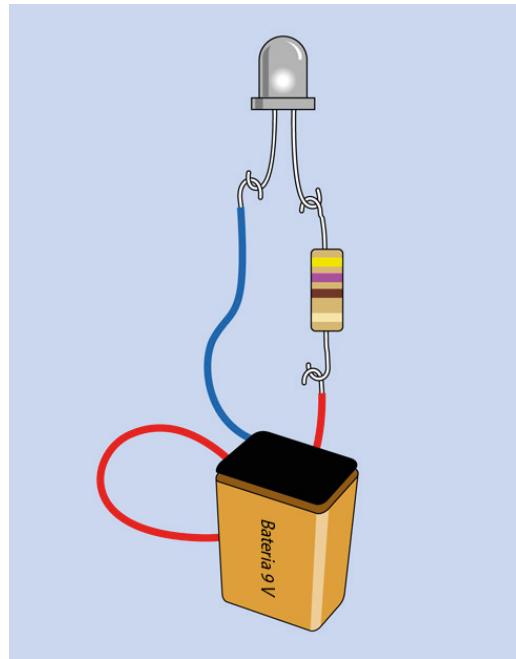
### Potrzebne będą:

- bateria 9 V wraz ze złączem lub zasilacz dostarczający prąd stały o napięciu 9 V,
- szczypce z zastrzonymi końcami lub caążki,
- lutownica o mocy 30 lub 40 W,
- lutownica o mocy 15 W,
- diody LED, liczba: 2,
- rezistor  $470 \Omega$ , liczba: 1,
- statyw lutowniczy ułatwiający pracę,
- zaciski krokodylki wykonane z czystej miedzi (jeden duży lub dwa małe).

Eksperyment ten ma na celu badanie wpływu ciepła na komponenty elektroniczne. W związku z tym musimy znać kierunki przepływu ciepła, a więc nie

będziemy korzystać z płytki prototypowej, ponieważ metalowe styki znajdujące się w jej wnętrzu pochłonęłyby trudną do określenia część ciepła. Nie chcę, abyś używał krokodylków przy podłączaniu diody do źródła zasilania, ponieważ one same absorbowią ciepło wytwarzane przez lutownicę.

Zamiast tego chciałbym, abyś użył szczypiec z ostrzonymi końcami do wygięcia końcówek diody w małe haczyki. To samo zrób z wyprowadzeniami rezystora  $470\ \Omega$ . Spójrz na rysunek 3.62. W ten sam sposób należy również wygiąć przewody łączące obwód z baterią 9 V. W celu uzyskania kształtu haka może zaistnieć konieczność usunięcia części izolacji z przewodów lub pokrycia ich końców niewielką ilością cyny.



Rysunek 3.62. Pomiar tolerancji cieplnej diody LED; zamiast z baterii 9 V możesz skorzystać z zasilacza sieciowego

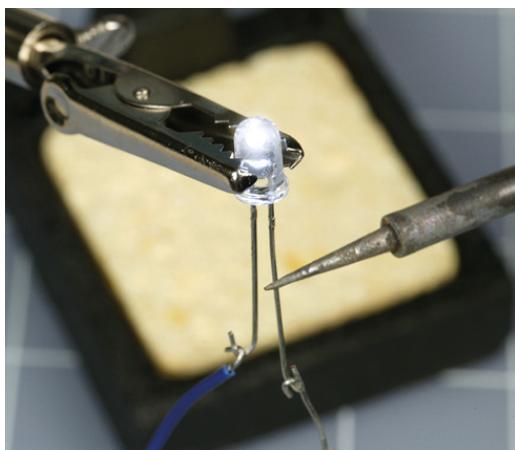
Rezystor może zwisać przyczepiony do jednej z końcówek diody, a pod nim może wisieć jeden z przewodów zasilających. Siła grawitacji powinna wystarczyć do zadziałania tego układu.

Umieść plastikową obudowę diody LED w zacisku statywu lutowniczego. Plastik nie jest zbyt dobrym

przewodnikiem ciepła, zatem statyw nie powinien zabrać zbyt dużo ciepła z naszego celu.

Podłącz obwód do prądu o napięciu 9 V. Dioda powinna rozświetlić się jasnym światłem. Użyłem białej diody wyłącznie w celu wykonania dobrej fotografii.

Do przeprowadzenia eksperymentu będziesz potrzebował lutownicy o mocy 15 W oraz drugiej lutownicy o większej mocy. Podłącz je do prądu na co najmniej pięć minut, aby mieć pewność, że są naprawdę rozgrzane. Weź teraz lutownicę o mniejszej mocy i dotknij jej końcem jednej z końcówek diody, mierząc jednocześnie upływający czas. Przygotowanie tego projektu pokazuje rysunek 3.63.



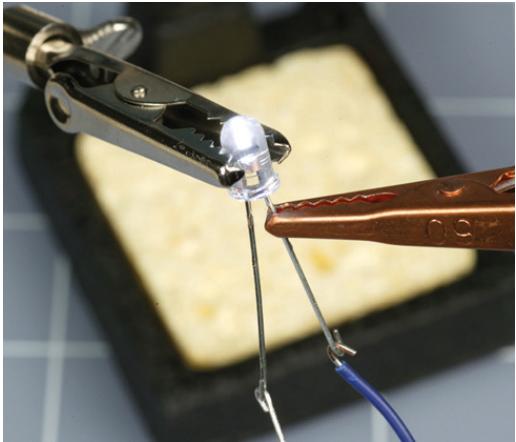
Rysunek 3.63. Podgrzewanie przy użyciu lutownicy 15-watowej

Mogę przyjąć, że utrzymasz ten kontakt przez całe trzy minuty bez spalenia diody. Właśnie dlatego do lutownia delikatnych elementów elektronicznych używasz lutownicy o mocy 15 W — jej moc nie zagraża komponentom.

Zaczekaj, aż dioda ostygnie, a następnie przyłoż w to samo miejsce grot mocniejszej lutownicy. Zasadając, że jest ona w pełni rozgrzana, Twoja dioda powinna zgasnąć już po 10 sekundach (trzeba jednak pamiętać, że niektóre diody wytrzymują wyższe temperatury niż inne). Ta reakcja wyjaśnia, dlaczego **nie używasz** lutownicy 30-watowej do lutownia delikatnych elementów elektronicznych.

Większa lutownica niekoniecznie musi osiągać większą temperaturę niż jej mniejszy odpowiednik. Ma ona jedynie większą zdolność do wydzielania ciepła. Innymi słowy, może z niej „wyplynać” więcej ciepła w szybszym tempie.

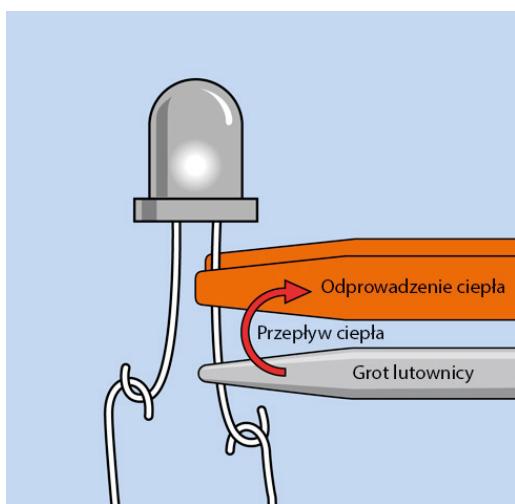
Zdobyliśmy wiedzę, niszcząc diodę LED. Zniszczenie diody było uzasadnione. Wyrzuć przepaloną diodę. W jej miejsce wstaw nową, z którą będziemy obchodzić się ostrożniej. Podłącz ją tak jak poprzednio, i dodatkowo przypnij do jej nóżki tuż pod obudową duży miedziany zacisk krokodylkowy. Pokazuje to rysunek 3.64. Dotknij nóżki diody lutownicą 30- lub 40-watową w miejscu **poniżej** zaciśniętego krokodylka. Teraz powinieneś utrzymać mocniejszą lutownicę w miejscu przez pełne dwie minuty bez uszkodzenia diody.



Rysunek 3.64. Miedziany zacisk pełniący funkcję dodatkowego odbiornika ciepła chroniącego diodę

## Dokąd odpływa ciepło?

Jeśli pod koniec eksperymentu dotkniesz krokodylka, przekonasz się, że jest gorący, podczas gdy temperatura diody jest relatywnie mniejsza. Wyobraź sobie ciepło przepływające z końcówki grota Twojej lutownicy do wyrowadzenia diody. Ciepło to napotyka po drodze zacisk (patrz rysunek 3.65), który stanowi coś w rodzaju pustego naczynia czekającego na napelnienie. Miedź stanowi o wiele mniejszą rezystancję dla ciepła w porównaniu z pozostałą częścią wyrowadzenia, stąd strumień gorąca



Rysunek 3.65. Miedziany zacisk chroni diodę przed uszkodzeniem

wpływa do zacisku, pozostawiając diodę w stanie nienaruszonym.

Zacisk krokodylkowy zadziałał jako **odprowadzenie ciepła**. Zaciski wykonane z miedzi są lepsze od niklowanych zacisków stalowych, ponieważ miedź jest lepszym przewodnikiem ciepła.

Ponieważ 15-watowa lutownica nie wyrządza krzywdy diodzie, mógłbyś przyjąć, że jest ona zupełnie bezpieczna i nie wymaga stosowania dodatkowych odprowadzeń ciepła. Czy to prawda?

Być może tak. Problem w tym, że nigdy do końca nie wiesz, czy dany półprzewodnik nie jest bardziej czuły na ciepło niż zwykła dioda LED.

Ze względu na duże niezadowolenie, jakie niesie ze sobą palenie części elektronicznych, sugeruję, abyś zachowywał zawsze dużą ostrożność i stosował odprowadzenia w następujących okolicznościach:

- Kiedy używasz 15-watowej lutownicy niezwykle blisko półprzewodnika dłużej niż 20 sekund.
- Kiedy używasz 30-watowej lutownicy w pobliżu rezystorów i kondensatorów dłużej niż 10 sekund. (Nigdy nie używaj jej w pobliżu półprzewodników).

- Kiedy używasz 30-watowej lutownicy w pobliżu czegokolwiek, co może ulec stopieniu, przez dłużej niż 20 sekund. Do elementów łatwo topliwych zaliczyć można izolację na przewodach, łączniki plastikowe, a także plastikowe części wewnętrz przekaźników.

## Zasady odprowadzania ciepła

- Najlepszy efekt dają duże zaciski krokodylki wykonane z miedzi, ale nie da się ich zastosować w wąskich rogach. Najlepiej, żebyś posiadał również mniejsze miedziane zaciski.
- Przyczep zacisk jak najbliżej chronionego komponentu i jak najdalej od wykonywanego połączenia. (Twoim celem jest ochrona komponentu, a nie odprowadzenie ciepła ze złącza, które musi zostać rozgrzane).
- Upewnij się, że istnieje połączenie metal-metal pomiędzy zaciskiem krokodylkim i przewodem, zapewniające dobry przepływ ciepła.

Pamiętając o tych zasadach, możesz przystąpić do łączenia komponentów metodą punktową.

## Eksperyment 14: Pulsujące światło nadające się na ozdobę

Dotąd zachęcałem Cię do łączenia ze sobą komponentów bez posiadania wiedzy teoretycznej oraz bez planowania wykonywanych zadań. Na tym zwykle polega nauka przez odkrywanie. Jednak czasami plan jest niezbędny. I będzie on niezbędny w tym eksperymencie. Na początek opiszę wymagania projektu, a następnie przeprowadzę Cię krok po kroku przez proces jego budowy.

### Potrzebne będą:

- bateria 9 V wraz ze złączem lub zasilacz dostarczający prąd stały o napięciu 9 V,
- drut montażowy, szczypce do cięcia drutu, szczypce do zdejmowania izolacji, multimetr,

- lutownica 15-watowa,
- cienka cyna (0,5 mm lub podobna),
- płytka perforowana (nie musi posiadać niesionej miedzi),
- statyw lutowniczy,
- rezystory: 470  $\Omega$  (liczba: 2), 100  $k\Omega$  (liczba: 1), 4,7  $k\Omega$  (liczba: 2), 470  $k\Omega$  (liczba: 2),
- kondensatory: 3,3  $\mu F$  (liczba: 2), 220  $\mu F$  (liczba: 1),
- tranzystory 2N2222, liczba: 3,
- standardowa dioda LED.

## Weryfikacja fluktuacji

Spójrz na rysunek 2.113 i przypomnij sobie widocznego na nim obwodu. Teraz będziesz pracował nad jego znacznie mniejszą wersją.

Wyobraź sobie, że złącza komponentów są połączone ze sobą gumkami, dzięki którym komponenty przesuwane po stole nie będą odczepiały się od siebie. Obwód jest najmniejszy, gdy gumki są jak najmniej rozciągnięte. Wystarczy połączyć komponenty za pomocą drutów i zamontować je na płycie perforowanej.

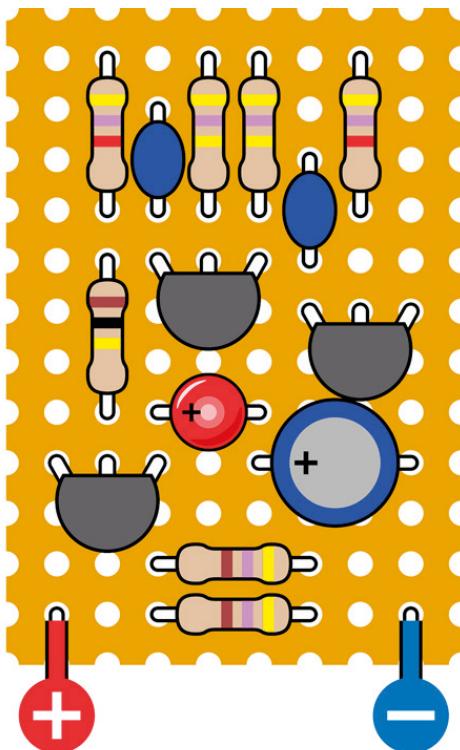
Jedynym ograniczeniem jest to, że pozbawione izolacji druty łączące komponenty na spodniej stronie płytki perforowanej nie mogą się krzyżować. Korzystając z takiej koncepcji, mógłbyś stworzyć schemat obwodu, który mógłbyś następnie wysłać do firmy zajmującej się wytrawianiem płyt obwodów.

Oczywiście nowoczesne obwody drukowane są przynajmniej dwustronne, a wiele z nich składa się z kilku warstw, dzięki czemu wiele niepołączonych ze sobą przewodników może się krzyżować. Prace z płytami najlepiej jest zacząć od najbliższego rozwiązania polegającego na umieszczeniu komponentów po jednej stronie płytki, a łączących je ścieżek po drugiej. Komponenty znajdujące się na górnej stronie płytki nie mogą mostkować ścieżek znajdujących się po drugiej stronie płytki, ponieważ są one rozzielone izolatorem — materiałem, z którego

wykonano płytkę. Jednak ścieżki (przewodniki łączące komponenty) nie mogą się krzyżować.

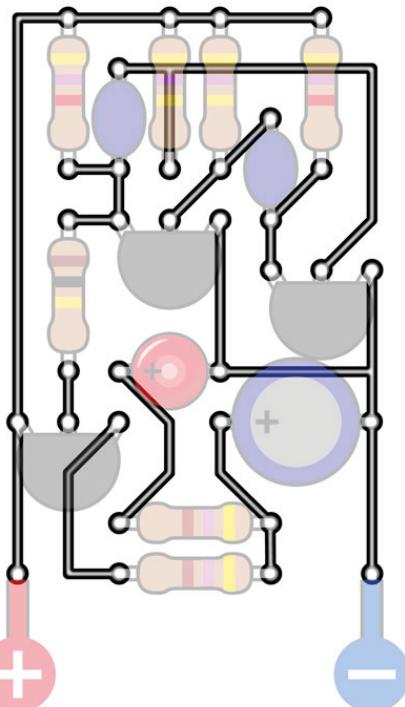
Najmniejszą wersję obwodu, jaką udało mi się uzyskać, przedstawiłem na rysunku 3.66. Obwód został wykonany na bazie płytki perforowanej o wymiarach  $2,2 \times 3,3$  cm. Jeżeli wymyślisz jeszcze mniejszą wersję tego obwodu, to podziel się ze mną swoim projektem. Aby zmniejszyć projekt, możesz:

- zamiast rezystorów o mocy znamionowej 0,25 W zastosować rezystory o mocy znamionowej 0,125 W,
- zamontować rezystory w płaszczyźnie pionowej,
- przepleść dwa złącza rezystorów przez jedną dziurę (jeżeli rozmiar otworów Twojej płytki na to pozwala).



Rysunek 3.66. Obwód oscylatora zredukowany do postaci zajmującej jak najmniej miejsca

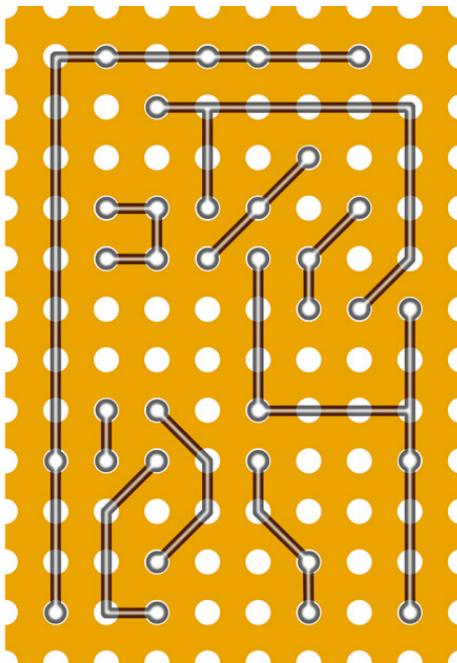
Gdzie są połączenia pomiędzy komponentami? Wykonano je po drugiej stronie płytki. Na rysunku 3.67 komponenty są półprzezroczyste, a płytka całkowicie przezroczysta. Dzięki temu na rysunku widać przewodniki łączące komponenty.



Rysunek 3.67. Połączenia pomiędzy komponentami wykonane po drugiej stronie płytki (płytki na tym zdjęciu jest przezroczysta)

Jeżeli porównasz ten rysunek ze schematem przedstawionym na rysunku 2.113, to zobaczysz, że połączenia zostały wykonane w sposób identyczny, o ile nie popełniłem żadnego błędu. (Mam nadzieję, że nie popełniłem błędu. Nie chcę tworzyć jeszcze raz wszystkich rysункów).

Na rysunku 3.68 pokazano płytkę, na której zaznaczono ścieżki, ale pominięto komponenty. Zobacz, jak ścieżki łączą otwory płytki oddalone od siebie o 2,5 mm.



Rysunek 3.68. Płytki i ścieżki łączące komponenty. Każdy okrąg symbolizuje połączenie komponentu, którego złącze przepłacono przez otwór płytki

Na rysunku 3.69 pokazano płytę widzaną od spodu (strona lewa zamieniona została z prawą). Dzięki temu rysunkowi łatwiej będzie Ci łączyć ze sobą komponenty. Zamierzasz wykonać ten obwód, prawda?

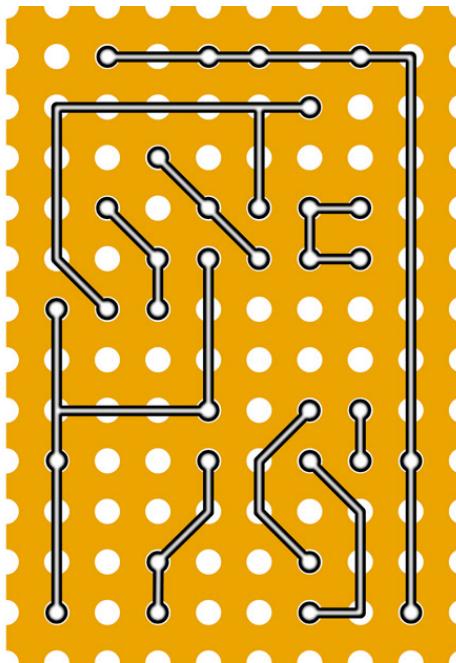
## Zegnij druty, dodaj cynę

Poznałeś już plan pracy nad tym projektem. Jak masz wykonać wszystkie te połączenia?

To dość proste. Rezystory, kondensatory i tranzystory posiadają złącza o długości około 15 mm. W związku z tym złącza komponentów po wsadzeniu w otwory płytki możesz zagiąć tak, aby dotykały do siebie. Stykające się przewodniki należy następnie pokryć spoiwem lutowniczym. Potem wystarczy odciąć zbędne druty, dodać złącze baterii i projekt będzie gotowy.

Pamiętaj o trzech ważnych rzeczach:

- Stabilne utrzymanie płytki wymaga uwagi i cierpliwości. Będziesz musiał korzystać ze statywów lutowniczych.



Rysunek 3.69. Płytki widziane od spodu (w stosunku do poprzednich schematów lewa strona została zamieniona z prawą)

- Komponenty i połączenia lutownicze, które będziesz wykonywać, znajdują się bardzo blisko siebie. Chroń komponenty za pomocą miedzianych zacisków krokodylków.
- Odwracanie płytka na drugą stronę może być kłopotliwe — łatwo jest pomylić się i połączyć ze sobą niewłaściwe druty. To chyba najtrudniejsza część pracy.

Otwory montażowe niektórych płyt prototypowych są otoczone małymi miedzianymi okręgami. Czy tego typu płytki nadają się do pracy przy tym projekcie? Miedziane okręgi ułatwiają unieruchomienie komponentów, ale mogą również przyczynić się do powstawania zwarć pomiędzy złączami sąsiadującymi ze sobą komponentów. Myślę, że płytka pozbawiona miedzianych elementów nadaje się lepiej do pracy nad małymi projektami. Przykład takiej płytki pokazano na rysunku 3.22. Niektóre płytki perforowane mają większe otwory od innych, ale rozmiar otworów nie ma znaczenia w przypadku tego projektu.

## Krok po kroku

Oto szczegółowa procedura wykonania tego układu:

Wytnij mały kawałek z dużej płytki perforowanej pozbawionej ścieżek miedzianych. Wycięta płytka powinna mieć rozmiar około  $2,2 \times 3,3$  cm (nie potrzebujesz linijki, wystarczy, że wytniesz płytę  $9 \times 13$  otworów). Do tego celu możesz użyć miniaturowej piły lub jeśli będziesz dostatecznie ostrożny, złamać ją wzdłuż linii otworów. Nie polecam korzystania z dobrej płyty do drewna, ponieważ płytki perforowane zawierają włókno szklane, które może stąpić piłę.

Zbierz wszystkie komponenty i delikatnie wstaw 3 lub 4 z nich w otwory. Zliczaj otwory, aby upewnić się, że dana część trafiła w odpowiednie miejsce. Odwróć płytę i pozaginaj przewody komponentów, mocując je w ten sposób w płytce i tworząc połączenia zgodnie z rysunkiem 3.69. Jeżeli któreś z wyprowadzeń jest zbyt krótkie, będziesz musiał uzupełnić je dodatkowym kawałkiem drutu o średnicy 0,64 mm. Ponieważ połączenia wykonujesz na kawałku izolatora, możesz całkowicie zdjąć z niego izolację.

Przytnij wyprowadzenia do odpowiedniej długości, używając szczypiec z ostrzem.

Wykonaj połączenia lutowane przy użyciu lutownicy.

Teraz coś ważnego! Sprawdź każde połączenie przy użyciu szkła powiększającego i przetestuj je szczypcami o szpiczastych końcach. Jeżeli w złączeniu jest zbyt mało cyny, aby utworzyć solidne połączenie, podgrzej je jeszcze raz i uzupełnij materiał. Jeżeli cyna utworzyła połączenie, którego nie powinno być, wytnij przerwę nożem, separując na nowo obie części układu.

Ja wkładam przeważnie trzy lub cztery komponenty, przycinam wstępnie wyprowadzenia, lutuję połączenia, przycinam wyprowadzenia do ostatecznej długości, a następnie robię krótką przerwę, aby sprawdzić jakość połączeń i ich rozmieszczenie. Łącząc zbyt wiele komponentów jeden po drugim, zmniejszam szansę zauważenia złego połączenia,

a wymontowanie komponentu, kiedy wokół są już inne części i przewody, staje się problematyczne.

## UWAGA: Fruwające przewody

Szczęki szczypiec tnących przewody wytwarzają sporą siłę, której wartość dochodzi do pewnej granicy, a następnie gwałtownie spada, gdy drut zostanie ostatecznie przecięty. Ta siła może zostać przełożona w gwałtowny ruch fragmentu przewodu. Miękkie przewody nie stanowią ryzyka, ale twardsze mogą poszybować z dużą prędkością w zupełnie nieprzewidywalnym kierunku, trafiając Twoje oko. Szczególnie niebezpieczne pod tym względem są wyprowadzenia tranzystorów i dioda LED.

Myślę, że dobrym pomysłem podczas przycinania przewodów jest założenie okularów ochronnych. Jeżeli nosisz okulary na co dzień, to wystarczy, że nałożysz je do pracy (jeśli masz już okulary, nie musisz kupować okularów ochronnych).

## Zakończenie prac

Zawsze używam intensywnego oświetlenia. To nie luksus, ale konieczność. Jeżeli nie masz lampki na biurku, kup jakąś tanią.

Ja używam lampy stołowej wyposażonej w diodę LED emitującą światło, którego charakterystyka przypomina charakterystykę światła słonecznego, ponieważ ułatwia mi ona odczytywanie kolorów kodów paskowych rezistorów. Zwracam uwagę, że lampa fluorescencyjna tego typu emisuje całkiem sporo światła ultrafioletowego, które szkodzi soczewkom Twoich oczu. Unikaj patrzenia bezpośrednio w to światło z bliskiej odległości.

Niezależnie od tego, jak dobrze widzisz z bliska, musisz dokładnie sprawdzić każde połączenie, używając do tego celu szkła powiększającego. Będziesz zdziwiony, jak niedoskonałe mogą być niektóre z Twoich połączeń. Przytrzymaj szkło powiększające blisko oka, następnie weź do ręki przedmiot, który chcesz analizować, i przybliżaj je aż do momentu, kiedy uzyskasz ostrość.

W końcu powinieneś dojść do działającego obwodu. Masz zatem małutki układ, który pulsuje podobnie do bicia serca. Chyba że się nie udało. Jeżeli masz problem z uruchomieniem, prześledź każde połączenie i porównaj je ze schematem. Jeśli nie znalazłeś błędu, podłącz zasilanie, podepnij czarną końcówkę miernika do ujemnej części układu, a czerwoną końcówką sprawdź obecność napięcia w poszczególnych punktach układu. Każda część tego obwodu powinna wykazywać przynajmniej minimalne napięcie podczas swojej pracy. Jeśli w którymś miejscu nie ma napięcia, być może przyczyną jest złe połączenie lutowane lub jego całkowity brak.

Co, jeżeli Twój obwód działa poprawnie? Może czas przerwać przygodę z elektroniką i zostać na chwilę krawcem. Możesz pomyśleć nad przyszczkiem projektu do ubrania.

W pierwszej kolejności należy rozwiązać problem zasilania. Ze względu na zastosowane komponenty potrzebujemy 9 woltów. Jak przekształcić ten 9-woltowy obwód w kawałek biżuterii, skoro 9-woltowa bateria jest całkiem spora?

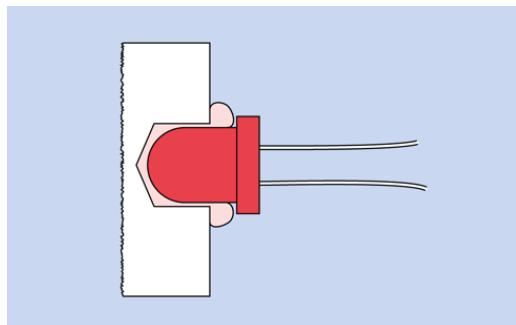
Potrafię wyobrazić sobie trzy odpowiedzi:

- Możesz umieścić baterię w kieszeni, a migającą diodę na jej zewnętrznej stronie, z małymi przewodami przechodzącymi przez materiał.
- Móglbyś zamontować baterię pod czapką z daszkiem, a diodę wyprowadzić na zewnątrz.
- Możesz złożyć razem trzy 3-woltowe baterie o kształcie guzika, zaciskając je w jakimś plastikowym uchwycie, jednak nie wiem, ile czasu będą one w stanie zasilać projekt.

Tranzystory 2N2222 zastosowane w tym projekcie nie są idealne, ponieważ pobierają więcej prądu od tranzystorów polowych (typu MOSFET). Jednak pisząc tę książkę, zdecydowałem się ograniczyć zastosowane tranzystory do jednej rodziny, a tranzystory NPN są podstawowymi tranzystorami.

Większość diod LED z przezroczystymi soczewkami wytwarza skupiony słup światła. Diody tego typu

nie są właściwe do zastosowania w tym projekcie. Światło rozmyte stworzy tu o wiele lepszy efekt od skupionego. Jednym ze sposobów na uzyskanie rozmytego światła jest użycie przezroczystego kawałka szkła akrylowego (czyli tzw. pleksiglasu) o grubości minimum 0,6 mm. Patrz rysunek 3.70. Użyj papieru ściernego, aby zmatować frontową część szybki. Idealnie byłoby użyć szlifierki oscylacyjnej, która nie doprowadzi do powstania jednolitego wzoru na zmatowanej powierzchni. Szlifowanie sprawi, że pleksiglas straci przezroczystość i światło będzie jedynie prześwitywać.



**Rysunek 3.70.** Przekrój poprzeczny pokazuje kawałek przezroczystego szkła akrylowego, w którym wywiercono zagłębienie. Ponieważ wiercenie tworzy otwór o kształcie stożkowym (otwór wiercono od tyłu do przodu), a kontury diody są zaokrąglone, powstaje pusta przestrzeń, w której zmieści się odrobiną bezbarwnego silikonu lub kleju (przed wstawieniem diody)

Wywierć otwór minimalnie większy od samej diody z drugiej strony szybki. Nie przewiercaj otworu na wylot. Usuń ze środka wszelkie zanieczyszczenia, wdmuchując do środka odrobinę sprężonego powietrza lub płukając, jeśli nie posiadasz kompresora. Po całkowitym wyschnięciu zagłębienia weź odrobinę przezroczystego silikonu lub szybkoschnącego kleju bezbarwnego i umieść kroplę wewnątrz zagłębienia. Następnie wstaw do środka diodę, naciskając ją lekko tak, aby zmusić klej lub silikon do rozproszenia się wokół niej i stworzenia trwałego mocowania.

Spróbuj oświetlić diodę; jeśli zajdzie taka potrzeba, możesz jeszcze bardziej zmatować szkło. Zdecyduj, czy chcesz zamontować swój układ z tyłu szkiełka, czy też doprowadzisz przewody z innego miejsca.

Ponieważ dioda będzie migać mniej więcej z częstotliwością bicia ludzkiego serca w stanie spoczynku, możesz uzyskać wrażenie pomiaru własnego pulsu, zwłaszcza jeśli zamontujesz diodę na środku swojej klatki piersiowej lub na opasce nałożonej na nadgarstek. Możesz udawać przed innymi, że jesteś w tak niezwykle dobrej formie, że Twój puls nie zmienia się, nawet jeśli wykonujesz ekstremalne ćwiczenia.

Do efektownego opakowania całości możesz posłużyć się dowolną techniką, poczynając od zalania całości klejem epoksydowym po wyszukanie gustownej szkatułki. Rozwiążanie tego problemu pozostawiam Tobie, ponieważ ta książka dotyczy elektroniki, a nie sztuki zdobniczej. Jednak chciałbym poruszyć jeden temat związany z pracami zdobniczymi i rzemiosłem.

## TEORIA: Niespójność jednostek

Do opisywania wymiarów wykorzystywany jest w tej książce głównie system metryczny, ale czasami pojawiają się w tekście takżecale. Nie wynika to z braku spójności po mojej stronie, lecz odzwierciedla stan całego przemysłu elektronicznego, w którym milimetry icale mieszają się ze sobą w codziennej praktyce, często nawet na stronach tej samej karty katalogowej. Standardowe diody LED mają średnicę 5 mm, ale standardowa odległość pomiędzy złączami czipów przeznaczonych do montażu przeplatanejgo to 0,1 cala (2,54 mm).

Jeszcze bardziej komplikuje wszystko fakt, że nawet w samych Stanach Zjednoczonych można natknąć się na dwa różne systemy liczenia części cala. Na przykład rozmiary wiertel są podawane w wielokrotnościach 1/64 cala, podczas gdy grubość arkuszy blachy może być wyrażona dziesiątkiem, na przykład 0,06 cala (czyli w przybliżeniu 1/16 cala).

Dlaczego Stany Zjednoczone nie akceptują systemu metrycznego, skoro wydaje się on być bardziej logiczny?

Racionalność systemu metrycznego jest również sprawą dyskusyjną. Kiedy w roku 1875 system

metryczny został formalnie wprowadzony w życie, metr był zdefiniowany jako jedna dziesięciomilionowa odległość pomiędzy biegunem północnym a równikiem, mierzonej wzdłuż południka przebiegającego przez Paryż (zaiste, typowa francuska zarożumiałość). Od tego czasu jednostka ta została trzykrotnie przedefiniowana w celu osiągnięcia większej dokładności wymaganej przez postępującą do przodu naukę.

Co do użyteczności systemu dziesiętnego, przesuwanie miejsca dziesiętnego jest oczywiście zdecydowanie prostsze w porównaniu do obliczeń na sześćdziesiątych czwartych częściach cala, ale jedynym powodem używania przez nas dziesiątek jest tak naprawdę liczba palców u rąk. Bardziej wygodny mógłby być system o podstawie 12, w którym liczby dzieliły się bez reszty przez 2 i 3.

To wszystko tylko rozważania teoretyczne. Ponieważ nie ma ucieczki od kapryśnych aspektów pomiaru odległości, stworzyłem cztery tabele, które powinny pomóc w przechodzeniu z jednego systemu na drugi. Z nich dowiesz się, że otwór pod diodę 5 mm można wywiercić wiertłem 3/16 cala. (Faktyczny otwór będzie trochę mniejszy niż 5 mm, ale dzięki temu dioda będzie się lepiej trzymać).

Rysunek 3.71 pomoże w konwersji pomiędzy wymiarami wyrażonymi w wielokrotnościach 1/64 cala i 1/100 cala. Szara kolumna jest podzielona na wielokrotności 1/64 cala, niebieska kolumna jest podzielona na wielokrotności 1/32 cala, kolumna zielona jest podzielona na wielokrotności 1/16 cala, a kolumna pomarańczowa na wielokrotności 1/8 cala. Jeżeli jakaś odległość może być dokładnie określona w większej jednostce, to staramy się z niej korzystać — zamiast podawać wymiar 8/64 cala, podajemy go jako 1/8 cala. Jest to problematyczne podczas porównywania wymiarów — np. czy 11/32 cala jest większe od 5/8 cala? Sprawdź to na wspomnianym rysunku.

The diagram illustrates a ruler scale from 0 to 1 divided into 16 equal parts. The scale is color-coded into three segments: orange (0-1/4), green (1/4-1/2), and blue (1/2-1). Red numbers at the top indicate the count of segments: 8 for the first segment, 7 for the second, and 3/4 for the third. Green numbers below the segments indicate the count of smaller divisions: 16 for the first segment, 15 for the second, and 13 for the third. Blue numbers along the right edge represent the total length of each segment as a fraction of the whole: 63, 61, 59, 57, 55, 53, 51, 49, 47, 45, 43, 41, 39, 37, 35, 33, 31, 29, 27, 25, 23, 21, 19, 17, 15, 13, 11, 9, 7, 5, 3, 1, and 1. A pink vertical bar on the right indicates the total length of the ruler as 10.

Ułamkowa część cał a w formie ulamka dziesiętnego	0,0625	0,0938	0,0313	1	1	Wielokrotności 1/64 dla	8
0,125	0,1875	0,2188	0,1563	9	3		1
0,25	0,3125	0,3438	0,2813	17	5		3
0,375	0,4375	0,4688	0,4063	25	13		5
0,5	0,5625	0,5938	0,6563	33	17		1/2
0,625	0,6875	0,7188	0,7813	41	21		3
0,75	0,8125	0,8438	0,9063	49	25	13	3/4
0,875	0,9375	0,9688		51	27	15	7
				53	29		
				55	31		
				57	63		
				59	32	16	
				61			
				63			

**Rysunek 3.71.** Konwersja pomiędzy setnymi częściami cala a wielokrotnościami 1/64 cala

W wielu notach katalogowych wymiary wyrażane są w dziesiętnych częściach cala, więc na rysunku 3.72 przedstawiono kolejną tabelę pozwalającą na przeliczanie dziesiętnych części cala na ułamki będące wielokrotnościami  $1/64$  cala. Gdy natkniesz się na wymiar  $0,375$  cala, to warto, abyś wiedział, że jest to to samo co  $3/8$  cala.

W wielu notach katalogowych wymiary podawane są w milimetrach i calach, ale czasami podawane są tylko w milimetrach. Jeżeli chcesz wyrazić je w calach lub jeżeli zastanawiasz się, czy dany komponent jest kompatybilny z płytą, której otwory montażowe są oddalone od siebie o 1/10 cala, to warto przypomnieć sobie wtedy, że 1/10 cala to 2,54 mm.

W przypadku małych komponentów można przyjąć, że w otwory takiej płytki wejdą komponenty, których złącza są oddalone o odległość równą wielokrotności 2,5 mm, ale gdy złącza są oddalone od siebie o 25 mm, to instalacja ich w otworach oddalonych od siebie o 25,4 mm (1 cal) lub więcej może okazać się problematyczna.

Rysunek 3.73 ułatwia konwersję pomiędzy milimetrymi, dziesiętnymi ułamkami cala, a także wielokrotnościami 1/64 cala.

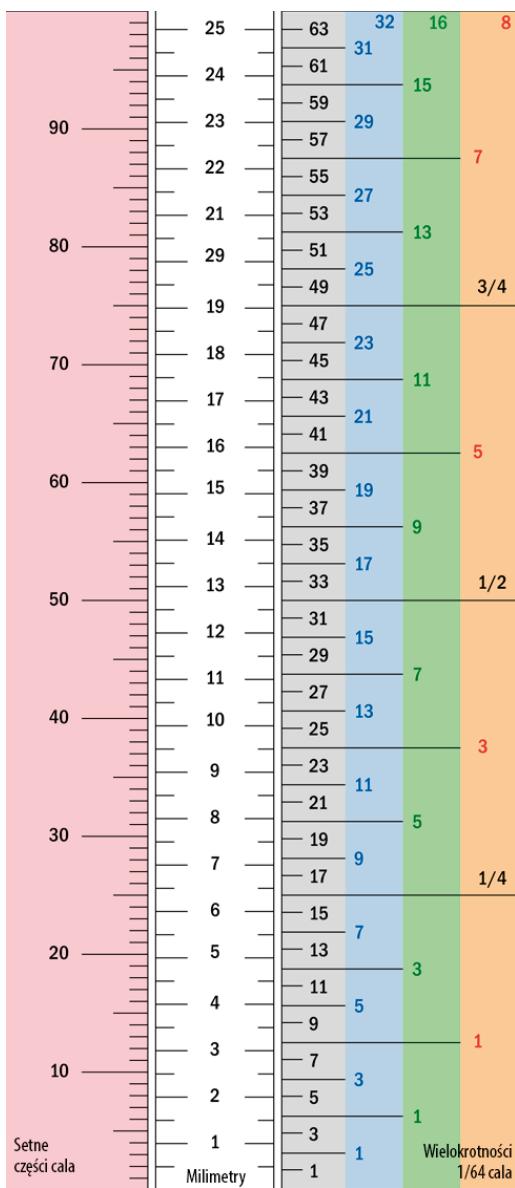
Na rysunku 3.74 przedstawiono powiększenie rysunku 3.73 — pokazano dziesiętne części milimetra i tysięczne części cala.

W ciągu ostatnich czterech lat podjęto pewne kroki mające na celu przyjęcie systemu metrycznego w Stanach Zjednoczonych, ale zanim USA przyjmą system metryczny, minie jeszcze wiele dziesięcioleci. Tymczasem każda osoba posługująca się częściami lub narzędziami wyprodukowanymi lub sprzedawanymi w USA powinna umieć postępować się oboma systemami. Nie można od tego uciec.

## Eksperyment 15: Alarm antywłamaniowy — część I

Czas rozpocząć pracę nad eksperymentem, w którym skorzystasz z posiadanej wiedzy i wykonasz proste, praktyczne urządzenie. Być może nie czujesz potrzeby posiadania alarmu antywłamaniowego, ale praca nad alarmem będzie wspaniałym wprowadzeniem do świata obwodów wykonujących jakieś zadania w otaczającym nas świecie.

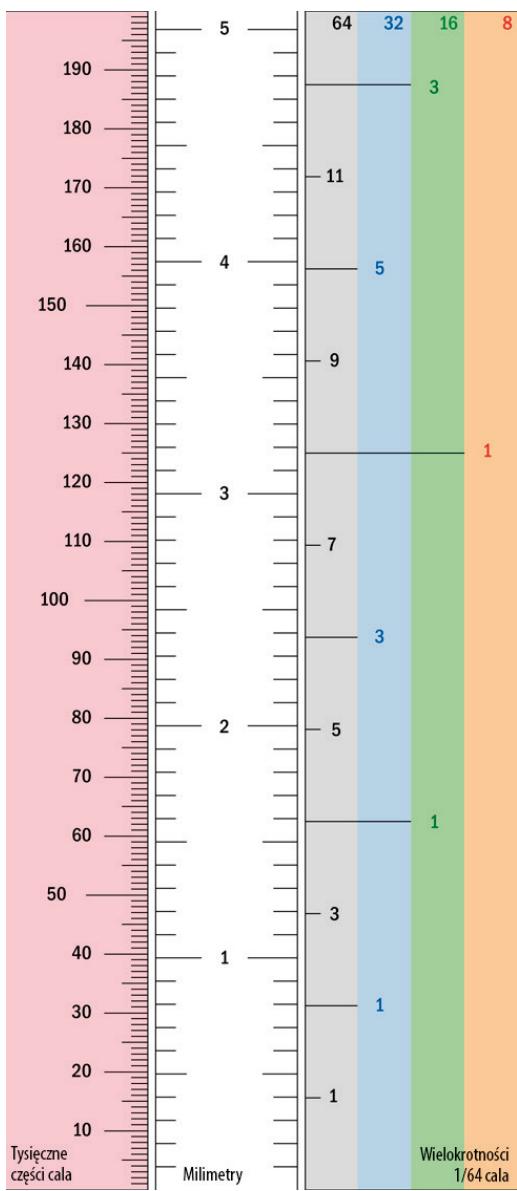
Powiniensem Cię ostrzec, że projektowanie obwodu od podstaw wiąże się z koniecznością rozwiązywania wielu niespodziewanych problemów. Nie ma sensu udawać, że jest inaczej. W związku z tym w opisanej procedurze będziemy kilkakrotnie cofać się i wnosić poprawki, które mają na celu uzyskanie działającego prawidłowo urządzenia.



Rysunek 3.73. Zestawienie ułatwiające konwersję pomiędzy wymiarami wyrażonymi w calach i w systemie metrycznym

### Potrzebne będą:

- bateria 9 V z klipsem lub zasilacz generujący prąd stały o napięciu 9 V (sposób zasilania projektu możesz określić samodzielnie),
- płytka prototypowa, przewody połączeniowe, szczypce do cięcia drutu, przyrząd do zdejmowania izolacji i miernik,



**Rysunek 3.74.** Zestawienie ułatwiające konwersję pomiędzy małymi wymiarami wyrażonymi w calach i w systemie metrycznym

- dioda LED, liczba: 1,
- tranzystor 2N2222, liczba: 1,
- przekaźnik DPDT 9VDC, liczba: 1,
- dioda 1N4001, liczba: 1,

- rezystory:  $470\ \Omega$  (liczba: 1),  $1\ k\Omega$  (liczba: 1),  $10\ k\Omega$  (liczba: 1).

## Lista oczekiwana

Eksperyment ten jest dość skomplikowany — wymaga stworzenia planu działania, który sprowadza się do konieczności opracowania tzw. listy życzeń. W międzyczasie postaram się przedstawić Ci, jak każde z zadań może zostać wykonane za pomocą komponentów opisanych we wcześniejszych eksperymentach.

Czego wymaga alarm wykrywający intruza?

- Układ wyzwalający alarm.** Alarm musi wykryć intruza. Skomplikowane systemy korzystające z laserów i ultradźwięków wydają się dość ciekawymi rozwiązaniami, ale jednocześnie są one dość trudne do zaimplementowania. To nasz pierwszy alarm, a więc będziemy korzystać tylko z powszechnie dostępnych magnetycznych czujników przeznaczonych do instalacji na oknach i drzwiach.
- Dźwięk.** Alarm powinien generować charakterystyczny pulsujący dźwięk przyciągający uwagę.
- Odporność na ingerencję niepowołanych osób.** Nikt nie powinien być w stanie wyłączyć alarmu, przecinając przewód. Tak naprawdę przecięcie przewodu powinno powodować uruchomienie syreny.
- Szeregowe łączenie czujników.** Aby system był odporny na próbę odłączania któregoś z czujników, czujniki powinny być przetłocznikami normalnie zamkniętymi. Ponadto czujniki powinny być połączone szeregowo — wtedy mógłby przez nie przepływać mały prąd, którego przepływ byłby przerywany przez otwarcie jednego z przełączników lub przecięcie któregoś z przewodów, co powodowałoby uruchomienie syreny. Wydaje mi się, że taka koncepcja jest stosowana w większości alarmów przewodowych.

- 5. Włączanie poprzez przerwanie obwodu.** Przerwanie obwodu przez jeden z czujników połączonych szeregowo powinno włączać alarm. Być może uda się to zrobić za pomocą dwupozycyjnego przekaźnika. Prąd płynący przez cewkę przekaźnika sprawia, że styki przekaźnika nie zwierają obwodu uruchamiającego syrenę, ale przekaźnik utrzymujący otwarty obwód pobierałby prąd o dużym natężeniu, a chcę, aby alarm w trybie gotowości pobierał jak najmniej prądu (dzięki temu mógłby być zasilany za pomocą baterii). Systemy alarmowe nigdy nie mogą polegać tylko i wyłącznie na prądzie sieciowym.
- 6. Może trzeba zastosować tranzystor?** Tranzystor mógłby aktywować syrenę alarmową po przerwaniu obwodu czujników. Do bazy tranzystora mogłyby być przyłożone względnie niskie napięcie aż do momentu przerwania obwodu czujników, co powodowałoby włączenie tranzystora.
- 7. Uzbrajanie alarmu.** Potrzebuję małego źródła światła włączającego się, gdy wszystkie drzwi i okna są zamknięte. Zapalenie się tego światła będzie informowało mnie o tym, że mogę skorzystać z alarmu. W celu uzbrojenia alarmu chciałbym wcisnąć przycisk, po wcisnięciu którego rozpoczęcie się odliczanie 60 sekund (tyle czasu wystarczy mi, aby opuścić budynek). Po upłygnięciu minuty alarm zostanie uzbrojony.
- 8. Podtrzymanie akcji alarmowej.** Nie chcę, aby aktywowaną syrenę alarmu dało się prosto wyłączyć. Syrena powinna generować dźwięk nawet po powtórnym zamknięciu okna. Być może zastosuję w tym celu tranzystor aktywujący przekaźnik, który będzie samodzielnie utrzymywał pracę syreny, a może uda mi się zaimplementować tę funkcję za pomocą samego tranzystora?
- 9. Opóźnienie aktywacji syreny.** Nie chcę, żeby alarm hałasował od razu, gdy wejdę do

chronionego pomieszczenia. Chcę, aby alarm odczekał minutę, dając mi czas na dojście do niego i dokonanie jego dezaktywacji. Syrena powinna być uruchomiona dopiero wtedy, gdy nie uda mi się go wyłączyć w ciągu określonego czasu.

- 10. Dezaktywacja za pomocą kodu.** Dobrym sposobem na wyłączenie alarmu jest zastosowanie tajnego kodu wprowadzanego za pomocą klawiatury.

## Implementacja listy życzeń

Sporządzona przeze mnie lista brzmi dość ambitnie, zwłaszcza że do tej pory zbudowałeś jedynie prosty oscylator składający się z trzech tranzystorów. Tak naprawdę większość funkcji jest łatwa do zaimplementowania. Implementację trudniejszych funkcji wykonam w dalszej części książki, gdy będziesz już dysponował większą wiedzą. Na koniec zbudujemy obwód, w którym zaimplementowane zostaną wszystkie funkcje wymienione na liście, a wszystkie komponenty zmiesiącą się na jednej płytce prototypowej (wyjątek stanowi dodatkowy obwód generatora hałasu).

## Przełączniki magnetyczne

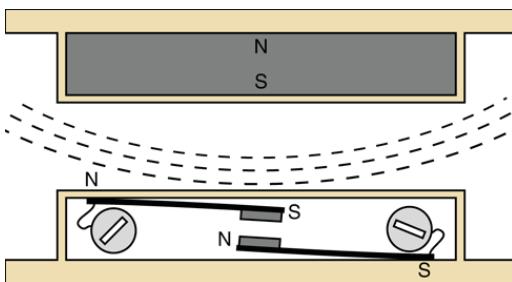
Na początek przyjrzymy się komponentowi aktywującemu alarm. Typowy czujnik alarmowy składa się z dwóch modułów: modułu magnesu i modułu przełącznika. Pokazano je na rysunku 3.75.



**Rysunek 3.75.** Typowy czujnik alarmu składa się z magnesu umieszczonego w plastikowej obudowie (na dole) i magnetycznie aktywowanego kontaktu umieszczonego w podobnej obudowie (na górze)

Moduł magnesu zawiera jedynie magnes trwały i nic więcej. Przełącznik zawiera **kontaktron**, który (podobnie do przekaźnika) tworzy lub przerywa połączenie pod wpływem pola magnetycznego.

Moduł magnetyczny zamocuj do ruchomej części drzwi lub okna, natomiast przełącznik do ramy. Po zamknięciu okna lub drzwi moduł magnetyczny powinien niemal dotykać modułu przełącznika. Magnes powoduje utrzymanie przełącznika w stanie zamkniętym do momentu, kiedy drzwi lub okno zostaną otwarte. Wtedy przełącznik otwiera się. Przekrój czujnika alarmowego pokazano na rysunku 3.76.



Rysunek 3.76. Przekrój czujnika alarmowego, pokazujący przełącznik kontaktronowy (u dołu) i aktywujący go magnes (u góry).

Przełącznik zawiera dwa giętkie, namagnetyzowane paski, górnego o biegunie południowym i dolnego o biegunie północnym, oba połączone z kontaktami elektrycznymi.

Kiedy magnes zbliża się do przełącznika, giętkie paski ulegają namagnetyzowaniu i zaczynają się przyciągać, co powoduje zamknięcie kontaktów.

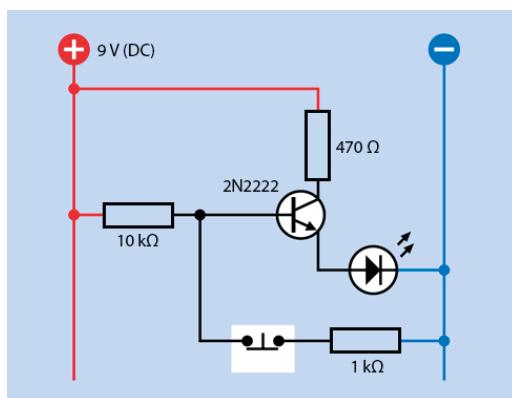
Na podstawie tego opisu mogłeś dojść do wniosku, że kontaktron jest normalnie otwarty, ale jego styki są zwierane pod wpływem pola magnetycznego. Szukając czujników do alarmu, powinieneś wiedzieć o tym, że niektóre czujniki alarmowe działają odwrotnie — są normalnie zamknięte, a pole magnetyczne powoduje ich otwarcie. Nie kupuj takich czujników do tego projektu.

## Przerwa na wykonanie obwodu tranzystorowego

Jak możemy włączyć syrenę alarmu? Pamiętaj o tym, że mamy szeregowy obwód składający się z normalnie otwartych przełączników i chcemy, by rozwarcie tego obwodu powodowało uruchomienie syreny.

Przypomnij sobie zasadę działania tranzystora NPN. Kiedy baza nie ma dostatecznie wysokiego potencjału, tranzystor blokuje przepływ prądu pomiędzy kolektorem i emiterem, ale kiedy potencjał taki zostanie osiągnięty, prąd zaczyna płynąć.

Przyjrzyj się schematowi na rysunku 3.77, który został zbudowany wokół naszego starego przyjaciela — tranzystora NPN typu 2N2222. W celu sprawdzenia działania obwodu w miejscu czujnika alarmu zastosowałem normalnie zamknięty przełącznik przyciskowy. Właśnie zdałem sobie sprawę, że nie wymieniłem tego komponentu na liście zakupów, ale zanim przystąpimy do pracy z płytą prototypową, po prostu go sobie wyobraź.



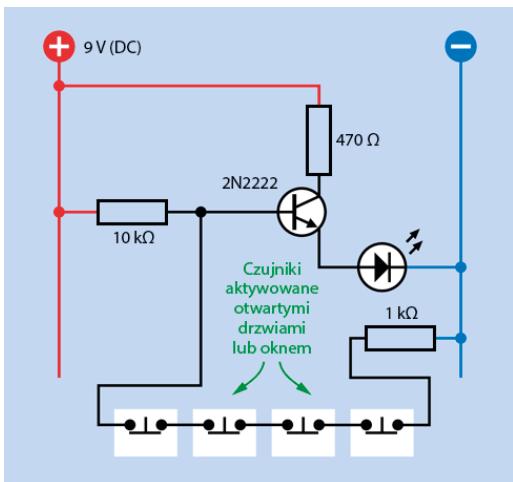
Rysunek 3.77. Podstawowy obwód, w którym dioda LED zapala się w wyniku otwarcia normalnie zamkniętego przełącznika

Zamknięty przełącznik powoduje połączenie bazy tranzystora z ujemnym napięciem poprzez rezistor  $1\text{ k}\Omega$ . Jednocześnie baza jest połączona z dodatnim źródłem zasilania przez tranzystor  $10\text{ k}\Omega$ . Ze względu na różnicę w rezystancjach oraz względnie duże napięcie pracy diody następuje wymuszenie spadku napięcia na bazie poniżej jej progu

zadziała i ograniczenie przepływu prądu. Dioda będzie w najlepszym przypadku świecić przyjemnym światłem.

Co się dzieje, kiedy przełącznik jest otwarty? Baza tranzystora traci kontakt z ujemnym biegunem zasilania i ma dostęp jedynie do bieguna dodatniego. Jej potencjał rośnie wysoko w górę, powyżej poziomu włączenia tranzystora, co oznacza obniżenie jego rezystancji wewnętrznej i przepuszczenie większej ilości prądu. Dioda świeci jasnym światłem. Przerwanie obwodu przez przełącznik powoduje włączenie diody LED.

Obserwowane zachowanie wydaje się być tym, czego potrzebujemy. System alarmowy będzie się składał z wielu czujników przyczepionych do dużej ilości drzwi i okien. Nie stanowi to problemu ponieważ możemy połączyć szeregowo dowolną ilość czujników (patrz rysunek 3.78). Przewody mogą zostać przeprowadzone po całym domu ponieważ ich rezystancja powinna być niska w porównaniu z oporem elektrycznym stawianym przez rezystor  $10\text{ k}\Omega$ .

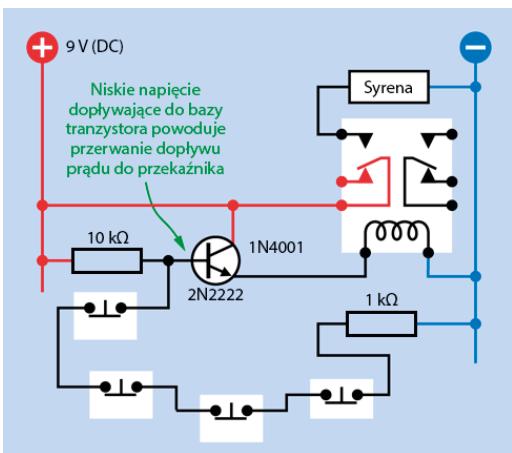


Rysunek 3.78. Sieć czujników połączonych tak, że otwarcie któregokolwiek z nich przerwie ciągłość obwodu i spowoduje włączenie tranzystora

Kiedy przełączniki pozostają zamknięte, obwód pobiera bardzo mały prąd, rzędu  $1,1\text{ mA}$ . Podczas pracy nad obwodem i demonstrowania jego

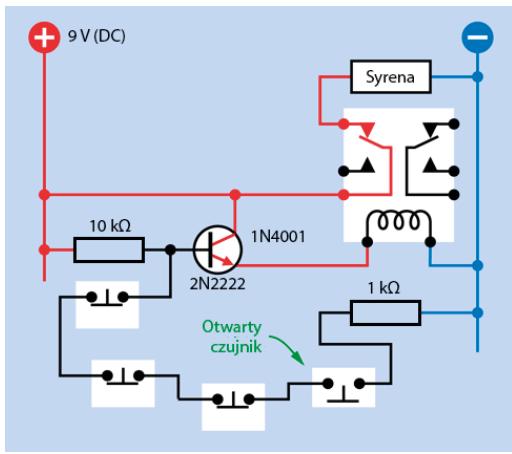
działania móglibyś zasilać go za pomocą baterii 9 V. Do właściwej pracy potrzebowałbyś akumulatora 12 V, który byłby automatycznie ładowany przez zewnętrzny prostownik. Nie będę poruszać tego tematu w niniejszej książce, ale pamiętaj o tym, że w sklepach znajdziesz duży wybór akumulatorów przeznaczonych do współpracy z instalacjami alarmowymi, a także wiele modeli ładowarek.

Załóżmy teraz, że usuniemy z obwodu diodę LED i w jej miejsce wstawimy przekaźnik, tak jak pokazuje to rysunek 3.79 (na schemacie umieściłem przekaźnik dwubiegunowy, ale na razie nie korzystamy z drugiego biegu przekaźnika). Dopóki obwód przełączników będzie zamknięty, dopłyty do bazy tranzystora będą dopływać prąd o względnie niskim napięciu, a więc tranzystor nie będzie zasilał cewki przekaźnika (złącza przekaźnika pozostałe w stanie pokazanym na rysunku).



Rysunek 3.79. Przekaźnik znajdujący się w tym obwodzie będzie aktywowany otwarciem któregokolwiek z przełączników w sieci czujników

Otwarcie któregokolwiek z czujników spowoduje wzrost napięcia przyłożonego do bazy tranzystora, co z kolei spowoduje przepływ większego prądu przez cewkę przekaźnika i uruchomienie syreny alarmu. Zobacz rysunek 3.80. (Użycie przekaźnika w ten sposób nie jest groźne, ponieważ nie będzie on działał w stanie „zawsze włączonym”. Przez większość czasu będzie pozostawał wyłączony. Zacznie pobierać prąd dopiero, kiedy zadziała syrena



Rysunek 3.80. Obwód czujników jest otwarty — tranzystor włączył przekaźnik

alarmu). Zauważ, że z obwodu usuniętem rezystorem  $470\ \Omega$  — przekaźnik nie wymaga stosowania rezystancji ochronnej na linii zasilającej jego cewkę.

Możesz samodzielnie zbudować ten obwód, korzystając z przekaźnika, który stosowaliśmy wcześniej w eksperymencie numer 7 (patrz sekcja „Eksperyment 7: Zabawa z przekaźnikiem” w rozdziale 2.), ale może lepiej by było, gdybyś poczekał, aż stworzymy jego udoskonaloną wersję.

Kilka zagadnień, które powinieneś przemyśleć:

- Czy przekaźnik nie spowoduje przeciążenia tranzystora? Odpowiedź na to pytanie znajdziesz, przeglądając noty katalogowe obu komponentów.
- Tranzystor pracujący w trybie „włączony” wywołuje niewielki spadek napięcia. Czy napięcie będzie nadal w stanie aktywować przekaźnik 9 V? Minimalne napięcie pracy cewki przekaźnika znajdziesz w jego nocie katalogowej. Teoretyczną wartość możesz zweryfikować w praktyce.

## Przekaźnik samozatraskowy

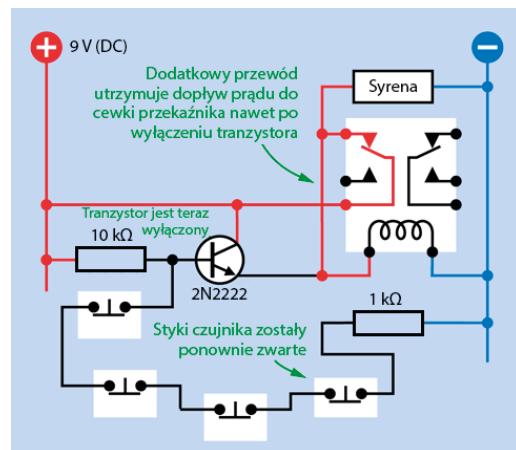
Stworzony przeze mnie projekt aktywuje syrenę, gdy któryś z czujników zostanie otwarty. To dobrze, ale co się stanie, gdy czujnik zostanie ponownie

zamknięty? Do bazy tranzystora zostanie ponownie skierowane niskie napięcie, co spowoduje wyłączenie alarmu. To niedobrze.

Zgodnie z 8. punktem mojej listy alarm powinien generować hałas nawet wtedy, gdy ktoś szybko zamknie otwarte drzwi lub okno. To właśnie dlatego zastosowałem przekaźnik zatrzaszający się.

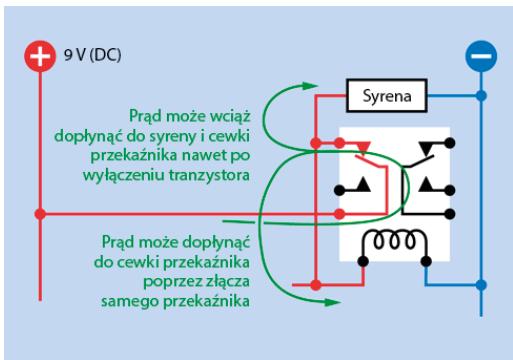
Jednym ze sposobów osiągnięcia takiego stanu byłoby użycie **przekaźnika zatrzaszowego**, który pozostaje w jednym z dwóch stanów bez dopływu prądu — prąd jest niezbędny do przełączania stanów przekaźnika. Niestety przekaźnik zatrzaszowy jest wyposażony w dwie cewki i musiałbyś stworzyć dodatkowy obwód przełączający przekaźnik do pozycji początkowej — wyłączający syrenę. W praktyce łatwiej jest korzystać ze standardowego przekaźnika. Pokażę Ci, w jaki sposób możesz doprowadzić do podtrzymania stanu włączenia dowolnego przekaźnika, nawet jeśli ten otrzymał wyłącznie jeden impuls energii.

Sekret przedstawiono na rysunku 3.81. Na schemacie tym pokazano przycisk, którego styki zostały ponownie zwarte po wcześniejszym otwarciu, a więc tranzystor został wyłączony. Pomimo tego przekaźnik wciąż jest włączony, ponieważ zasila sam siebie — aktywując syrenę alarmu, przekaźnik połączył również obwód zasilający cewkę.



Rysunek 3.81. Styki czujnika zostały ponownie zwarte, tranzystor został wyłączony, ale przekaźnik jest nadal aktywny

Rozwiążanie to wyjaśniono na rysunku 3.82, pokazując przepływ prądu. Dopóki styki przekaźnika są zwarte, dopóty prąd będzie dopływał do cewki (przekaźnik będzie samodzielnie podtrzymywał stan włączenia).



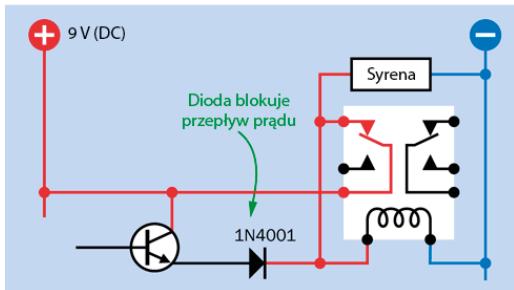
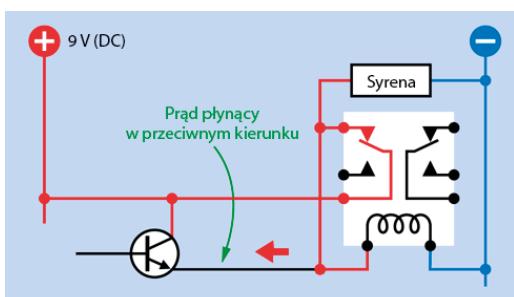
**Rysunek 3.82.** Wycinek poprzedniego schematu wyjaśniający, dlaczego przekaźnik się nie wyłącza

## Blokada szkodliwego napięcia

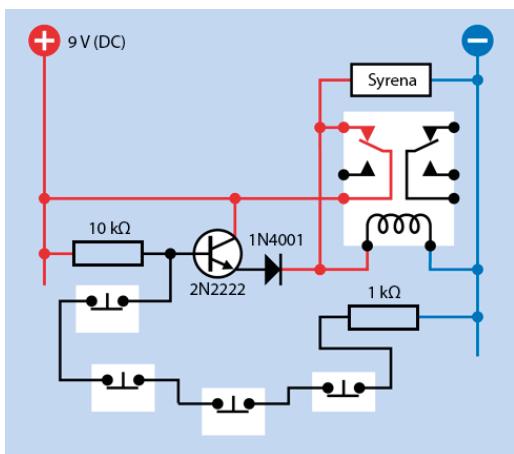
Wszystko wygląda obiecująco, ale do rozwiązania pozostała nam jeszcze pewien problem. Rysunek 3.81 jest niedokładny. Na górnej części rysunku 3.83 przedstawiono kolejny wycinek interesującego nas fragmentu obwodu — kiedy syrena została włączona, ale tranzystor został wyłączony. Prąd może płynąć z cewki przekaźnika do emitera tranzystora. Tę sekcję obwodu powinieneś oznaczyć kolorem czerwonym, ponieważ będzie tam płynąć prąd o polaryzacji dodatniej.

Podłączenie zasilania do tranzystora w kierunku przeciwnym jest niewskazane. Jak można rozwiązać ten problem? Przepływ prądu o przeciwniej polaryzacji można zatrzymać za pomocą diody prostowniczej (patrz dolna część rysunku 3.83).

Nową wersję obwodu, w którym umieszczono diodę, przedstawiono na rysunku 3.84.



**Rysunek 3.83.** Dioda może blokować przepływ prądu z przekaźnika do tranzystora, gdy przekaźnik nadal aktywuje syrenę, a tranzystor jest wyłączony



**Rysunek 3.84.** Schemat całego obwodu po dodaniu do niego diody

Czym tak naprawdę jest dioda? Czy to taki sam komponent jak dioda elektroluminescencyjna (LED)? Tak i nie.

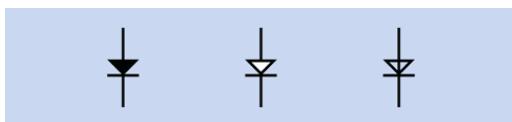
## WIEDZA NIEZBĘDNA: Wszystko o diodach

Dioda jest jednym z pierwszych elementów półprzewodnikowych. Pozwala na przepływ prądu w jednym kierunku i blokuje jego przepływ w drugą stronę. (Dioda świecąca została wynaleziona znacznie później). Zwykła dioda, podobnie do diody świecącej, może zostać uszkodzona przez napięcie przyłożone w przeciwnym kierunku, chociaż większość z nich ma znacznie większą wytrzymałość niż diody LED. Tak naprawdę diody zostały zaprojektowane do blokowania prądu o przeciwcnej polaryzacji w określonych przez producenta granicach.

Końcówka diody blokująca dodatnie napięcie jest zazwyczaj oznaczona odpowiednim paskiem na końcu obudowy (patrz rysunek 3.25). Końcówkę tę określamy mianem **katody**, a drugą końcówkę diody określamy mianem **anody** (anoda nie jest oznaczana). Diody przydają się szczególnie w obwodach logicznych. Mogą również służyć od konwersji napięcia zmiennego (AC) na stałe (DC). Jeżeli dioda nie jest w stanie blokować prądu płynącego w obwodzie, to znaczy, że trzeba zastosować większą diodę (istnieje wiele rozmiarów diod).

Dobrą praktyką jest używanie diod poniżej ich maksymalnych wartości. Podobnie do innych półprzewodników, wystawione na czynnik ekstremalne diody mogą się przegrzewać i w konsekwencji ulegać zniszczeniu.

Symbol reprezentujący diodę na schemacie wygląda jak środek symbolu diody LED, z którego usunięto okrąg i strzałki. Na rysunku 3.85 przedstawiono trzy warianty symbolu diody.



Rysunek 3.85. Trzy symbole diody używane na schematach

## Rozwiążanie jednego problemu tworzy kolejny problem

Na początku musiałem rozwiązać problem polegający na tym, że przekaźnik nie utrzymywał samodzielnie stanu włączenia. Rozwiązałem go, dodając dodatkowy przewód, ale to spowodowało pojawienie się kolejnego problemu — przepływu prądu z powrotem do tranzystora. Rozwiązałem go za pomocą diody, ale to doprowadziło do powstania kolejnego problemu.

Dioda, podobnie jak tranzystor, pobiera część przepływającego przez nią prądu. Oba komponenty są półprzewodnikami, a więc pobierana przez nie ilość prądu jest podobna. Pobór prądu przez te komponenty powoduje spadek napięcia.

Wyłączony przekaźnik musi być włączony przez prąd przepływający przez tranzystor i diodę. Po włączeniu przekaźnika będzie on samoczynnie utrzymywał stan włączenia. Tranzystor powoduje spadek napięcia o 0,7 V, a dioda powoduje dodatkowy spadek napięcia o około 0,7 V. W sumie spadek napięcia wynosi 1,4 V. Jest to stała wartość niezależna od napięcia zasilającego obwód.

Wydaje mi się, że przekaźnik 9 V powinien pracować stabilnie przy napięciu 7,6 V. Nota katalogowa zastosowanego przeze mnie przekaźnika firmy Omron informuje, że zalecane przeze mnie przekaźniki z serii G5V-2 mogą pracować z napięciem równym 75% wartości nominalnej, czyli 6,75 V. Wartość ta wydaje się dopuszczać rozsądny margines błędu.

A jeżeli ktoś korzysta z innego przekaźnika? Niektóre modele charakteryzują się mniejszą tolerancją. Co, jeżeli dojdzie do spadku napięcia baterii zasilającej obwód poniżej 9 V? Osoba projektująca obwód zawsze powinna brać pod uwagę niespodziewane okoliczności, a ogólnie rzecz biorąc, komponenty powinny pracować w warunkach jak najbardziej zbliżonych do tych, które są zalecane przez producenta.

Po opublikowaniu pierwszego wydania tej książki niektórzy czytelnicy pisali do mnie o problemach wynikających ze spadku napięcia. (Tak, słucham

sugestii moich czytelników). W poprzednim wydaniu obwód alarmu był zasilany prądem o napięciu 12 V i wydawało mi się, że spadek napięcia o 1,4 V nie będzie sprawiał problemów. W tym wydaniu zdecydowałem się zasilać wszystkie projekty prądem stałym o napięciu 9 V, tak aby mogły być one zasilane za pomocą zasilacza i baterii w zależności od preferencji czytelnika. Niestety redukcja napięcia 9 V o 1,4 V jest niedopuszczalna.

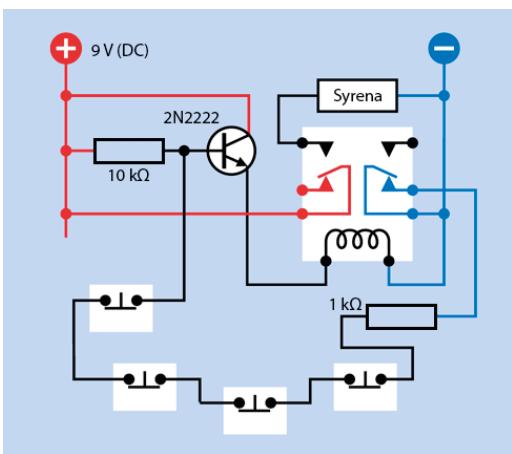
Teraz już wiesz, że każda decyzja ma jakieś konsekwencje. W związku z tym, że projekt jest zasilany prądem o napięciu 9 V, myślę, że trzeba opracować inny sposób samozatraskiwania się przekaźnika.

## Rozwiązywanie problemu

Pierwszym krokiem do rozwiązywania problemu jest wyjaśnienie tego, co się dzieje.

Syrena alarmowa jest sterowana za pomocą dwóch komponentów: tranzystora i przekaźnika. Tranzystor uruchamia syrenę. Nie wykonuje żadnych innych czynności. Po wyłączeniu tranzystora praca syreny ma być podtrzymywana przez przekaźnik. Wadą wykonywania jednej czynności przez dwa komponenty jest to, że komponenty te wpływają na siebie. Najlepiej byłoby, aby operacja włączania syreny była wykonywana za pomocą jednego komponentu. Tranzystor powinien dalej pełnić funkcję sterującą, ale po włączeniu powinien być włączony tak długo, jak długo włączony jest przekaźnik.

Już wiem, jak rozwiązać ten problem. Muszę skorzystać z drugiego bieguna przekaźnika (tego samego przekaźnika używałam wcześniej w eksperymencie numer 7). Mogę zastosować styki drugiego bieguna przekaźnika, które są normalnie otwarte, do połączenia szeregu czujników z masą, tak jak pokazano na rysunku 3.86.



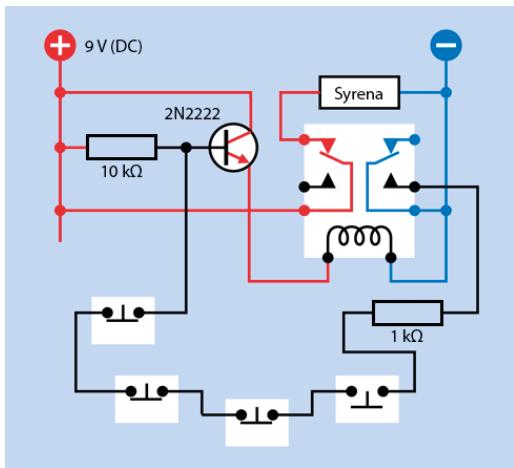
**Rysunek 3.86.** Szereg czujników połączono z masą za pomocą złącz przekaźnika znajdujących się po prawej stronie (są one normalnie zamknięte)

Obwód będzie działał teraz w następujący sposób:

Baza tranzystora jest teraz połączona z ujemnym biegunem źródła prądu za pośrednictwem wszystkich czujników, rezystora 1 kΩ i styków znajdujących się po prawej stronie przekaźnika, które są normalnie zamknięte. Dopóki łańcuch tych komponentów nie zostanie przerwany, do bazy tranzystora przyłożone jest tak niskie napięcie, że tranzystor nie dopuszcza do przepływu prądu.

Załóżmy, że ktoś otworzył czujnik. Baza tranzystora nie jest już podłączona do masy, a więc tranzystor aktywuje przekaźnik. Przekaźnik zwiera złącza znajdujące się po jego lewej stronie, aktywując syrenę alarmową. Jednocześnie przekaźnik rozwiera styki znajdujące się po prawej stronie.

Alarm będzie aktywny nawet wtedy, gdy ktoś zamknie czujnik, ponieważ prawa para styków przekaźnika będzie rozwarta, co będzie odcinać czujniki od masy. Prąd w dalszym ciągu płynie przez tranzystor, a przekaźnik jest ciągle aktywny. Pokazano to na rysunku 3.87.

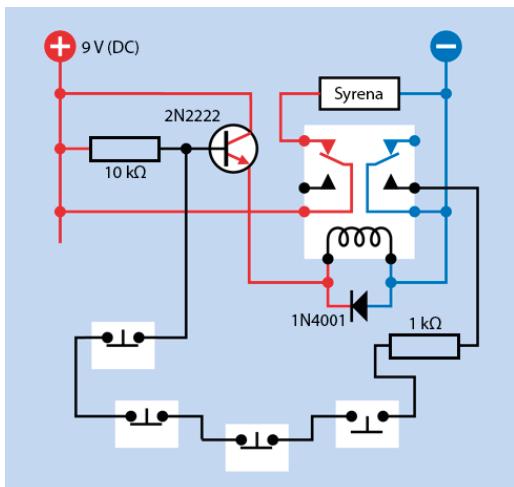


**Rysunek 3.87.** Teraz po otwarciu obwodu przez czujnik tranzystor będzie nadal zasilany nawet po powtórnym zwarciu styków czujnika

Problem został rozwiązany.

## Dioda zabezpieczająca

Jak widzisz, usunąłem z obwodu diodę, ale jeżeli przyjrzyisz się rysunkowi 3.88 (obiecuje Ci, że jest to ostatnia wersja obwodu, którą będę opisywał w tym rozdziale), to zobaczyysz, że ponownie zastosowałem diodę. Dioda została wstawiona w zupełnie innym miejscu. Teraz jest podłączona równolegle do cewki przekaźnika. Dlaczego wstawiłem ją właśnie tam?



**Rysunek 3.88.** Dioda zastosowana jako element zabezpieczający

Dużo dalej w tej książce zajmę się omawianiem właściwości cewek. Teraz chciałbym poinformować Cię, że cewka gromadzi energię po podłączeniu do prądu. Uwolnienie tej energii wywołuje impuls prądu, który może doprowadzić do uszkodzenia niektórych komponentów, a zwłaszcza półprzewodników.

W związku z tym standardowo równolegle do cewki przekaźnika podłącza się **diodę zabezpieczającą**. Dioda jest ustawiona tak, aby blokować przepływ prądu o normalnej polaryzacji, co wymusza jego przepływ przez cewkę. Gdy przepływ tego prądu zostanie przerwany, cewka uwalnia zgromadzoną energię. Cewka kieruje uwalniany prąd do diody, która charakteryzuje się w tym kierunku bardzo małą rezystancją. Dzięki temu pozostałe komponenty obwodu są chronione przed wpływem impulsu wygenerowanego przez cewkę.

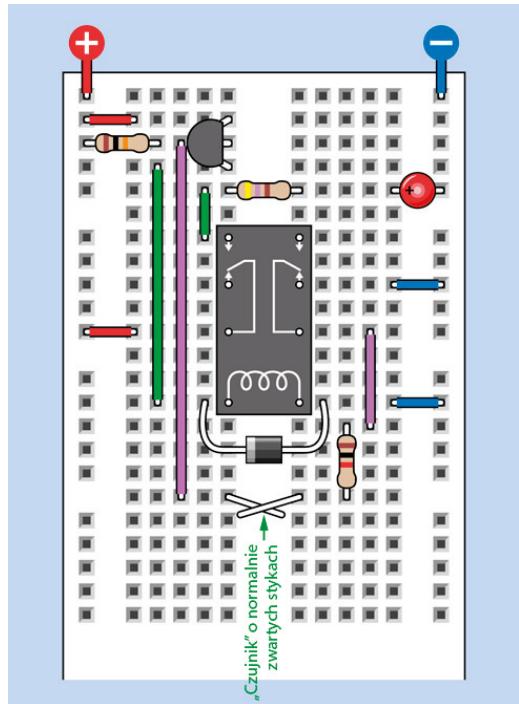
Do dokładnie takiego zjawiska dochodzi w omawianym obwodzie.

Jeżeli korzystasz z małego przekaźnika wyposażonego w małą cewkę, przez którą nie może płynąć prąd o dużym natężeniu, to nie musisz stosować diody zabezpieczającej, ale stosowanie diody zabezpieczającej jest dobrą praktyką i powinieneś sobie wyrobić nawyk jej stosowania.

## Montaż obwodu na płytce prototypowej

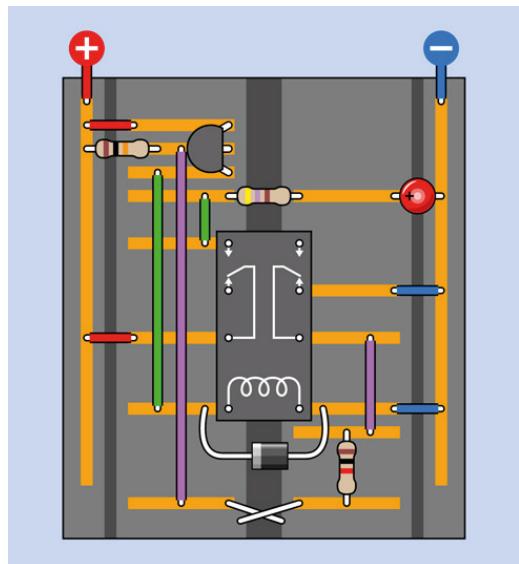
Przed przystąpieniem do pracy nad układem wyjaśnieniem sporo zagadnień teoretycznych, a zwykle tego nie robię. Musiałem przedstawić Ci proces pracy nad obwodem. Teraz możesz wykonać obwód w praktyce i sprawdzić, czy naprawdę działa.

Na rysunku 3.89 przedstawiłem schemat wykonawczy obwodu. Zamiast syreny alarmu zastosowałem diodę LED (pozwoli ona sprawdzić poprawność pracy obwodu).



Rysunek 3.89. Schemat wykonawczy ostatecznej wersji obwodu alarmu

Na rysunku 3.90 pokazano ścieżki łączące poszczególne elementy obwodu.



Rysunek 3.90. Prześwietlenie pokazujące ścieżki łączące elementy obwodu alarmu

W celu zasymulowania pracy czujników alarmu powinieneś zainstalować na płytce normalnie otwarte przełączniki przyciskowe, ale chciałbym zminimalizować koszt zakupu komponentów, a gdybyś chciał korzystać z tego obwodu w praktyce, to potrzebowałbym czujników magnetycznych, a nie przycisków. Zamiast tych komponentów zdecydowałem się zastosować dwa druty. Rozwiążanie to doskonale nadaje się do testowania obwodu. Przewody te określam mianem „drutów zastępujących czujnik”. Druty te zostały skrzyżowane w dolnej części schematu.

Przed podłączeniem obwodu do zasilania sprawdź, czy druty zastępujące czujnik dotykają do siebie. Podłączenie obwodu do zasilania nie powinno wywołać widocznych efektów.

Teraz rozłącz druty zastępujące czujnik. Dioda LED powinna zostać włączona. Jeżeli stworzyłeś kolejną wersję tego obwodu, to zamiast diody LED aktywowany zostanie układ generujący głośny dźwięk sygnalizujący włączenie się alarmu.

Teraz ponownie zehrzyj druty zastępujące czujnik — jest to imitacja sytuacji, w której intruz otworzył okno, usłyszał alarm i zamknął je ponownie. Jeżeli wykonateś obwód w sposób poprawny, to dioda LED będzie nadal świecić.

Jak można wyłączyć alarm?

To żaden problem. Odłącz go od zasilania. Przekaźnik wróci do położenia początkowego, a alarm po ponownym podłączeniu do prądu będzie w trybie czuwania. W ostatecznej wersji tego projektu alarm będzie wyłączany kodem wprowadzanym za pomocą klawiatury. Tego typu rozwiązanie opiszę w eksperymencie numer 21. Będą do tego potrzebne układy logiczne, a nie miałem jeszcze okazji, by je opisać.

## Dodawanie generatora dźwięku

Do generowania dźwięku syreny mógłbyś użyć obwodu oscylatora i głośnika (eksperyment numer 11), ale dźwięk można generować w inny, prostszy sposób, np. za pomocą układu scalonego — timera 555. Aplikację tego układu opiszę w eksperymencie numer 16.

Układ ten może być również zastosowany w celu realizacji punktów numer 7 i 9 wymienionych na liście funkcji, których oczekuję od alarmu (czip ten może uruchamiać alarm z opóźnieniem). Na razie odróż projekt alarmu na bok. Dokończymy go w eksperymencie numer 18.

## Podsumowanie: To warto zapamiętać

Instalacja alarmowa nie jest jeszcze skończona, ale podczas pracy nad nią nauczyłeś się kilku ważnych rzeczy. Podsumujmy je.

- Tranzystor może być używany do generowania wysokiego sygnału wyjściowego za pomocą niskiego sygnału wejściowego i na odwrót.
- Przekaźnik może kierować prąd do swojej cewki, samodzielnie się blokując.
- Przepływ niechcianego prądu można zablokować za pomocą diody.

- Gdy prąd płynie przez diodę zgodnie z jej kierunkiem przewodzenia, dochodzi do spadku jego napięcia o 0,7 V.
- Tranzystor również obniża napięcie płynącego przez niego prądu o 0,7 V.
- Spadek napięcia wywołany przez komponenty półprzewodnikowe jest stały i niezależny od napięcia płynącego przez nie prądu. W związku z tym spadek napięcia ma większy wpływ na pracę obwodów niskiego napięcia.
- Cewka przekaźnika po odłączeniu od dopływu prądu może wywołać impuls prądu płynącego w przeciwnym kierunku.
- Wspomniany impuls prądu można stłumić za pomocą diody zabezpieczającej podłączonej równolegle do przekaźnika. Dioda powinna być podłączona tak, aby blokowała prąd płynący w normalnym kierunku, ale przepuszczała impuls prądu płynącego w przeciwnym kierunku wywołany przez cewkę.



# 4

## Układy scalone

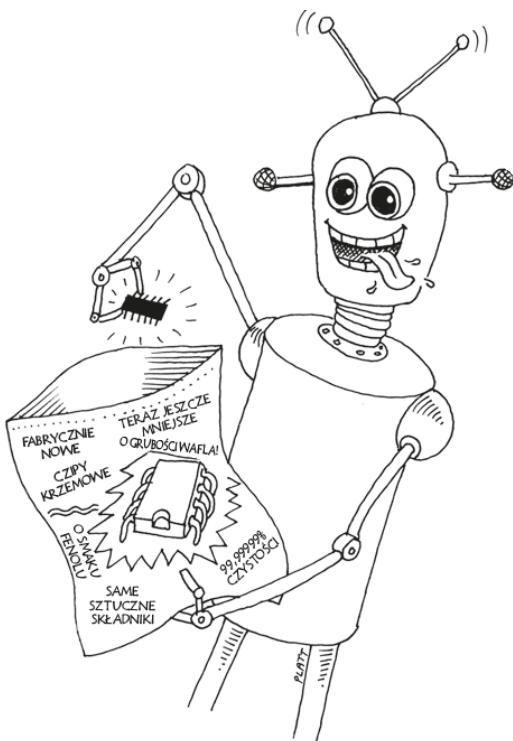
Zanim przejdę do fascynującego tematu układów scalonych (ang. *integrated circuits* — IC), muszę coś wyznać: pewne rzeczy, które chciałbym, abyś wykonał w rozdziale trzecim, można było zrealizować prościej za pomocą układów scalonych.

Czy to znaczy, że marnowałeś swój czas? Nie, jestem mocno przekonany, że budując układy przy użyciu staroświeckich komponentów — kondensatorów, rezystorów i tranzystorów — utrwalisz podstawy elektroniki w najlepszy możliwy sposób. Niemniej jednak teraz przekonasz się, że układy

scalone zawierające dziesiątki, setki lub nawet tysiące tranzystorów pozwolą pójść na skróty.

Być może nie uzależnisz się od pracy z układami scalonymi, ale mam nadzieję, że komponenty te wywołają w Tobie zachwyt podobny do zachwytu robota widocznego na rysunku 4.1.

Poza wymienionymi wcześniej narzędziami, urządzeniami i komponentami do wykonania eksperymentów o numerach 16 – 24 będziesz potrzebował dodatkowych komponentów wymienionych w kolejnym podrozdziale.



Rysunek 4.1. Mój wzór

### Lista zakupów: eksperymenty od 16 do 24

#### Narzędzia

Jedynie nowe narzędzie, które polecam stosować w połączeniu z układami scalonymi, to sonda logiczna. Pozwala ona stwierdzić, czy pojedynczy pin układu ma wysoki lub niski stan napięcia. Taka wiedza pozwala na łatwiejsze wywnioskowanie, co dokładnie dzieje się w układzie. Sonda ma funkcję pamięci — zapali zieloną diodę i nie pozwoli jej zgasnąć w odpowiedzi na impuls, który mógł być zbyt szybki, aby Twoje oko mogło go zaobserwować.

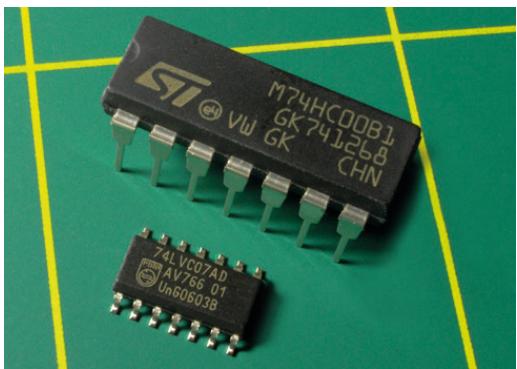
Niektórzy czytelnicy uważają, że sonda logiczna jest niezbędna do pracy z układami scalonymi, ale moim zdaniem można się obejść bez niej. Poszukaj w sieci i kup najtańszą sondę, jaką uda Ci się znaleźć. Nie mam żadnych konkretnych rekomendacji odnośnie marki.

## Komponenty

Jeżeli interesuje Cię zakup zestawu komponentów, to podobnie jak w przypadku poprzedniej listy zakupów zajrzyj do sekcji „Zestawy” (znajdziesz ją w rozdziale 6.). Jeżeli wolisz szukać komponentów i elementów eksploatacyjnych w sieci, to zajrzyj do sekcji „Komponenty” i „Zasoby” (znajdziesz je w rozdziale 6.).

## WIEDZA NIEZBĘDNA: Wybór układów scalonych

Na rysunku 4.2 pokazano dwa układy scalone. Komponent widoczny w górnej części rysunku jest starszym modelem przeznaczonym do **montażu przepłatanego** — odstęp pomiędzy jego pinami wynosi 2,54 mm, a więc można go zamontować w otworach płytki prototypowej lub perforowanej. Będę korzystał tylko z układów tego typu, ponieważ są one poręczne. Mniejszy czip jest przeznaczony do **montażu powierzchniowego**. Nie będę korzystał z układów tego typu, ponieważ nie można ich zainstalować na płytce prototypowej, a ponadto są one nieporęczne.



Rysunek 4.2. Czip przeznaczony do montażu przepłatanego (góra) i powierzchniowego (dół)

Wiele układów przeznaczonych do montażu przepłatanego i powierzchniowego działa w ten sam sposób — różnią się jedynie rozmiarem, ale niektóre układy przeznaczone do montażu powierzchniowego są przeznaczone do pracy z prądem o niższym napięciu.

Korpus układu scalonego jest zwykle wykonany z plastiku lub żywicy. Określa się go mianem

**obudowy** (ang. *package*). Najczęściej spotykanym typem obudowy jest **obudowa podłużna dwurzędowa** (*DIP*, a obudowy tego typu wykonane z plastiku określa się akronimem *PDIP*). Złącza układów zamkniętych w obudowach tego typu są ustawione w dwóch rzędach umieszczonych wzdłuż dłuższych krawędzi obudowy.

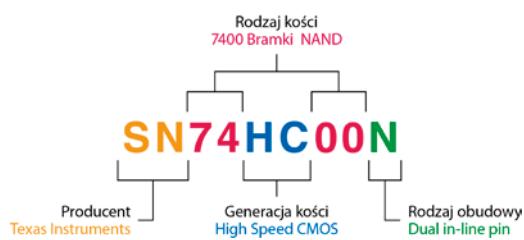
Obudowy przeznaczone do montażu powierzchniowego oznacza się akronimami rozpoczęającymi się od litery S, np. SOIC (ang. *small-outline integrated circuit*). Istnieje wiele wariantów obudów czipów przeznaczonych do montażu powierzchniowego różniących się rozstawem pinów i innymi charakterystykami. Nie będę tego opisywał w tej książce. Kupując układy scalone, musisz uważać na to, aby przez przypadek nie kupić układu w obudowie przeznaczonej do montażu powierzchniowego.

Wewnątrz obudowy znajduje się obwód „wyryty” na małym waflu krzemu. Mikroskopijne przewody wewnątrz obudowy łączą układ z rzędami wyprowadzeń po obu stronach. W dalszej części książki będę używał słowa „kość” w odniesieniu do całego obiektu, łącznie z wyprowadzeniami. Jest to jedno z częstszych określeń układów scalonych.

Kość w obudowie PDIP widoczna na rysunku 4.2 posiada po siedem pinów umieszczonych w każdym z dwóch rzędów — w sumie układ ten dysponuje 14 złączami. Inne kości mogą mieć 4, 6, 8, 16 lub więcej pinów.

Niemała każda kość ma nadrukowany na sobie numer części. Zwróć uwagę, że obie kości na rysunku 4.2 wyglądają zupełnie odmiennie, ale każda z nich ma „74” w swoim numerze części. Jest tak, ponieważ obie należą do rodziny układów logicznych „7400”, której numery części zaczynają się od wartości 7400 i szły w górę (7400, 7401, 7402, 7402 itd.). Będziemy często korzystać z układów należących do tej rodziny.

Przyjrzyj się rysunkowi 4.3. Litery na początku identyfikują producenta (z naszego punktu widzenia nie ma to znaczenia, więc możesz je zignorować). (Jeżeli Cię to interesuje, to SN jest identyfikatorem firmy



Rysunek 4.3. Odczytywanie numeru seryjnego kości z rodziną 74xx

Texas Instruments. Identyfikator ten jest akronimem słów *semiconductor network* — w ten sposób firma Texas Instruments nazywała początkowo produkowane przez siebie kości.

Pomijaj litery do momentu, kiedy napotkasz „74”. Potem powinieneś napotkać jeszcze dwie litery, które mają znaczenie. Rodzina 74xx ewoluowała przez wiele generacji układów. Dwie litery za „74” informują o tym, z jaką generacją masz do czynienia. Generacje układów noszą między innymi następujące oznaczenia: 74L, 74LS, 74C, 74HC, 74AHC.

Ogólnie mówiąc, kolejne generacje stają się szybsze i bardziej wszechstronne od swoich poprzedników. W tej książce w większości przypadków będziemy używać generacji HC, ponieważ na rynku dostępne są praktycznie wszystkie układy z rodziną 74xx wyprodukowane w tej właśnie generacji. Koszt ich zakupu jest umiarkowany. Kości należące do tej generacji nie pobierają dużej ilości prądu. W naszych projektach większa szybkość pracy oferowana przez późniejsze generacje jest zbędna, ale jeżeli chcesz, to nic nie stoi na przeszkodzie, abyś korzystał z kości z rodziną HCT.

Po literach identyfikujących generację znajdziesz dwie (czasem więcej) cyfry. Te specyfikują konkretną funkcję kości. Po wspomnianych cyfrach mogą znajdować się kolejne litery. Możesz je zignorować, pracując nad projektami opisanymi w tej książce.

Spoglądając jeszcze raz na rysunek 4.2, przekonasz się, że kość w obudowie DIP ma numer M74HC00B1, czyli została wyprodukowana przez firmę STMicroelectronics, należy do rodziny 74xx, generacji HC, a jej funkcja ma identyfikator 00.

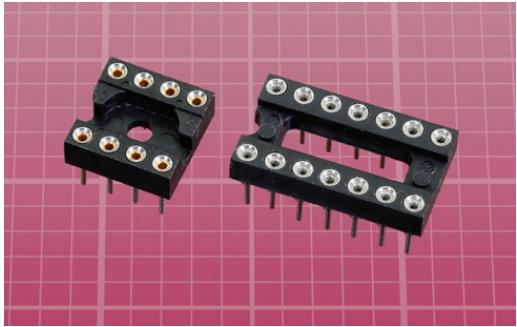
To długie wyjaśnienie ma jeden cel: nauczyć Cię interpretowania list zawartych w katalogach, kiedy będziesz kupował kości. Możesz szukać „74HC00”. Dostawcy działający w sieci powinni mieć swoje skrypty skonstruowane dostatecznie dobrze, aby pokazać Ci odpowiednie kości różnych producentów, mimo że wyświetcone nazwy mają dodatkowe litery z przodu i z tyłu w porównaniu do tego, co wpisałeś w wyszukiwarkę.

Zwróc jedynie uwagę, aby kupić układ w większej obudowie przeznaczonej do montażu przepłatnego (wyniki wyszukiwania ogranicz do układów w obudowach typu DIP lub PDIP), a nie w obudowie do montażu powierzchniowego. Jeśli numer części zaczyna się od SS, SO lub TSS, bez wątpienia jest to kość montowana powierzchniowo, której nie chcesz. Więcej informacji na temat kupowania komponentów w sklepach internetowych znajdziesz w sekcji „Szukanie komponentów i zakupy w internecie” (patrz rozdział 6.).

Wszystkie układy scalone niezbędne do wykonania eksperymentów opisanych w tym rozdziale przedstawiono na rysunku 6.7. Poza układami scalonymi będziesz potrzebował jeszcze kilku innych, wymienionych dalej komponentów.

#### *Podstawki pod układy scalone (zalecane)*

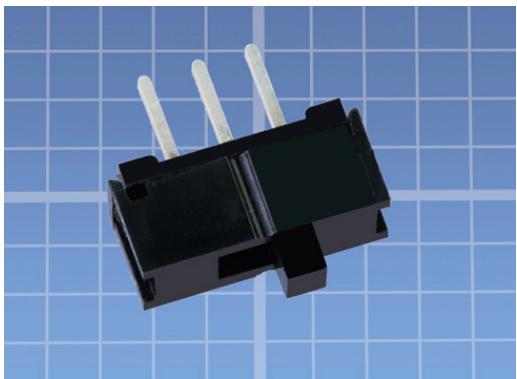
Jeżeli będziesz chciał wykonać stałą, lutowaną wersję któregoś z projektów, to sugeruję, abyś unikał lutowania układów bezpośrednio do płyt. Jeśli je uszkodzisz lub jeśli wykonasz nieprawidłowe połączenie, to trudno będzie je usunąć, ponieważ będzie to wymagało dolutowania wielu pinów. Aby uniknąć tego problemu, kup podstawki DIP, przyglutuj je do płytki, a następnie wstaw w nie kości. Możesz użyć najtańszych podstawek, jakie znajdziesz (do realizowanych eksperymentów nie potrzebujesz podstawek z połacanymi stykami). Będziesz potrzebował podstawek DIP na 8 pinów, 14 pinów i 16 pinów. Liczba: minimum 5 sztuk każdego rodzaju. Przykładowe podstawki pokazano na rysunku 4.4.



**Rysunek 4.4.** Kiedy montujesz w płytce perforowanej układ scalony, podstawki eliminują ryzyko przegrzania kości oraz zniszczenia ich ładunkiem elektrostatycznym, układ scalony należy zainstalować w podstawce po przymontowaniu jej do płytki obwodu

#### Miniaturowe przełączniki ślizgowe (niezbędne)

**Przełączniki ślizgowe** (patrz rysunek 4.5) są wyposażone w małą dźwignię, którą możesz przesuwać palcem, domykając lub otwierając obwód. Przełączniki tego typu wyposażone są w 3 piny oddalone od siebie o 2,54 mm. Jeżeli samodzielnie kompletujesz niezbędne komponenty, to zajrzyj do podrozdziału „Pozostałe komponenty” (patrz rozdział 6.) i znajdź w nim sekcję „Zakupy: Rozdział 4.”. Znajdziesz tam więcej informacji na temat przełączników ślizgowych.



**Rysunek 4.5.** Mikroprzełącznik polecaný do zastosowania w projektach opisanych w tej książce

#### **UWAGA: Przeciążenie przełączników**

Małe przełączniki ślizgowe nie są przeznaczone do pracy z prądem o wysokim napięciu i natężeniu.

Zostały one zaprojektowane do pracy w obwodach niskiej mocy. Mogą one pracować z prądem stałym o maksymalnym napięciu 12 V i maksymalnym natężeniu 100 mA. To dla nas wystarczająco. Jeżeli chcesz stosować przełączniki tego typu do sterowania przepływem większego prądu, to zajrzyj do noty katalogowej interesujących Cię komponentów.

#### *Niskoprądowe diody LED (niezbędne)*

Kości układów logicznych, których będziesz używać, nie są zaprojektowane do dostarczania prądu o natężeniu większym od 20 mA. Możesz podłączyć do nich diodę LED pobierającą prąd o natężeniu 20 mA, ale spowoduje to spadek napięcia ich sygnału wyjściowego, a więc sygnał ten nie będzie mógł być skierowany do wejść kolejnych układów logicznych. We wszystkich eksperymentach z układami logicznymi korzystam z niskoprądowych diod LED.

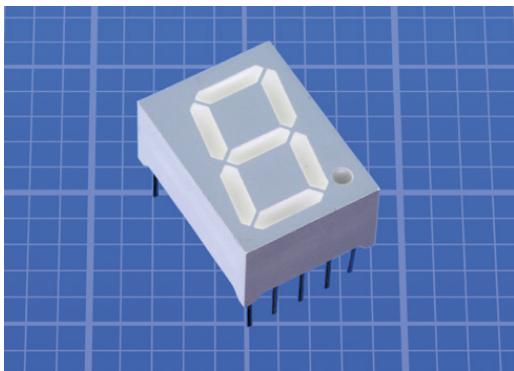
Pamiętaj o tym, że niskoprądowe diody LED wymagają zastosowania większych rezystancji szeregowych, ponieważ może przez nie płynąć prąd o dużo mniejszym natężeniu od maksymalnego prądu akceptowanego przez standardowe diody LED. Przypomnę Ci o tym, gdy zaczniemy pracę z diodami.

#### *Wyświetlacze siedmiosegmentowe (niezbędne)*

W jednym z projektów będziemy korzystali z siedmiosegmentowego wyświetlacza. Te proste wyświetlacze nadal są stosowane w niektórych cyfrowych zegarach i kuchenkach mikrofalowych (patrz rysunek 4.6). Jeżeli samodzielnie kompletujesz niezbędne komponenty, to zajrzyj do podrozdziału „Pozostałe komponenty” (patrz rozdział 6.) i znajdź w nim sekcję „Zakupy: Rozdział 4.”.

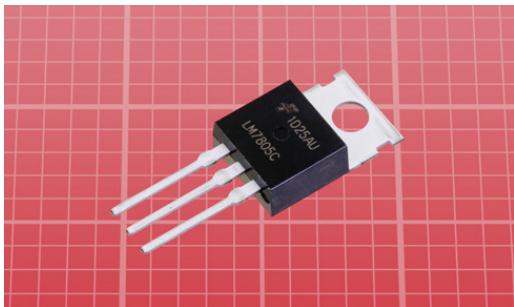
#### *Regulatory napięcia (niezbędny)*

Ponieważ wiele kości układów logicznych wymaga dokładnie 5 V napięcia stałego, będziesz potrzebował regulatora napięcia. Taką funkcję realizuje układ LM7805. Tutaj również numer kości może mieć przedrostek informujący o producencie i końcówkę oznaczającą typ obudowy. Przykładem może być część o numerze LM7805CT firmy Fairchild. Część dowolnego producenta będzie dobra, ale obudowa



Rysunek 4.6. Wyświetlacze siedmiosegmentowe stanowią najprostszy środek umożliwiający wyświetlanie wyniku w postaci cyfr. Mogą być sterowane bezpośrednio przez niektóre kości wykonane w technologii CMOS

musi przypominać tę pokazaną na rysunku 4.7 (jest to obudowa typu TO220). Regulator napięcia musi być stosowany w każdym obwodzie zawierającym układy logiczne. W związku z tym warto dysponować pięcioma takimi układami.



Rysunek 4.7. Wiele układów scalonych wymaga kontrolowanego napięcia o wartości 5 V, które może być dostarczone przez pokazany regulator, jeśli tylko zostanie zasilony napięciem między 7,5 a 12 V

#### Zalecane komponenty dodatkowe

Aby skończyć pracę nad systemem alarmowym opisany w eksperymencie numer 18, będziesz potrzebował czujników magnetycznych, które można zaczyć na drzwiach i oknach. Przykładem takiego czujnika jest model 8601 firmy Directed, który znajdziesz w ofercie wielu sklepów internetowych.

Jeżeli planujesz przeniesienie projektu z płytka prototypowej i wykonanie jego stałej wersji zamkniętej w obudowie, to używane dotychczas

mikroprzelłączniki będą zbyt nietrwałe i zbyt małe. W eksperymencie numer 18 będziesz potrzebował pełnowymiarowego przełącznika przyciskowego DPDT typu ON-(ON) wyposażonego w zaciski pozwalające na przyłutowanie komponentów. Dużo przełączników tego typu znajdziesz w serwisie Allegro po wpisaniu w wyszukiwarce frazy „przełącznik DPDT”.

## TEORIA: Jak powstały układy scalone

Koncepcja zintegrowanych komponentów półprzewodnikowych wewnątrz jednej obudowy powstała w głowie naukowca Geoffreya W.A. Dummera, zajmującego się radarami. Rozważał on taką możliwość na wiele lat przed podjęciem nieudanej próby zbudowania prototypu w roku 1956. Pierwszy układ scalony został stworzony dopiero w roku 1958 przez Jacka Kilby'ego, pracującego dla firmy Texas Instruments. Wersja układu w wykonaniu Kilby'ego bazowała na germanie, ponieważ ten pierwiastek był już używany do produkcji półprzewodników. (Do diody germanowej dotrzemy, kiedy będę pisać o radiach budowanych na kryształach w eksperymencie numer 31). Na lepszy pomysł wpadł jednak Robert Noyce (patrz rysunek 4.8).



Rysunek 4.8. Robert Noyce opatentował układ scalony i był jednym z założycieli firmy Intel

Urodził się w 1927 roku w Stanach Zjednoczonych, w stanie Iowa. W latach pięćdziesiątych przeniósł się do Kalifornii, gdzie zaczął pracować dla Williama

Shockleya. Stało się to wkrótce po tym, jak Shockley rozpoczął własny biznes oparty na tranzystorze, który wynalazł wraz z innymi pracownikami Bell Labs.

Noyce był jednym z ośmiu pracowników, których irytował sposób zarządzania przez Shockleya, w wyniku czego odeszli z pracy i założyli firmę Fairchild Semiconductor. Będąc menadżerem firmy Fairchild, Noyce wynalazł bazujący na półprzewodnikach zintegrowany układ scalony, który pozwalał uniknąć trudności produkcyjnych, jakie wiązały się z użyciem germanu. Jemu przypisuje się umożliwienie produkcji układów scalonych na masową skalę.

Pierwsze wyprodukowane układy znalazły zastosowanie w przemyśle wojskowym — pociski Minuteman potrzebowały małych i lekkich komponentów do swoich systemów naprowadzania. W ten sposób wykorzystywane były niemal wszystkie kości wyprodukowane od roku 1960 do 1963, a ich cena spadła z tysiąca do dwudziestu pięciu dolarów za sztukę, w odniesieniu do wartości dolara z roku 1963.

Pod koniec lat sześćdziesiątych pojawiły się układy scalone średniej skali integracji, z których każdy zawierał setki tranzystorów. W połowie lat siedemdziesiątych pojawiły się układy dużej skali integracji, pozwalające na umieszczenie tysięcy tranzystorów wewnętrznie pojedynczej kości. Dzisiejsze układy scalone mogą zawierać nawet kilka miliardów tranzystorów.

Robert Noyce założył w końcu firmę Intel wspólnie z Gordonem Moore'em, ale niestety zmarł nieoczekiwanie z powodu ataku serca w 1990 roku. Więcej na temat fascynującej historii projektowania i produkcji układów scalonych dowiesz się, odwiedzając witrynę [www.siliconvalleyhistorical.org](http://www.siliconvalleyhistorical.org).

## Eksperyment 16: Generowanie impulsów

Przedstawię Ci teraz jedną z najbardziej udanych kości, jakie kiedykolwiek stworzono: układ czasowy 555. Ponieważ sieć zawiera różnorodne strony poświęcone temu układowi, możesz stawiać pod

znakiem zapytania konieczność omawiania go tutaj, ale są ku temu trzy powody:

### Nie ma możliwości pominięcia tego układu.

Najzwyczajniej w świecie musisz go znać. Według oceny niektórych źródeł rocznie nadal produkuje się około miliarda kości tego typu. Układ ten będzie używany w większości pozostałych układów elektronicznych tej książki.

**Jest przydatny.** Układ czasowy 555 najprawdopodobniej jest najbardziej uniwersalnym układem, jaki powstał. Charakteryzuje go ogromna różnorodność zastosowań. Jego wyjście może dostarczać bardzo duży prąd (natężenie może sięgać nawet 200 mA). Ponadto układ jest trudny do uszkodzenia.

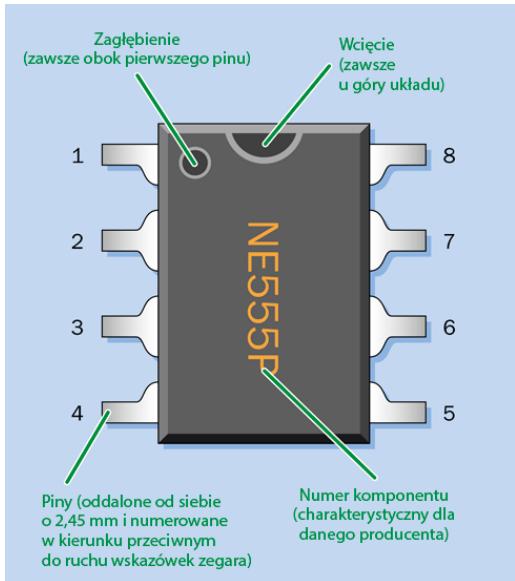
**Jest niezrozumiany.** Po przeczytaniu wszystkich przewodników po układzie 555, jakie udało mi się znaleźć, poczynając od oryginalnych kart katalogowych firmy Fairchild Semiconductor, aż po różnorodne teksty napisane przez hobbystów, doszdem do wniosku, że wewnętrzny sposób funkcjonowania tego układu jest bardzo rzadko wyjaśniany w sposób zupełnie przejrzysty. Chcę przedstawić w sposób graficzny to, co dzieje się w środku, ponieważ jeśli tego nie zrozumiesz, nie będziesz w stanie korzystać z tej kości w sposób kreatywny.

### Potrzebne będą:

- płytka prototypowa, przewody połączeniowe, szczypce do cięcia drutu, przyrząd do zdejmowania izolacji i multimetr,
- 9-woltowe źródło zasilania (bateria lub zasilacz),
- rezystory:  $470\ \Omega$  (liczba: 1),  $10\ k\Omega$  (liczba: 3),
- kondensatory:  $0,01\ \mu F$  (liczba: 1),  $15\ \mu F$  (liczba: 1),
- potencjometry dostrojczego:  $20\ k\Omega$  lub  $25\ k\Omega$  (liczba: 1),  $500\ k\Omega$  (liczba: 1),
- układ czasowy 555, liczba: 1,
- mikroprzełączniki SPST, liczba: 2,
- standardowa dioda LED, liczba: 1.

## Poznaj swój układ scalony

**Piny układu scalonego 555** są zawsze numerowane przeciwnie do ruchu wskazówek zegara, zaczynając od pinu w lewym górnym rogu (obok zagłębiań lub wcięcia, które używane jest w celu oznaczenia górnej części czipu) — patrz rysunek 4.9. Złącza układu są oddalone od siebie o 2,54 mm.

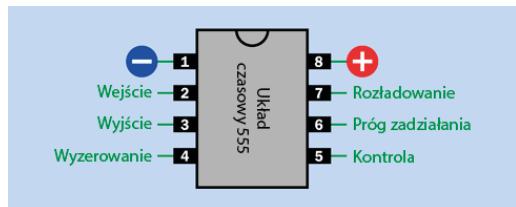


**Rysunek 4.9.** Obudowa ośmiopinowego układu scalonego; praktycznie wszystkie kości posiadają wcięcie oznaczające górną część układu; pin numer 1 niektórych kości jest dodatkowo oznaczony wgłębieniem

Wszystkie inne kości przeznaczone do montażu przeplatanej wyglądują w ten sam sposób, ale mogą mieć więcej pinów. Zwykle rzędy pinów są oddalone od siebie o 7,68 mm. Dzięki temu układy scalone można wygodnie osadzić nad wgłębieniem dzielącym płytke prototypową na pół, tak aby przewodniki znajdujące się wewnętrz płytce prototypowej stykały się ze wszystkimi pinami układu scalonego. Tak, właśnie dlatego płytki prototypowe charakteryzują się takim układem otworów montażowych.

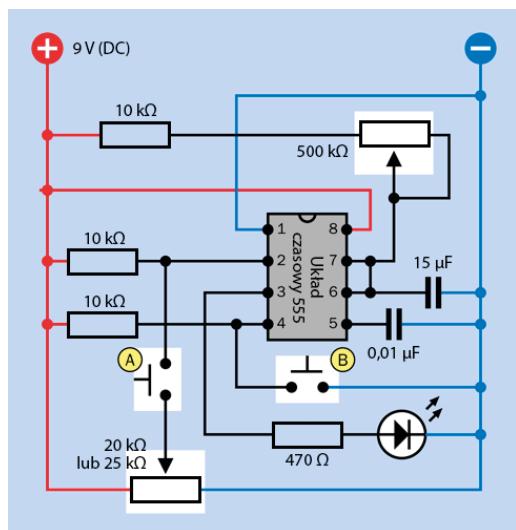
## Test monostabilny

Nazwy złączy zegarowego 555 pokazano na rysunku 4.10. Schematy tego typu informują Cię o **konfiguracji złączy** układu. Wyjaśnię później funkcję każdego z pinów, ale jak zwykle wolę, abyś określił je sam na drodze eksperymentów.



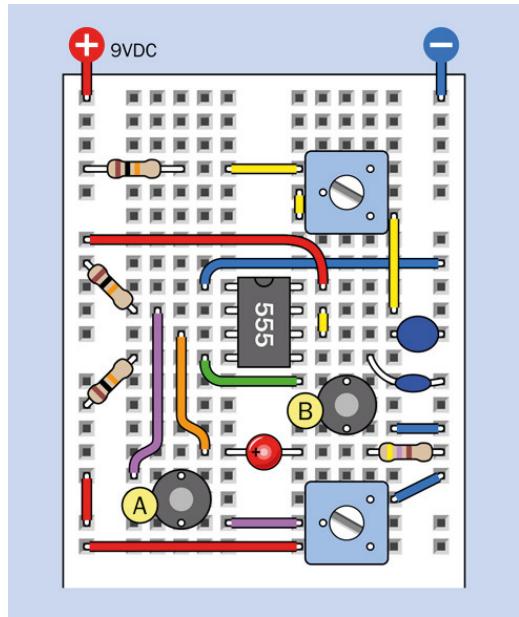
**Rysunek 4.10.** Konfiguracja złączy układu czasowego 555

Na rysunku 4.11 przedstawiono schemat obwodu przeznaczonego do testowania układu czasowego.



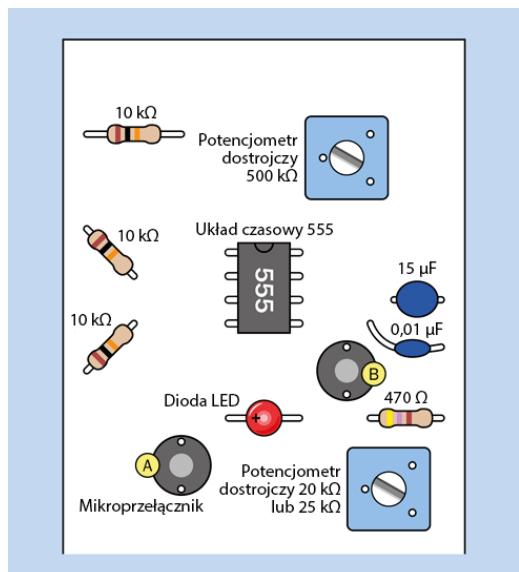
**Rysunek 4.11.** Obwód, który pomoże Ci odkryć funkcje złączy układu czasowego 555

Obwód możesz wykonać na płytce prototypowej, jak pokazano na rysunku 4.12. Zwróć uwagę na lewy dolny róg rysunku, w którym widoczny jest krótki czerwony przewód łączący górny i dolny segment szyny zasilającej. Przewód ten należy stosować na płytach prototypowych, których szyny zasilające są podzielone na kilka segmentów.

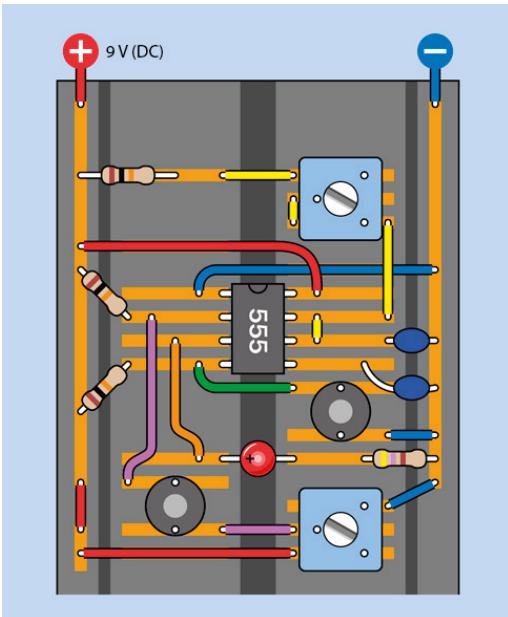


Rysunek 4.12. Schemat wykonawczy obwodu do testowania układu czasowego

Na rysunku 4.13 pokazano wartości charakteryzujące poszczególne komponenty, a na rysunku 4.14 pokazano przewodniki znajdujące się wewnętrznie płytka prototypowej wchodzące w skład obwodu.



Rysunek 4.13. Wartości charakterystyczne komponentów obwodu przeznaczonego do testowania układu zegarowego



Rysunek 4.14. Metalowe elementy znajdujące się wewnętrznie płytka prototypowej, łączące ze sobą komponenty obwodu

Podłącz obwód do prądu. Nic się nie dzieje. Układ czasowy czeka na włączenie. Uruchom go, ustawiając potencjometr 500 kΩ w środku zakresu pracy.

Teraz przestaw potencjometr 20 kΩ w skrajne położenie przeciwne do ruchu wskazówek zegara i wcisnij przycisk A. Jeżeli nic się nie dzieje, to obróć potencjometr dinstrojczy 20 kΩ w skrajne położenie zgodnie z ruchem wskazówek zegara i ponownie wcisnij przycisk A. Czynności te powinny doprowadzić do wygenerowania pulsacji diody LED. To, która czynność zadziała, zależy od sposobu, w jaki podłączyłeś potencjometr dinstrojczy do obwodu. Jeżeli nadal nie widzisz pulsacji diody LED, to znaczy, że popełniłeś błąd podczas pracy nad obwodem.

Spójrz na schemat. Pin numer 2 układu scalonego (wyzwalacz) jest podłączony do dodatniej szyny zasilającej za pośrednictwem rezystora 10 kΩ. Do tego pinu podłączony jest również fioletowy przewód, który łączy go z mikroprzelącznikiem i potencjometrem dinstrojczym. Jeżeli potencjometr dinstrojczy jest ustawiony w pozycji, w której jego ruchomy element jest połączony bezpośrednio ze

zbiorczą szyną masy, to rozwiążanie takie pozwala na dostarczenie niskiego napięcia do pinu numer 2 po wciśnięciu mikroprzełącznika. Powoduje to włączenie układu czasowego.

Jeżeli potencjometr dostrojczy  $20\text{ k}\Omega$  jest ustawiony w przeciwnym położeniu, to wciśnięcie przycisku A spowoduje dopływ dodatniego napięcia do pinu numer 2, ale nie spowoduje to zmiany trybu pracy obwodu, ponieważ dodatnie napięcie dopływa już do tego pinu przez rezystor  $10\text{ k}\Omega$ .

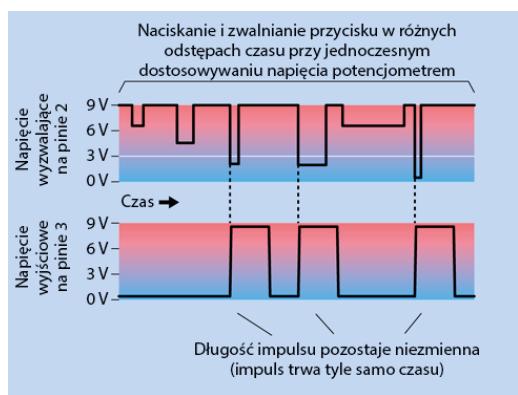
- Dodatnie napięcie na pinie wyzwalającym jest ignorowane przez układ scalony.
- Spadek napięcia na pinie wyzwalającym powoduje aktywację układu scalonego.

Jakie napięcie jest uznawane przez układ za dodatnie i jaki spadek napięcia uruchamia układ? Sprawdźmy to.

Włącz multymetr w tryb pomiaru napięcia prądu stałego i zmierz różnicę potencjałów pomiędzy pinem numer 2 i zbiorczą szyną masy podczas zmiany położenia potencjometru dostrojczego  $20\text{ k}\Omega$  i wciśnięcia przycisku A. Założę się, że gdy wciśniesz przycisk, a napięcie przyłożone do pinu numer 2 będzie niższe od  $3\text{ V}$ , dioda zacznie migotać. Powyżej  $3\text{ V}$  układ nie będzie pracował.

- Układ scalony jest wyzwalany po przyłożeniu odpowiedniego napięcia do pinu wyzwalacza. Napięcie to musi być równe jednej trzeciej napięcia zasilającego (potencjał ten może być mniejszy).
- Dioda LED będzie dalej świeciła po zwolnieniu przycisku.
- Przycisk możesz wciskać przez dowolną ilość czasu krótszą od cyklu czasu układu, a dioda LED będzie zawsze emitowała taką samą długość impulsów.

Na rysunku 4.15 pokazano w sposób graficzny pracę układu zegarowego 555. Zamienia on nieidealne sygnały wejściowe na idealny sygnał wyjściowy. Układ nie przełącza sygnału wyjściowego pomiędzy



Rysunek 4.15. Odpowiedź układu 555 na zmiany napięcia podawanego na pin wyzwalacza

stanem wysokim i niskim w sposób bezpośredni, ale robi to na tyle szybko, że przełączanie to *wygląda* na bezpośredni.

Teraz spróbuj włączyć układ czasowy, przestawiając potencjometr dostrojczy  $500\text{ k}\Omega$  w inne położenie. Zobaczysz, że w ten sposób regulujesz długość impulsu.

- Rezystancja pomiędzy pinem numer 7 i dodatnią szyną zasilającą określa czas trwania impulsu generowanego przez układ (za czas ten odpowiada również pojemność kondensatora podłączonego do pinu numer 6).

Teraz kolejna rzecz do wypróbowania. Ustaw potencjometr dostrojczy  $500\text{ k}\Omega$  tak, aby układ generował długie impulsy. Wciśnij przycisk A, a następnie szybko wciśnij przycisk B, co spowoduje przerwanie trwającego impulsu. Przytrzymuj przycisk B, próbując włączyć ponownie układ za pomocą przycisku A. Układ się nie włączy.

- Pin numer 4 resetuje układ. Po przyłożeniu do niego potencjału masy układ przerywa pracę i utrzymuje stan wstrzymania aż do odtaczenia potencjału masy od pinu numer 4.

Na koniec zwolnij przycisk B i przytrzymaj przycisk A. Spowoduje to wydłużenie impulsu generowanego przez układ aż do zwolnienia przycisku A.

- Utrzymywanie niskiego napięcia na pinie wyzwalającym będzie powodować **ponowne wyzwalanie** układu w nieskończoność.

Rezystory  $10\text{ k}\Omega$  podłączone do pinów numer 2 i 4 określamy mianem rezystorów **podciągających**, ponieważ utrzymują one dodatnie napięcie na tych pinach. Podłączenie tych pinów do masy w sposób bezpośredni zniweluje działanie rezystorów podciągających.

Koncepcja rezystora podciągającego jest ważna w kontekście pracy z układami scalonymi, ponieważ nie powinieneś dopuszczać do sytuacji, w której wejście układu scalonego nie jest podłączone do jakiegoś potencjału. Taki niepodłączony pin określany jest mianem wejścia **pływającego**. Taki stan może być kłopotliwy, ponieważ złącze niepodłączone do żadnego potencjału odbiera pola elektromagnetyczne znajdujące się w jego otoczeniu (potencjał na pinie jest nieustalony i zmienia się w sposób nieprzewidywalny).

Czy istnieje coś takiego jak rezistor ściągający? Oczywiście, że tak. Układ czasowy 555 wymaga stosowania rezystorów podciągających, ponieważ do pinów o numerach 2 i 4 standardowo kierowany jest prąd o dodatnim potencjale, a przyłożenie do nich ujemnego potencjału powoduje ich aktywację.

- Układ czasowy 555 jest aktywowany poprzez przyłożenie ujemnego potencjału do pinu numer 2 i uruchamiany ponownie po przyłożeniu ujemnego napięcia do pinu numer 4.

## Określanie czasu trwania impulsu

Jeżeli przyjrzyisz się schematowi przedstawionemu na rysunku 4.11, to zauważysz, że dodatni prąd dopływa do pinu numer 7 (rozładowanie), przechodząc przez rezistor  $10\text{ k}\Omega$  i potencjometr dostrojczy  $500\text{ k}\Omega$ . (Zastosowano rezistor  $10\text{ k}\Omega$ , ponieważ pin numer 7 nie powinien być podłączany bezpośrednio do dodatniej szyny zasilającej).

Możesz również zaobserwować, że prąd po upłynięciu przez potencjometr dostrojczy  $500\text{ k}\Omega$  dopływa do kondensatora  $15\text{ }\mu\text{F}$ . Połączenie rezystora

i kondensatora? Czy nie przypomina to układu RC? Czy czas trwania impulsu zależy od oporu stawianego przez rezistor i pojemności kondensatora?

Tak! Wewnątrz układu scalonego znajduje się element mierzący napięcie kondensatora  $15\text{ }\mu\text{F}$ . Na podstawie tej wielkości określany jest czas, po upłynięciu którego impuls powinien być przerwany.

Możesz sprawdzić to sam za pomocą miernika. Ustaw potencjometr  $500\text{ k}\Omega$  tak, aby układ generował długie impulsy, a następnie za pomocą miernika zmierz napięcie po lewej stronie kondensatora  $15\text{ }\mu\text{F}$ . Powinno ono rosnąć aż do osiągnięcia poziomu około 6 V. Po osiągnięciu tego napięcia układ przerwia generowanie impulsu i napięcie szybko maleje, ponieważ układ scalony łączy kondensator z masą. W związku z tym pin numer 7 określa się mianem pinu rozładowania (złącze to służy do rozładowania kondensatora przez układ zegarowy).

- Gdy napięcie kondensatora podłączonego do pinu numer 7 osiągnie wartość równą dwóm trzecim napięcia zasilającego, układ zegarowy kończy generowanie impulsu.

Dlaczego pin rozładowania jest powiązany z pinem progu zadziałania? Odpowiedź na to pytanie poznasz, pracując nad kolejnym eksperymentem. W eksperymencie tym układ zegarowy zostanie podłączony tak, aby generował serię impulsów. Teraz korzystaliśmy z układu pracującego w trybie **astabilnym**. W kolejnym eksperymencie będzie on pracował w trybie **monostabilnym**.

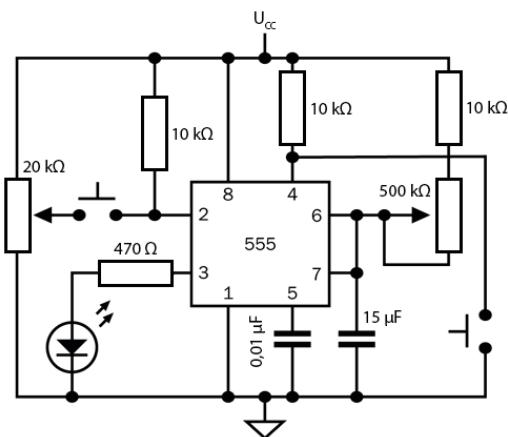
- Układ uruchomiony w trybie monostabilnym emisuje pojedynczy impuls.
- Układ pracujący w trybie astabilnym dostarcza nieprzerwany ciąg impulsów.

Możesz się jeszcze zastanawiać, w jakim celu do pinu numer 5 podłączono kondensator  $0,01\text{ }\mu\text{F}$ . Jest to tzw. pin kontrolny — sterując przyłożonym do niego napięciem, sterujesz czułością układu czasowego. Nie korzystamy jeszcze z tej funkcji. Dobrą praktyką jest zabezpieczanie tego pinu przed zmianami napięcia za pomocą kondensatora.

## **UWAGA: Unikaj zmiany kolejności pinów na schematach!**

Na wszystkich schematach w tej książce będę rysował układy scalone tak, jak należy je montować na płytach prototypowych z pinami ułożonymi w kolejności rosnącej.

Na schematach, które zobaczysz w sieci lub w książkach innych autorów, możesz spotkać się z odmienną praktyką. Dla wygody układy scalone będą rysowane z poprzestawianymi numerami pinów. Ponadto autorzy schematów często nie próbują naśladować ułożenia komponentów na płytce prototypowej. Przyjrzyj się schematowi na rysunku 4.16 i porównaj go ze schematem na rysunku 4.11. Połączenia są takie same, ale schemat z rysunku 4.16 grupuje piny, aby zredukować domniemany stopień skomplikowania połączeń.



**Rysunek 4.16.** Pokazany tutaj schemat odpowiada temu przedstawionemu na rysunku 4.11 ale kolejność pinów układu scalonego została zmieniona w celu uproszczenia schematu

Przestawianie pinów może umożliwić stworzenie łatwiejszego do zrozumienia schematu (zwłaszcza po umieszczeniu dodatniego bieguna źródła prądu u góry i ujemnego bieguna u dołu), ale wykonując taki obwód w praktyce, należy wcześniej dokonać konwersji takiego schematu za pomocą kartki i długopisu.

## **PODSTAWY: Czas trwania impulsu**

Tworząc własny układ RC w eksperymencie numer 9, musiatek wykonać skomplikowane obliczenia w celu określenia czasu naładowania kondensatora do określonego napięcia. W trakcie pracy z układem czasowym 555 wszystko jest o wiele prostsze. Wystarczy znaleźć czas trwania impulsu w tabeli 4.1. W górnym rzędzie tabeli znajdziesz rezystancję, którą należy włączyć pomiędzy pin numer 7 i dodatnią szynę zasilającą, a po lewej stronie tabeli znajdziesz pojemność kondensatora. Pozostałe wartości podane w tabeli są przybliżonym czasem trwania impulsu wyrażonym w sekundach.

- Nie należy korzystać z rezystorów charakteryzujących się oporem mniejszym od  $1\text{ k}\Omega$ .
  - Nie należy korzystać z rezystorów charakteryzujących się oporem większym od  $10\text{ k}\Omega$ , ponieważ zwiększą one pobór prądu.
  - Kondensatory o pojemności wyższej od  $100\text{ }\mu\text{F}$  mogą wywoływać niedokładne efekty pracy, ponieważ upływ prądu w takich kondensatorach jest porównywalny z tempem ładowania.

A jeżeli chcesz uzyskać czas dłuższy od 1100 sekund lub krótszy od 0,01 sekundy? Lub jeżeli chcesz uzyskać czas pomiędzy wartościami umieszczoneymi w tabeli?

Aby wyznaczyć inny czas trwania impulsu, pomnóż rezystancję (wyrażoną w **kiloomach**) przez pojemność (wyrażoną w **mikrofaradach**) i przez wartość 0,0011. Wynik będzie czasem trwania impulsu wyrażonym w sekundach.

$$T = R \times C \times 0,0011$$

Pamiętaj o tym, że uzyskane wartości mogą być niedokładne, ponieważ rezystory i kondensatory nie są idealne, a na ich pracę wpływa również temperatura otoczenia.

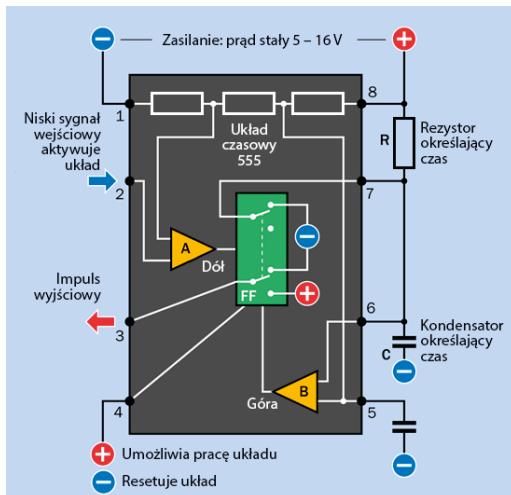
**Tabela 4.1.** Długość trwania impulsu wyrażona w sekundach w zależności od pojemności kondensatora i oporu stawianego przez rezystor; czas został zaokrąglony do dwóch miejsc po przecinku

	10 kΩ	22 kΩ	47 kΩ	100 kΩ	220 kΩ	470 kΩ	1 MΩ
<b>1000 µF</b>	11	24	52	110	240	520	1100
<b>470 µF</b>	5,2	11	24	52	110	240	520
<b>220 µF</b>	2,4	5,2	11	24	52	110	240
<b>100 µF</b>	1,1	2,4	5,2	11	24	52	110
<b>47 µF</b>	0,52	1,1	2,4	5,2	11	24	52
<b>22 µF</b>	0,24	0,53	1,1	2,4	5,3	11	24
<b>10 µF</b>	0,11	0,24	0,53	1,1	2,4	5,2	11
<b>4,7 µF</b>	0,052	0,11	0,24	0,52	1,1	2,4	5,2
<b>2,2 µF</b>	0,024	0,052	0,11	0,24	0,53	1,1	2,4
<b>1,0 µF</b>	0,011	0,024	0,052	0,11	0,24	0,52	1,1
<b>0,47 µF</b>		0,011	0,024	0,052	0,11	0,24	0,52
<b>0,22 µF</b>			0,011	0,024	0,052	0,11	0,24
<b>0,1 µF</b>				0,011	0,024	0,052	0,11
<b>0,047 µF</b>					0,011	0,024	0,052
<b>0,022 µF</b>						0,011	0,024
<b>0,01 µF</b>							0,011

## TEORIA: Wewnętrz układow czasowego 555 (tryb monostabilny)

Plastikowa obudowa układu 555 zawiera płytę półprzewodnikową, na której znajdują się dziesiątki połączeń tranzystorowych ułożonych według wzoru, który jest zbyt skomplikowany, aby go tutaj wyjaśniać. Niemniej jednak jestem w stanie wyjaśnić funkcję tych tranzystorów przez podzielenie ich na grupy zgodnie z rysunkiem 4.17.

Symbole zasilania dodatniego i ujemnego wewnętrz kości są w rzeczywistości tym samym źródłem zasilania, które podpięte zostało do nóżek, odpowiednio, 1 i 8. Dla przejrzystości pominąłem wewnętrzne połączenia pomiędzy tymi pinami.



**Rysunek 4.17.** Uproszczony schemat pracy układu czasowego 555 w trybie monostabilnym

Dwa żółte trójkąty to **komparatory**. Każdy z nich porównuje stan dwóch wejść (u podstawy trójkąta) i zwraca wynik (u szczytu trójkąta) zależny od tego, czy wejścia mają stan podobny czy też różny. Zielony prostokąt oznaczony literami FF jest **przerzutnikiem** (ang. *flip-flop*). Przedstawiłem go w formie przełącznika DPDT, ponieważ tutaj wykonuje właśnie taką funkcję, chociaż w rzeczywistości nie posiada oczywiście żadnych ruchomych części.

W pierwszej chwili po zasileniu kości przerzutnik jest w pozycji „górnego”, która powoduje dostarczanie niskiego napięcia przez pin wyjściowy numer 3. Jeśli przerzutnik otrzyma sygnał z komparatora A, przejdzie do pozycji „dolnej” i pozostanie w niej. Kiedy otrzyma sygnał z komparatora B, przeskoczy z powrotem do stanu „górnego” i pozostanie tam. Określenia „górnego” i „dolnego” w odniesieniu do komparatorów pomogą Ci zapamiętać, co robi każdy z nich po swojej aktywacji. Okreście „przerzutnik” powstało w nawiązaniu do sposobu pracy tego komponentu.

Zwróć uwagę na zewnętrzny przewód łączący pin siódmy z kondensatorem C. Dopóki przerzutnik znajduje się w pozycji „górnego”, drena napięcie pochodzące z rezystora R i uniemożliwia naładowanie kondensatora.

Jeżeli napięcie na pinie numer 2 spadnie do jednej trzeciej napięcia zasilania, fakt ten zostanie wykryty przez komparator A i przekształcony w dodatni impuls na pinie numer 3. Jednocześnie pin numer 7 zostanie odcięty od ujemnego zasilania i kondensator zacznie ładować się poprzez rezystor. W tym czasie kontynuowany będzie dodatni impuls.

Wzrost napięcia na kondensatorze jest monitorowany przez komparator B poprzez pin numer 6, określany mianem pinu progu zadziałania. Kiedy ładunek na kondensatorze przekroczy dwie trzecie napięcia zasilania, komparator B wysyła impuls do przerzutnika, powodując jego przełączenie do stanu pierwotnego (górnnej pozycji). To powoduje rozładowanie kondensatora przez pin numer 7, nazywany pinem rozładowania. Ponadto przerzutnik kończy dodatni stan zasilania na pinie numer 3 i następuje

go zasilaniem ujemnym. W ten sposób układ 555 wraca do swojego oryginalnego stanu.

Podsumuję tą sekwencję wydarzeń bardzo prosto:

- Początkowo przerzutnik uziemia do masy kondensator i wyjście (pin 3).
- Spadek napięcia na pinie numer 2 do jednej trzeciej napięcia zasilania lub jeszcze niżej zmienia stan wyjścia (pin 3) na wysoki potencjał i umożliwia rozpoczęcie ładowania kondensatora C przez rezystor R.
- Kiedy kondensator osiągnie dwie trzecie napięcia zasilania, układ rozładowuje go, a wyjście na pinie trzecim wraca do stanu niskiego.

## TEORIA: Tłumienie impulsu

Po podłączeniu impulsu do układu działającego w trybie stabilnym najprawdopodobniej dojdzie do wygenerowania przez układ jednego impulsu przed rozpoczęciem oczekiwania na wyzwolenie kolejnego impulsu. W wielu aplikacjach może być to kłopotliwe.

Problem ten można rozwiązać np. poprzez umieszczenie kondensatora  $1 \mu\text{F}$  pomiędzy pinem wyzerowania i szyną masy. Kondensator pobiera prąd z pinu wyzerowania na samym początku pracy układu, utrzymując niski potencjał na tym pinie przez ułamek sekundy. Czas ten wystarcza, aby powstrzymać układ przed wyemitowaniem pierwszego impulsu. Naładowany kondensator nie będzie służył do niczego innego, rezystor  $10 \text{ k}\Omega$  będzie utrzymywał dodatni potencjał na złączu wyzerowania, a więc kondensator nie wpływa na pracę układu.

Koncepcję tę zastosuję w kolejnym eksperymencie.

## PODSTAWY: Na czym polega użyteczność układu 555

W swoim stanie monostabilnym (który właśnie widziałeś) układ 555 generuje pojedynczy impuls o ustalonej (ale programowalnej) długości. Czy potrafisz sobie wyobrazić, jak można wykorzystać takie

działanie? Założ, że impuls z 555 będzie kontrolował inny komponent — być może czujnik ruchu oświetlenia drzwi frontowych. Kiedy działający w podczerwieni detektor ruchu „zobaczy” coś ruchomego, zapala światło na ustalony przedział czasu. Kontrolę nad tym czasem może sprawować układ 555.

Innym zastosowaniem mógłby być toster. Dźwignia opuszczająca tosty do środka zamyka obwód rozpoczętym cyklem podgrzewania. Do zmiany czasu trwania cyklu mógłbyś użyć potencjometru w miejscu rezystora R4, umieszczając go gdzieś w zewnętrznej obudowie, jako pokrętło ustawiające stopień przypieczęcenia tostów. Pod koniec cyklu tostowania wyjście z układu 555 zostałooby przepuszczone przez tranzystor mocy, aby aktywować solenoid (przypominający przekaźnik, ale bez kontaktów) odpowiedzialny za podniesienie tostów do góry.

Przerywany cykl pracy wycieraczek samochodowych mógłby być kontrolowany przez układ 555 — we wczesnych modelach samochodów faktycznie tak było. W prostych klawiaturach komputerowych układ ten mógłby odpowiadać za tempo powtarzania wcisnięcia klawiszy — takie rozwiązanie zastosowano w komputerze Apple II.

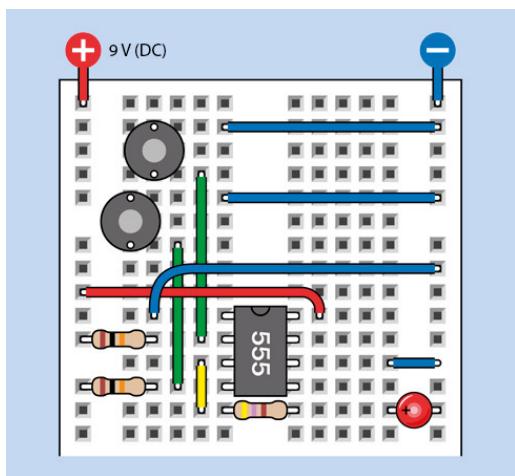
A co z alarmem antywłamaniowym opisany w eksperymencie numer 15? Jedną z założonych funkcji było oczekiwanie na wyłączenie alarmu przez użytkownika przed uruchomieniem syreny. Do realizacji tej funkcji możemy wykorzystać zmianę stanu wyjściowego układu 555.

Eksperyment, który właśnie wykonałeś, wydaje się być trywialny, ale dzięki niemu przedstawiona została cała rzesza możliwych zastosowań.

## PODSTAWY: Tryb bistabilny

Układ czasowy może pracować również w innym trybie — trybie bistabilnym. W trybie tym zmieniają się charakterystyki pracy układu. Do czego przydaje się ten tryb? Za chwilę to wyjaśnię.

Na rysunku 4.18 pokazano prosty obwód, który możesz połączyć w ciągu kilku minut. Zrób to. Po



Rysunek 4.18. Schemat wykonawczy obwodu, w którym układ czasowy 555 będzie działał jak przerutnik

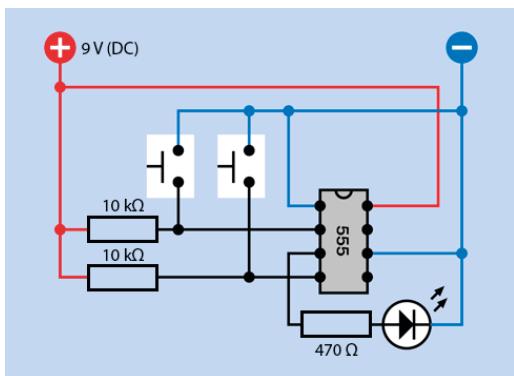
lewej stronie schematu widoczne są dwa rezystory podciągające. Każdy z nich charakteryzuje się rezystancją 10 kΩ. W dolnej części schematu umieszczono rezistor 470 Ω zabezpieczający diodę LED. Poza tymi komponentami wystarczy zainstalować dwa mikroprzelączniki i układ czasowy 555.

Po wykonaniu obwodu wciśnij i zwolnij górny przycisk. Spowoduje to włączenie diody LED. Jak długo będzie ona świecić? Dopóki obwód będzie podłączony do prądu. Sygnał wyjściowy generowany przez układ nigdy nie ulegnie zmianie.

Teraz wciśnij i zwolnij dolny przycisk. Dioda LED zgaśnie. Na jak długo? Na tak dugo, jak zechcesz. Dioda będzie włączona, dopóki nie wciśniesz ponownie górnego przycisku.

Pisałem wcześniej o tym, że wewnątrz układu czasowego znajduje się przerutnik. W zaprezentowanym obwodzie układ 555 działa jak jeden duży przerutnik. Po połączeniu pinu numer 2 z masą przerutnik działa w stanie „włączony”. Po połączeniu pinu numer 4 z masą przerutnik działa w stanie „wyłączony”. Przerutniki są ważnymi komponentami obwodów cyfrowych, co wyjaśnię nieco później. Do czego przydaje się układ czasowy pracujący w tym trybie?

Przyjrzyj się schematowi przedstawionemu na rysunku 4.19. Po prawej stronie nie znajdziesz rezystora ani kondensatora. Na schemacie brakuje więc układu RC — czip 555 został pozbawiony komponentów określających czas! Układ zegarowy w normalnych warunkach pracy przerywa generowany impuls, gdy do pinu numer 6 zostanie przyłożone napięcie równe dwóm trzecim napięcia zasilającego. Teraz pin numer 6 jest połączony z masą, a więc przyłożony do niego potencjał nigdy nie osiągnie tej wartości, zatem proces generowania impulsu będzie trwał w nieskończoność.



Rysunek 4.19. Obwód przeznaczony do testowania pracy układu czasowego 555 pracującego w trybie bistabilnym

Oczywiście generowanie sygnału wyjściowego może zostać przerwane poprzez przyłożenie niskiego potencjału do pinu wyzerowania, ale generowanie sygnału nie zostanie wznowione aż do kolejnego aktywowania układu.

Taki tryb pracy określamy mianem trybu bistabilnego, ponieważ stan sygnału wyjściowego generowanego przez układ nie ulega zmianie (jest on wysoki lub niski i się nie zmienia). Prosty przerzutnik tego typu może być określony mianem **zatrasku**.

- Ujemny impuls skierowany do pinu numer 2 włącza sygnał wyjściowy o potencjał dodatnim. Sygnał ten jest stały.
- Ujemny impuls skierowany do pinu numer 4 włącza sygnał wyjściowy o potencjał ujemnym. Sygnał ten jest stały.

Piny numer 2 i 4 muszą być połączone z dodatnim potencjałem, gdy nie przełączasz sygnału wyjściowego. Zastosowano do tego rezystory podciągające widoczne na schemacie.

Generujemy ekstremalne stany sygnału wyjściowego, a więc pin numer 5 może pozostać niepodłączony — stany nieustalone odbierane przez to złącze będą ignorowane przez układ.

Do czego może się przydać układ zegarowy pracujący w tym trybie? Tryb ten przydaje się w zadziwiająco dużej liczbie aplikacji. W tej książce będziemy korzystać z niego w trzech eksperymentach. Tak naprawdę układ 555 nie był produkowany z myślą o pracy w trybie bistabilnym, ale czasami takie rozwiązanie jest bardzo praktyczne.

## TEORIA: Jak powstał układ czasowy

W latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku, kiedy przemysł półprzewodnikowy dopiero kiełkował w Dolinie Krzemowej, mała firma o nazwie Signetics kupiła pomysł inżyniera Hansa Camenzinda (patrz rysunek 4.20). Była to przełomowa koncepcja — zaledwie 23 tranzystory i kilka rezystorów funkcjonujących jako programowalny układ czasowy. Układ był wszechstronny, stabilny i prosty, ale te cechy były jedynie dodatkiem do głównej cechy marketinguowej — użycia rozwijającej się technologii układów



Rysunek 4.20. Hans Camenzind, wynalazca i projektant układu czasowego 555, stworzonego dla firmy Signetics

scalonych, dzięki której Signetics mógł reprodukować cały układ na płytce krzemowej.

Powstanie układu było efektem prób i błędów. Camenzind pracował samodzielnie, początkowo budując urządzenie w dużej skali na płytce prototypowej przy użyciu dostępnych na rynku tranzystorów, rezystorów i diod. Kiedy całość zadziałała, zaczął ją modyfikować, podstawiając nieco zmienione wartości komponentów, aby przekonać się, czy obwód będzie tolerował odchylenia powstające w procesie produkcji, a także inne czynniki, takie jak zmiany temperatury wynikające z nagrzewania się kości w czasie pracy. Wykonał minimum 10 różnych wersji układu, a praca zajęła mu kilka miesięcy.

Następnie przyszła pora na prace rzeźbiarskie. Camenzind zasiadł przy swojej desce projektowej i używając specjalnie przystosowanego noża firmy X-Acto, wyrzeźbił swój obwód w dużym kawałku plastiku. Signetics zmniejszył ten obraz metodami fotograficznymi w stosunku 300 do 1. Tak powstały wzór zaczęto przenosić na półprzewodnikowe płytki, które następnie osadzano w półkalowej plastikowej obudowie z nadrukowanym na górze numerem części. W ten sposób narodził się układ czasowy 555.

Układ czasowy 555 okazał się jedną z najbardziej udanych kości w całej historii układów scalonych, zarówno pod względem liczby sprzedanych sztuk (dziesiątki miliardów), jak i długowieczności samego projektu (bez zmian od niemal czterdziestu lat). Układ 555 był używany we wszystkim, poczynając od zabawek po pojazdy kosmiczne. Jest w stanie migać światłami, aktywować układy alarmowe, wstawiać przerwy pomiędzy sygnały dźwiękowe, a także tworzyć te sygnały.

Dzisiaj układy scalone projektowane są przez duże zespoły ludzi, a ich działanie testuje się przy użyciu specjalnych programów komputerowych. Inaczej mówiąc, układy scalone w komputerach umożliwiają projektowanie jeszcze większej liczby takich urządzeń. Czasy samodzielnych projektantów, takich jak Hans Camenzind, dawno odeszły w niepamięć, ale ich geniusz jest nadal widoczny wewnątrz każdego

układu scalonego 555, który schodzi z taśm produkcyjnych. (Jeżeli chciałbyś dowiedzieć się czegoś więcej o historii układów scalonych, zatrzymaj się na „Muzeum Tranzystora”: [http://semiconductormuseum.com/Museum\\_Index.htm](http://semiconductormuseum.com/Museum_Index.htm)).

Uwaga osobista: pisząc pierwsze wydanie tej książki, szukałem informacji o twórcy układu czasowego 555 w internecie i znalazłem prowadzoną przez niego witrynę internetową, na której zamieszczony był jego numer telefonu. Pod wpływem impulsu zadzwoniłem do niego. To było dość dziwne uczucie. Rozmawiałem z twórcą kości, z której korzystałem przez ponad 30 lat. Hans Camenzind był uprzejmy (choć bardzo oszczędny w tym, co mówić) i od razu zgodził się zrecenzować moją książkę. Przychylna ocena książki była dla mnie bardzo miłym zaskoczeniem. Nadała ona książce rozgłos.

Ostatnio kupiłem napisaną przez Camenzinda krótką historię elektroniki zatytułowaną *Much Ado About Almost Nothing*. Polecam Ci lekturę tej książki. Rozmowa z twórcą jednego z pierwszych układów scalonych była dla mnie zaszczytem. Byłem bardzo poruszony wiadomością o tym, że Camenzind zmarł w 2012 roku.

## PODSTAWY: Specyfikacja układu czasowego 555

- Układ może pracować przy zasilaniu stabilnym napięciem z zakresu od 5 do 16 V. Maksymalnym dopuszczalnym napięciem jest 18 V. Charakterystyki komponentu podane w wielu notach katalogowych są mierzone przy napięciu 15 V. Napięcie to nie musi być stabilizowane za pomocą regulatora napięcia.
- Większość producentów zaleca stosowanie na pinie numer 7 rezystora o wartości od 1 k $\Omega$  do 1 M $\Omega$ , ale zastosowanie rezystancji niższej od 10 k $\Omega$  spowoduje znaczny wzrost poboru prądu. Zamiast stosować niższe rezystancje lepiej jest skorzystać z kondensatora o niższej pojemności.

- Jeśli potrzebujesz długiego czasu trwania impulsu, możesz użyć dowolnie dużej wartości kondensatora, ale precyzaja układu ulegnie pogorszeniu, ponieważ prąd upływu kondensatora będzie zbliżony do prądu ładowania.
- Układ czasowy wywołuje spadek napięcia większy od spadku wywoływanego przez tranzystor lub diodę. Różnica potencjałów pomiędzy napięciem zasilającym, a napięciem sygnału wyjściowego może wynosić ponad 1 V.
- Przez wyjście układu może teoretycznie płynąć prąd o natężeniu 200 mA, ale przepływ prądu o natężeniu większym od 100 mA spowoduje spadek napięcia i może negatywnie wpływać na dokładność pracy układu.

---

## **UWAGA: Nie wszystkie układy czasowe są identyczne**

Wszystko, co napisałem, dotyczy starej, oryginalnej wersji układu 555 — wersji wykonanej w technologii TTL. Układ TTL to **układ logiczny tranzystorowo-tranzystorowy**. Układy te zostały wyparte przez technologię CMOS, która charakteryzuje się mniejszym poborem prądu. Wersja układu 555 wykonana w technologii TTL określana jest również mianem wersji bipolarnej, ponieważ zawiera **tranzystor bipolarny**.

Zaletą oryginalnego układu 555 jest jego cena i wytrzymałość. Naprawdę trudno go uszkodzić, a jego wyjście jest w stanie dostarczyć prąd o mocy wystarczającej do sterowania pracą cewki przekaźnika lub małego głośnika. Niestety układ ten nie jest wydajny i generuje skoki napięcia, które czasami mogą zakłócać pracę innych układów scalonych.

W celu rozwiązywania tych wad powstała nowsza wersja tego układu — zastosowano w niej tranzystory CMOS, które pobierają mniej prądu. Taka wersja układu czasowego 555 nie wywołuje skoków napięcia. Niestety przez wyjście tej wersji układu 555 może płynąć prąd o niższym natężeniu. Jak bardzo niższym? Zależy to od producenta.

Niestety układy 555 typu CMOS nie są standaryzowane. Przez wyjścia niektórych modeli może płynąć prąd 100 mA, a przez wyjścia innych tylko 10 mA.

Układy typu CMOS są oznaczane w różny sposób, co jest kłopotliwe. Czip 7555 jest z pewnością układem typu CMOS, ale istnieją czipy, których oznaczenia zawierają różne zbiory liter przed liczbą 555. Musisz samodzielnie określić różnicę pomiędzy takimi układami.

Aby książka była bardziej przejrzysta, korzystam tylko z układu 555 typu TTL (wersji bipolarnej). Jeżeli samodzielnie kompletujesz niezbędne komponenty, to zajrzyj do podrozdziału „Pozostałe komponenty” (patrz rozdział 6.) i znajdź w nim sekcję „Zakupy: Rozdział 4.”. Znajdziesz tam więcej informacji na temat zakupu układów scalonych.

---

## **Eksperyment 17: Ustawianie wysokości tonu**

Poznałeś już działanie układu czasowego 555 w trybie monostabilnym i bistabilnym. Czas, abyś dowiedział się, jak układ ten działa w trybie **astabilnym** (stan sygnału wyjściowego jest stale przełączany pomiędzy stanami wysokim i niskim).

Układ w tym trybie pracuje podobnie do tranzystorowego oscylatora opisanego w eksperymencie numer 11, ale jest o wiele bardziej wszechstronny i łatwiejszy do kontrolowania. Zamiast za pomocą dwóch tranzystorów, czterech rezystorów i dwóch kondensatorów oscylację wywołasz za pomocą jednego układu scalonego, dwóch rezystorów i jednego kondensatora.

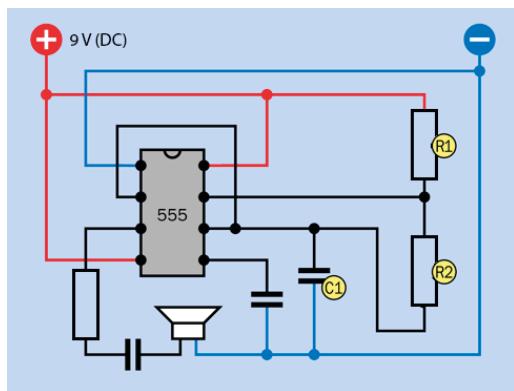
### **Potrzebne będą:**

- płytka prototypowa, drut połączeniowy, szczypce do cięcia drutu, przyrząd do demontażu izolacji i multimeter,
- źródło prądu o napięciu 9 V (bateria lub zasilacz),
- układy czasowe 555, liczba: 4,

- miniaturowy głośnik, liczba: 1,
  - rezystory:  $47\ \Omega$  (liczba: 1),  $470\ \Omega$  (liczba: 4),  $1\ k\Omega$  (liczba: 2),  $10\ k\Omega$  (liczba: 12),  $100\ k\Omega$  (liczba: 1),
  - kondensatory:  $0,01\ \mu F$  (liczba: 8),  $0,022\ \mu F$  (liczba: 1),  $0,1\ \mu F$  (liczba: 1),  $1\ \mu F$  (liczba: 3),  $3,3\ \mu F$  (liczba: 1),  $10\ \mu F$  (liczba: 4),  $100\ \mu F$  (liczba: 2),
  - dioda 1N4148, liczba: 1,
  - potencjometr dostrojczy  $100\ k\Omega$ , liczba: 1.
  - mikroprzełącznik, liczba: 1,
  - standardowe diody LED, liczba: 4.

# Test astabilny

Obwód, w którym układ czasowy pracuje w trybie astabilnym, pokazano na rysunku 4.21. Do wyjścia podłączyłem głośnik, ponieważ układ będzie działał z częstotliwością fal akustycznej. W celu ograniczenia prądu głośnik został podłączony za pomocą rezystora, a kondensator sprzągający przepuszcza sygnał o częstotliwości audio, blokując jednocześnie przepływ prądu stałego. Na kolejnym schemacie znajdziesz wartości charakteryzujące komponenty. Na razie chcę, abyś po prostu przyjrzał się temu obwodowi.



**Rysunek 4.21.** Schemat podstawowego obwodu, w którym układ czasowy 555 działa w trybie astabilnym

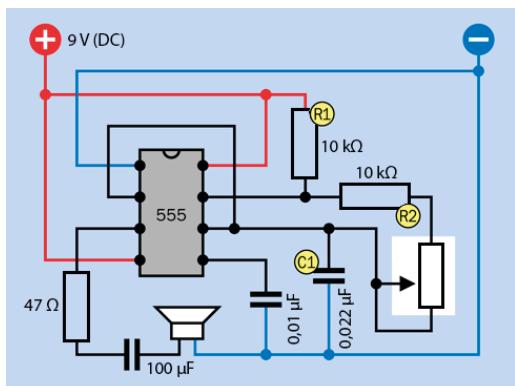
Szybkość pracy układu zależy od komponentów R1, R2 i C1. Komponenty te są oznaczane etykietami

tego typu we wszystkich notach katalogowych, a więc przyjmuję tę konwencję również w tej książce.

Kondensator C1 pełni tę samą funkcję co kondensator w obwodzie monostabilnym przedstawionym na rysunku 4.11. Za chwilę wyjaśnię zastosowanie dwóch rezystorów, a nie tylko jednego.

Spróbuj odgadnąć sposób pracy obwodu, korzystając z wiedzy, którą zdobyłeś, pracując nad eksperymentem numer 16. Pierwszą rzeczą, którą możesz zauważyc, jest brak sygnału wejściowego. Pin numer 2 (wyzwalacz) jest połączony z pinem numer 6 (progiem zadziałania). Co takie rozwiązanie ma na celu? Kondensator C1 będzie ładowany tak, jak to miało miejsce w trybie monostabilnym. Gdy osiągnie on napięcie równe napięciu zasilającego, dojdzie do jego rozładowania przez rezystor R2 i pin numer 7 (napięcie kondensatora spadnie). Połączenie z pinem numer 2 sprawi, że pin wyzwalający wykryje spadek napięcia na kondensatorze C1. Co się dzieje, gdy dojdzie do nagłego spadku napięcia pinu wyzwalającego? Układ zegarowy jest aktywowany. W związku z tym układ zegarowy będzie aktywował sam siebie.

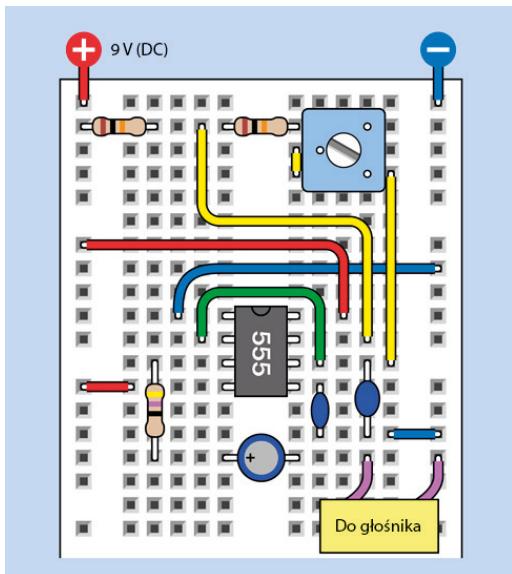
Jak szybko będzie do tego dochodzić? Zbuduj obwód testowy i odpowiedz na to pytanie sam. Na rysunku 4.22 podałem sugerowane wartości charakteryzujące komponenty i dodam do obwodu potencjometr dastrojczy. Wpływ zmiany rezystancji na pracę obwodu zobaczysz, a raczej usłyszysz



**Rysunek 4.22.** Obwód testowy pozwalający na regulowanie układu czasowego pracującego w trybie astabilnym

w praktyce. Potencjometr dostrojczy oraz rezystor  $10\text{ k}\Omega$  zwiększą rezystancję R2. Kondensator czasujący C1 ma pojemność  $0,022\text{ }\mu\text{F}$ , a rezystor R1 charakteryzuje się rezystancją  $10\text{ k}\Omega$ .

Na rysunku 4.23 pokazano schemat wykonawczy tego obwodu, a na rysunku 4.24 pokazano wartości charakteryzujące komponenty.

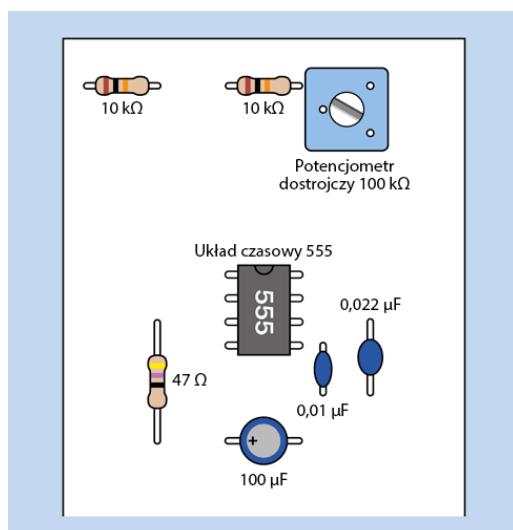


Rysunek 4.23. Schemat wykonawczy obwodu przeznaczonego do testowania układu czasowego pracującego w trybie astabilnym

Co się stanie, gdy obwód podłączysz do prądu? Z głośnika powinien zacząć dobiegać hałas. Jeżeli niczego nie słyszysz, to z pewnością popełniłeś błąd podczas łączenia komponentów.

Zauważ, że nie musisz już aktywować układu za pomocą przycisku. Układ 555 — zgodnie z przewidywaniami — włączył się sam.

Obracając śrubę potencjometru dostrojczego, możesz zmieniać częstotliwość generowanego dźwięku. Potencjometr ten określa czas ładowania i rozładowywania kondensatora C1, co określa długość wysokiego poziomu sygnału w stosunku do kolejnego cyklu generowania sygnału niskiego. Komponenty wchodzące w skład obwodu pozwalają na regulację liczby zmian poziomu generowanego



Rysunek 4.24. Wartości charakterystyczne dla komponentów obwodu przeznaczonego do testowania układu czasowego pracującego w trybie astabilnym

sygnału w zakresie od 300 do 1200 zmian na sekundę. Impulsy generowane z tą częstotliwością są kierowane do głośnika. Impulsy poruszają jego membraną. Poruszająca się membrana tworzy fale dźwiękowe rozchodzące się w powietrzu i docierające do Twojego ucha.

## TEORIA: Częstotliwość sygnału wyjściowego

**Częstotliwość** dźwięku jest równa liczbie pełnych cykli w ciągu sekundy. Cykl tworzy fala wysokiego ciśnienia i znajdująca się za nią fala niskiego ciśnienia.

Częstotliwość wyrażamy w **hercach** (Hz). Jest to jednostka określająca liczbę cykli na sekundę. Jednostkę tę wprowadzono w Europie. Jej nazwa pochodzi od nazwiska kolejnego pioniera elektryczności — Heinricha Hertza. Wykonany przez nas obwód testowy generuje sygnał o częstotliwości od 300 Hz do 1200 Hz.

Tak jak jest w przypadku większości standardowych jednostek, możemy do herca dodać przyrostek *k* oznaczający „kilo”, a więc 1200 Hz zwykle zapisuje się jako 1,2 kHz.

Jak pojemność kondensatora czasującego i rezystancja rezystora wpływają na częstotliwość generowanego sygnału? Jeżeli rezystancję R1 i R2 wyrazimy w *kiloomach*, a pojemność C1 w *mikrofaradach*, to częstotliwość f wyrażoną w hercach możemy obliczyć za pomocą następującego wzoru:

$$f = 1440 / ((2 \times R2) + R1) \times C1$$

Wykonywanie obliczeń jest czasochłonne, a więc postanowiłem przedstawić Ci tabelę zawierającą gotowe wyniki (patrz tabela 4.2). W tabeli tej **zakładam, że rezistor R1 stawia opór 10 kΩ**. Wartości

**Tabela 4.2.** Częstotliwość pracy układu czasowego w trybie astabilnym. Wartości podane w pierwszym wierszu tabeli odnoszą się do rezystora R2 przy założeniu, że rezistor R1 stawia opór 10 kΩ; częstotliwości przedstawione w tabeli są wyrażone w hercach (Hz)

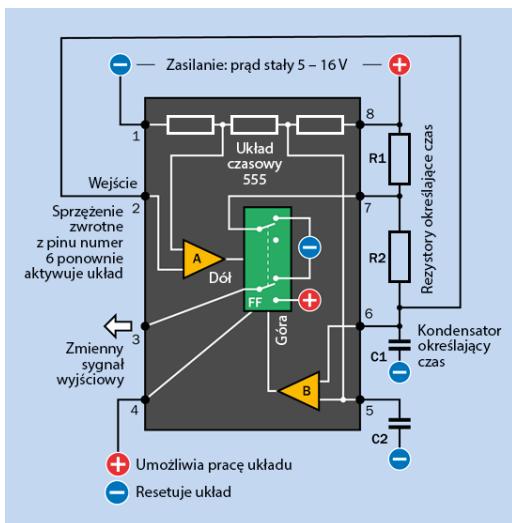
	<b>10 kΩ</b>	<b>22 kΩ</b>	<b>47 kΩ</b>	<b>100 kΩ</b>	<b>220 kΩ</b>	<b>470 kΩ</b>	<b>1 MΩ</b>
<b>47 µF</b>	1	0,57	0,3	0,15	0,68	0,032	0,015
<b>22 µF</b>	2,2	1,2	0,63	0,31	0,15	0,069	0,033
<b>10 µF</b>	4,8	2,7	1,4	0,69	0,32	0,15	0,072
<b>4,7 µF</b>	10	5,7	3,0	1,5	0,68	0,32	0,15
<b>2,2 µF</b>	22	12	6,3	3,1	1,5	0,69	0,33
<b>1,0 µF</b>	48	27	14	6,9	3,2	1,5	0,72
<b>0,47 µF</b>	100	57	30	15	6,8	3,2	1,5
<b>0,22 µF</b>	220	120	63	31	15	6,9	3,3
<b>0,1 µF</b>	480	270	140	69	32	15	7,2
<b>0,047 µF</b>	1k	570	300	150	68	32	15
<b>0,022 µF</b>	2,2 k	1,2 k	630	310	150	69	33
<b>0,01 µF</b>	4,8 k	2,7 k	1,4 k	690	320	150	72
<b>4700 pF</b>	10 k	5,7 k	3 k	1,5 k	680	320	150
<b>2200 pF</b>	22 k	12 k	6,3 k	3,1 k	1,5 k	690	330
<b>1000 pF</b>	48 k	27 k	14 k	6,9 k	3,2 k	1,5 k	720
<b>470 pF</b>	100 k	57 k	30 k	15 k	6,8 k	3,2 k	1,5 k
<b>220 pF</b>	220 k	120 k	63 k	31 k	15 k	6,9 k	3,3 k
<b>100 pF</b>	480 k	270 k	140 k	69 k	32 k	15 k	7,2 k

podane w górnej części tabeli są rezystancjami R2, a po lewej stronie tabeli podano pojemności kondensatora C1.

Skrót pF oznacza pikofarad, czyli jedną milionową mikrofarada. Pomiędzy mikrofaradami i pikofaradami znajdują się nanofarady, ale nanofarady są rzadko stosowane w amerykańskich dokumentacjach, a więc nie stosuję tych jednostek w tabeli.

# **TEORIA: Wewnątrz układu czasowego 555 (tryb astabilny)**

Pomocą w przedstawieniu tego, co się dzieje, będzie ilustracja na rysunku 4.25. Wewnętrzna konfiguracja jest taka sama jak w przypadku trybu monostabilnego, ale zewnętrzne połączenia są zupełnie inne.



**Rysunek 4.25.** Widok wnętrza układu czasowego 555 pracującego w trybie astabilnym

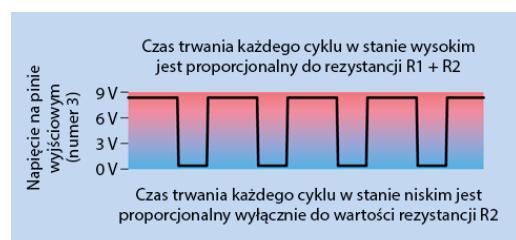
Początkowo przerzutnik zwiera C1 do masy w taki sam sposób, jak miało to miejsce poprzednio, ale niskie napięcie kondensatora jest podłączone ze-wnętrznym przewodem od pinu numer 6 do pinu numer 2. Niskie napięcie powoduje wyzwolenie układu. Przerzutnik postusznie przechodzi do po-zyjcyj włączonej i wysyła dodatni impuls do głośnika, usuwając jednocześnie ujemny potencjał z pinu numer 6.

Teraz, podobnie jak miało to miejsce podczas pracy w trybie monostabilnym, C1 zaczyna się ładować, z tą różnicą, że robi to przez połączone szeregowo rezystory R1 i R2. Ponieważ rezystory oraz sam kondensator C1 mają małą wartość, ładowanie trwa bardzo krótko. Po osiągnięciu dwóch trzecich pełnego napięcia zasilania komparator B podejmuje taką samą akcję jak wcześniej i rozładowuje kondensator, kończąc impuls na pinie numer 3.

Rozładowanie trwa dłużej niż wcześniej, ponieważ pomiędzy pin rozładowujący (numer 6) a kondensatorem wstawiony został rezystor R2. Gdy kondensator rozładowuje się, jego napięcie spada, a nadal pozostaje połączony z pinem numer 2. Kiedy potencjał spadnie do jednej trzeciej napięcia zasilania, komparator A przystępuje do działania i wysyła kolejny impuls do przerutnika, zaczynając cały proces od nowa.

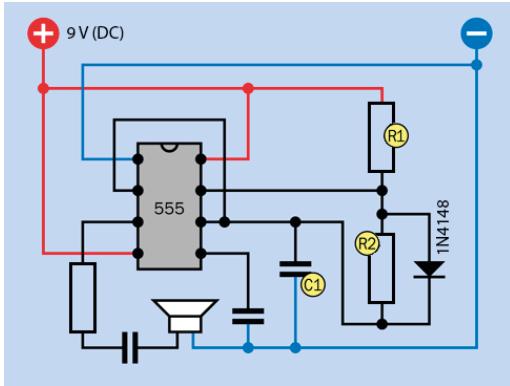
## **PODSTAWY: Nierówne długości stanów włączonego i wyłączonego**

Kiedy układ pracuje w trybie astabilnym, kondensator C1 ładuje się przez połączone szeregowo rezystory R1 i R2, ale podczas rozładowania ładunek „ucieka” jedynie przez R2. Oznacza to, że więcej czasu zajmuje naładowanie kondensatora niż jego rozładowanie. Podczas ładowania pin numer 3 jest w stanie wysokim, podczas rozładowania w stanie niskim. Konsekwencją tego jest zawsze dłuższy czas trwania stanu włączonego (wysokiego) w porównaniu do stanu wyłączonego (niskiego). Tę regulację w formie wykresu pokazuje rysunek 4.26.



**Rysunek 4.26.** Stan wysoki sygnału generowanego na wyjściu układu czasowego 555 trwa zawsze dłużej od stanu niskiego, gdy układ jest podłączony do obwodu w standardowy sposób umożliwiający pracę astabilną

Jeżeli chcesz, aby stan wysoki i niski trwały jednakowo długo, lub chcesz dopasować czas trwania jednego z tych stanów niezależnie od drugiego (na przykład wysłać bardzo krótki impuls do drugiej kości, a następnie odczekać dłużej przed kolejnym takim impulsem), wystarczy, że dodasz diodę, tak jak pokazuje to rysunek 4.27. (Obwód ten działa najlepiej, gdy napięcie zasilające jest wyższe od 5 V, ponieważ dioda powoduje spadek napięcia).



**Rysunek 4.27.** Podłączenie diody równolegle do rezystora R2 pozwala na niezależne dostosowywanie czasu impulsu wysokiego i niskiego

Teraz po naładowaniu kondensatora C1 prąd płynie przez R1 tak jak poprzednio, ale omija R2, wybiegając skróć przez diodę D1. Podczas rozładowywania kondensatora dioda blokuje przepływ prądu w odwrotnym kierunku, zatem rozładowanie musi nastąpić przez rezistor R2.

Po dołożeniu diody R1 kontroluje samodzielnie czas ładowania, a R2 czas rozładowania. Wzór pozwalający wyliczyć częstotliwość przedstawia się następująco:

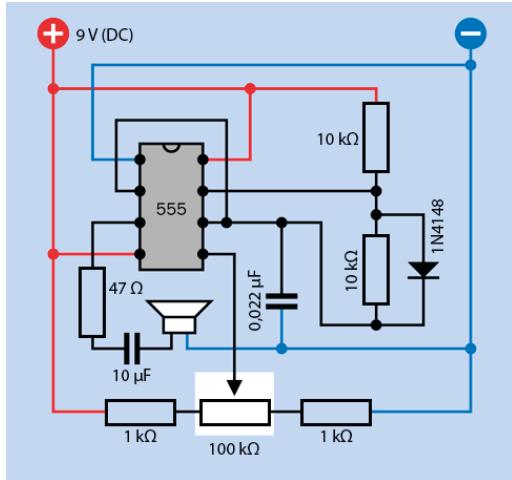
$$\text{Częstotliwość} = 1440 / ((R1 + R2) \times C1)$$

gdzie R1 i R2 są rezystancjami wyrażonymi w *kiloomach*, a C1 jest pojemnością wyrażoną w *mikrofaradach*. Korzystając ze wzoru, uzyskasz wartość przybliżoną, ponieważ dioda dodaje do obwodu pewną skuteczną rezystancję, która nie jest brana pod uwagę we wzorze.

Jeżeli dobrzesz rezystancje w taki sposób, aby  $R1 = R2$ , uzyskasz cykle stanu wysokiego i niskiego o niemal takiej samej długości.

## Modyfikacje trybu astabilnego

Częstotliwość pracy układu możesz zmieniać, nie tylko stosując potencjometr w miejscu rezystora R2, ale także (w ograniczonym zakresie) za pomocą pinu numer 5 zwanego pinem kontroli. Pokazano to na rysunku 4.28.



**Rysunek 4.28.** Obwód pozwalający na sprawdzenie działania pinu numer 5 (pinu kontroli) układu czasowego 555

Odtłącz kondensator, który był podłączony do tego pinu, i zastąp go połączonymi szeregowo rezystorami. Zapewniają one obecność minimum 1-kilomowej rezystancji pomiędzy pinem a dodatnim i ujemnym napięciem zasilania. Podłączenie pinu bezpośrednio do zasilania nie uszkodzi kości, ale uniemożliwi generowanie słyszalnych dźwięków. W miarę kręcenia pokrętłem potencjometru w obu kierunkach zmianie ulegać będzie częstotliwość. Wykonując tę czynność, zmieniasz napięcie odniesienia komparatora B znajdującego się wewnątrz układu.

## Łączenie kości w łańcuch

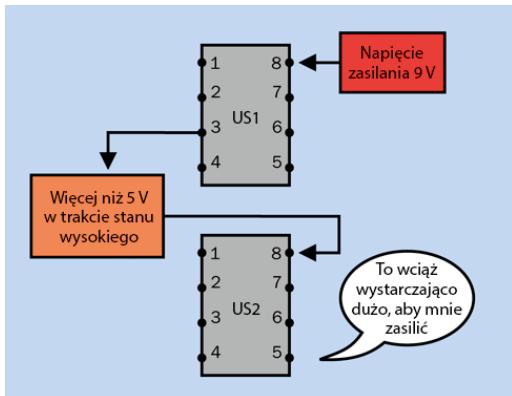
Układy zegarowe mogą zostać połączone ze sobą na cztery możliwe sposoby. Pamiętaj o tym, że układy te mogą być połączone ze sobą na każdy z tych sposobów niezależnie od tego, czy działają w trybie monostabilnym, czy astabilnym (z pewnymi wyjątkami, które zostały wyraźnie zaznaczone).

- Jeżeli układy 555 zasilasz prądem o napięciu 9 V, napięcie wyjścia jednego układu może zasilać drugi.
- Sygnał wyjściowy jednego układu może aktywować wejście kolejnego układu. Działa to tylko wtedy, gdy drugi układ działa w trybie

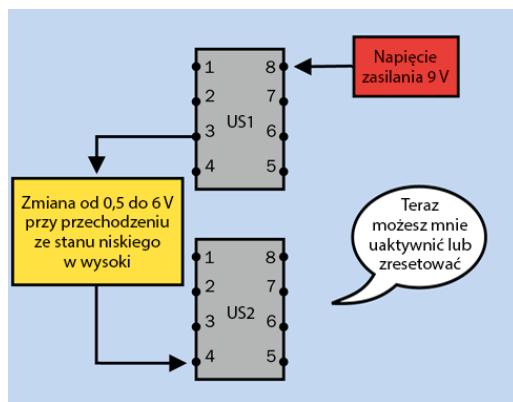
monostabilnym. W trybie astabilnym układ aktywowałby się samodzielnie.

- Sygnał wyjściowy generowany przez jeden układ może odblokować pin wyzerowania kolejnego układu.
- Wyjście jednego układu może być połączone za pomocą odpowiedniego rezystora z pinem kontroli kolejnego układu.

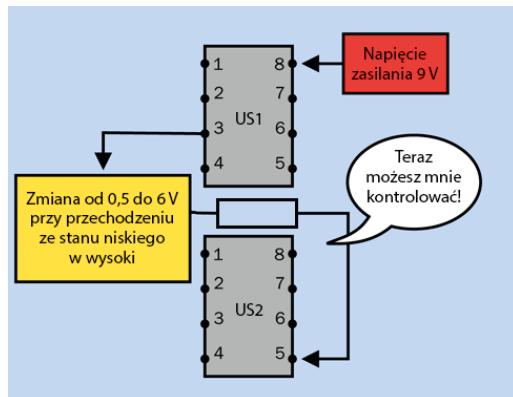
Wymienione opcje przedstawiono na rysunkach od 4.29 do 4.32.



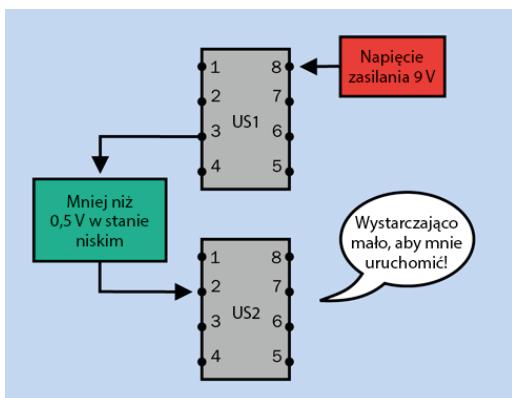
Rysunek 4.29. Jeden układ zasila drugi układ



Rysunek 4.31. Jeden układ wyzerowujący drugi układ



Rysunek 4.32. Jeden układ steruje częstotliwością pracy drugiego układu

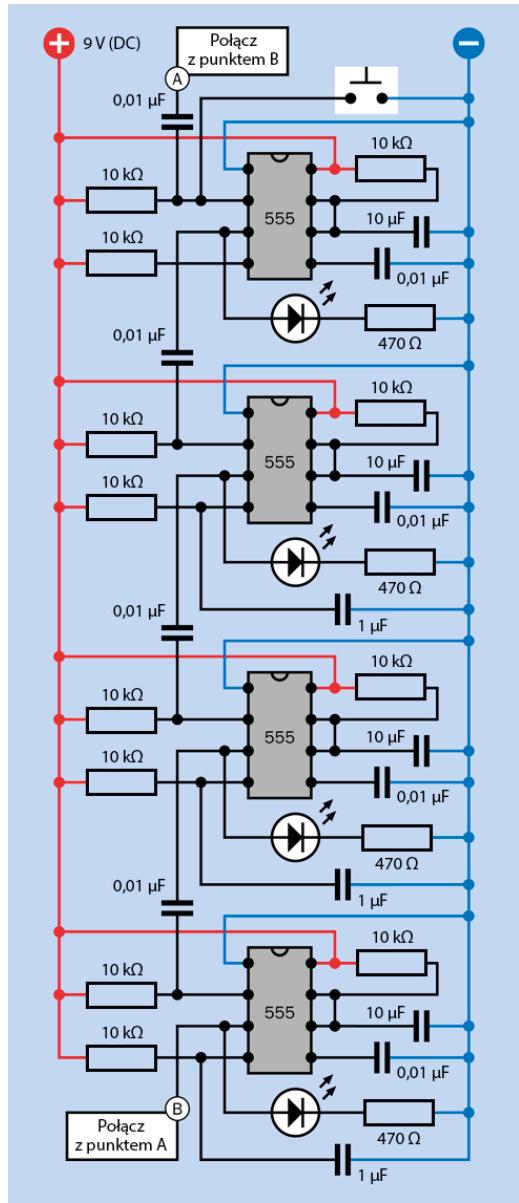


Rysunek 4.30. Jeden układ uruchamia drugi układ

Dlaczego mógłbyś chcieć łączyć kości w łańcuch? Niektóre z nich mogłyby pracować w trybie monostabilnym, tak aby koniec wysokiego impulsu generowanego przez jeden układ uruchamiał generowanie wysokiego sygnału przez drugi układ i na odwrót. Tak naprawdę łańcuch może składać się

z dowolnej liczby układów zegarowych, a sygnał wyjściowy ostatniego układu mógłby być użyty do włączenia pierwszego — układy połączone w ten sposób mogłyby uruchamiać sekwencję diod LED wchodzących w skład np. dekoracji świątecznej.

Na rysunku 4.33 pokazano cztery układy zegarowe połączone ze sobą w ten sposób. Zastosowano w tym celu kondensatory sprzągające, ponieważ do uruchomienia kolejnego układu potrzebny jest krótki impuls. Bez kondensatora zakończenie generowania wysokiego sygnału przez pierwszy układ spowodowałoby uruchomienie drugiego układu, ale pierwszy układ podawałby nadal niski sygnał, co powodowałoby dalsze uruchamianie drugiego układu w nieskończoność.



Rysunek 4.33. Cztery włączające się kolejno układy czasowe

Aby do pinów aktywujących układy normalnie dopływał prąd o względnie wysokim napięciu, do każdego z nich należy podłączyć rezystor podciągający  $10\text{ k}\Omega$ .

Patrząc na ten schemat, możesz zastanawiać się nad tym, jak układy połączone w łańcuchu są łączane. W eksperymencie numer 16 dowiedziałeś

się, że układ czasowy 555 emisuje spontanicznie jeden impuls po podłączeniu do zasilania. W obwodzie z wieloma układami połączonymi w łańcuchach dojdzie do sytuacji, w której wiele układów wygeneruje niemal jednocześnie taki impuls. Układy mogą nieco różnić się od siebie, a więc impulsy te mogą spowodować nieprzewidywalną pracę obwodu. Czasami układy mogą rozpoczęć generowanie sekwencji sygnałów w odpowiedniej kolejności, a czasami mogą robić to parami.

Problem ten można rozwiązać, tłumiąc początkowe impulsy — technikę tę opisałem w eksperymencie numer 16 (patrz sekcja „Teoria: Tłumienie impulsu”).

Kondensator  $1\text{ }\mu\text{F}$  umieszczony pomiędzy pinem wyzerowującym i ujemną szyną zasilającą będzie utrzymywał niski potencjał na złączu wyzerowującym na tyle długo, aby powstrzymać wygenerowanie impulsu, który układ czasowy wytworzy podczas rozruchu. Rezystor podciągający  $10\text{ k}\Omega$  podłączony do złącza wyzerowującego zapewni dalszą, stabilną pracę układu.

Z mojego doświadczenia wynika, że rozwiązanie takie sprawdza się dobrze, ale układy czasowe produkowane przez różne korporacje mogą pracować nieco inaczej, ponieważ działanie pinu wyzerowującego nie jest dobrze opisane w dokumentacji. Jeżeli masz problem z tłumieniem impulsów, to spróbuj zastosować kondensator o większej lub mniejszej pojemności.

Ostatni problem, który należy rozwiązać, to zbyt duże tłumienie impulsów. Po podłączeniu obwodu do zasilania nic się nie dzieje, ponieważ sygnały wyjściowe generowane przez układy zegarowe zostały stłumione.

Problem ten można rozwiązać, nie stosując komponentów tłumiących sygnał w przypadku jednego z układów czasowych. Wyemitowanie impulsu przez ten układ po podłączeniu obwodu do zasilania będzie niemal pewne. Impuls ten uruchomi całą sekwencję. Koncepcję tę zaimplementowano na rysunku 4.33.

Zaraz, zaraz! Co oznacza wyrażenie „niemal pewne”? Obwody elektroniczne powinny działać zawsze, a nie prawie zawsze.

Zgadzam się, ale nie jestem w stanie kontrolować skłonności układów czasowych 555 do wykonywania niestandardowych operacji po podłączeniu do zasilania. W związku z tym w górnej części obwodu mogę dodać przycisk pozwalający na uruchomienie sekwencji, gdy ta nie uruchomi się automatycznie.

Istnieje alternatywne rozwiązanie: pierwszy układ może pracować w trybie astabilnym i wysyłać serię impulsów aktywujących kolejno pozostałe układy pracujące w trybie monostabilnym (ostatni układ nie aktywuje wtedy pierwszego). Możemy powiedzieć, że w takim rozwiązaniu pierwszy układ jest układem nadzorującym, a pozostałe układy są układami podrzędnymi.

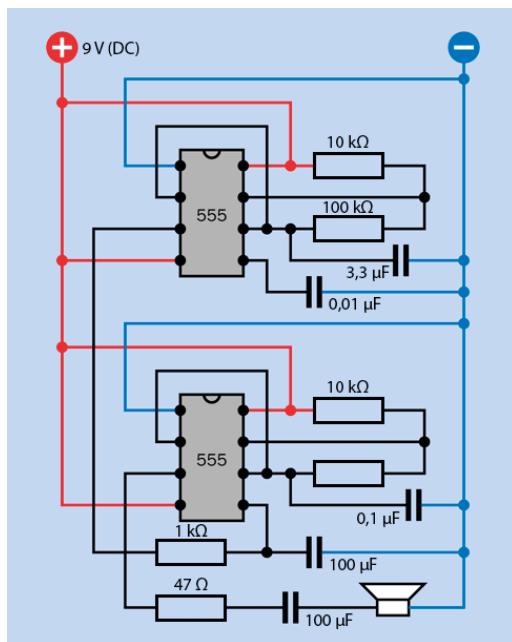
Lubię to rozwiązanie, ponieważ jest w pełni przewidywalne. Kłopot w tym, że wymaga wyregulowania prędkości układu nadzorującego tak, aby emitował kolejne impulsy dokładnie wtedy, gdy ostatni układ znajdujący się w łańcuchu przestanie emitować impuls. Jeżeli się tego nie zrobi, to pierwszy układ będzie generował kolejny impuls przed skończeniem generowania impulsu przez ostatni układ lub pomiędzy ostatnim i pierwszym impulsem będzie przerwa.

Czy będzie to ważne, zależy od aplikacji obwodu. W przypadku błyskających światówek nie będzie to stanowiło problemu, ale w przypadku sterowania silnikiem krokowym uzyskanie właściwych odstępów czasu pomiędzy kolejnymi impulsami może okazać się problematyczne.

## Generowanie dźwięku syreny

Szczególnie interesująca wydaje się czwarta wymieniona przeze mnie opcja łączenia układów (patrz rysunek 4.32). Pozwala ona na wygenerowanie dźwięku przypominającego dźwięk syreny typowego alarmu antywłamaniowego. Możemy to wykorzystać w praktyce, kończąc projekt, który opisałem w eksperymencie numer 15.

Schemat obwodu przedstawiono na rysunku 4.34. Pierwszy układ zegarowy pracuje w trybie astabilnym (sposób jego podłączenia do obwodu przypomina koncepcję przedstawioną na rysunku 4.21). Wartości charakteryzujące komponenty są większe, aby układ zegarowy generował impulsy wolniej — z częstotliwością 1 Hz. Obwód ten możesz porównać z koncepcją przedstawioną na rysunku 2.117. Obie te koncepcje są podobne.

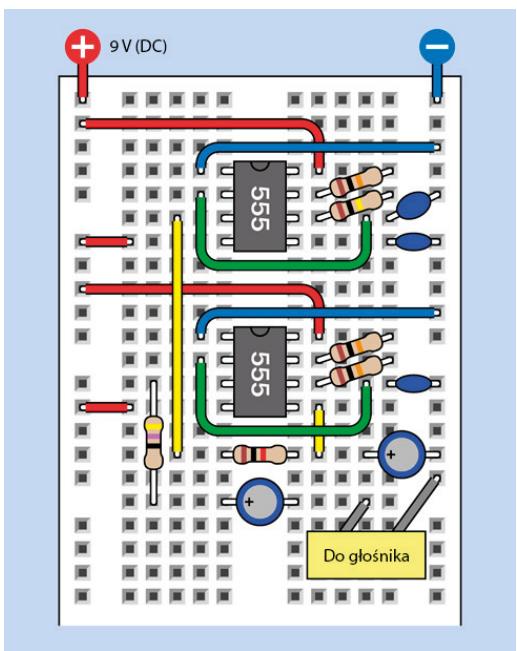


Rysunek 4.34. Gdy jeden układ czasowy działa relatywnie wolno, modulując sygnał sterujący pracą kolejnego układu czasowego za pomocą jego pinu kontroli (numer 5), powstaje falujący dźwięk przypominający syrenę alarmową

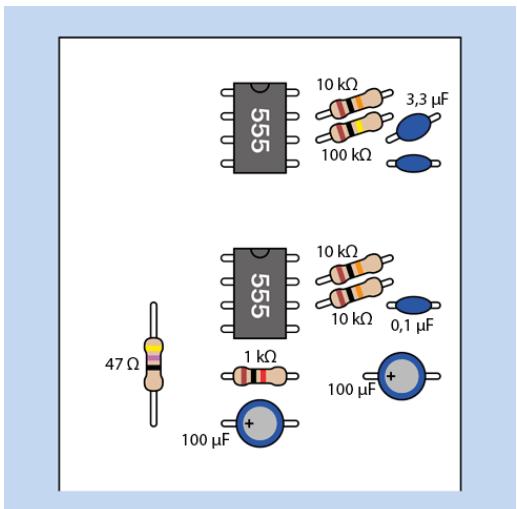
Drugi układ zegarowy również pracuje w trybie astabilnym z częstotliwością około 1 kHz. Wolne zmiany napięcia generowane przez pierwszy układ czasowy są kierowane do pinu kontroli drugiego układu czasowego, co powoduje modulację częstotliwości generowanego przez niego sygnału w sposób, dzięki któremu sygnał ten po podłączeniu do głośnika będzie generował irytujący dźwięk syreny alarmowej.

Zachęcam Cię do wykonania tego obwodu, ponieważ będziesz mógł go zastosować w ostatecznej wersji alarmu opisanego w eksperymencie numer

18. Na rysunku 4.35 przedstawiono schemat wykonawczy tego obwodu. Na rysunku 4.36 przedstawione wartości charakteryzujące poszczególne komponenty.



Rysunek 4.35. Schemat wykonawczy obwodu syreny



Rysunek 4.36. Wartości charakteryzujące komponenty tworzące obwód syreny

Po wykonaniu obwodu i sprawdzeniu jego działania możesz być zainteresowany wymianą kondensatora 100  $\mu\text{F}$  podłączonego pomiędzy masą a pinem numer 6. Kondensator sprawia, że wysokość dźwięku zmienia się płynnie. Kondensator ten działa tak samo jak kondensator sprawiający, że dioda LED w eksperymencie numer 11 była stopniowo włączana i wyłączana.

Dźwięk możesz modyfikować również na inne sposoby. Oto kilka sugestii:

- Zmień pojemność kondensatora czasującego 0,1  $\mu\text{F}$  — spowoduje to zmniejszenie lub zwiększenie podstawowej częstotliwości dźwięku.
- Zwięksź dwukrotnie lub zmniejsz o połowę pojemność kondensatora 100  $\mu\text{F}$  podłączonego do pinu numer 6.
- Rezystor 1  $\text{k}\Omega$  zastąp potencjometrem 10  $\text{k}\Omega$ .
- Zmień pojemność kondensatora 3,3  $\mu\text{F}$ .

Jedną z zalet samodzielnego tworzenia projektów jest to, że możesz je dostosować do swoich potrzeb. Gdy dźwięk syreny będzie Ci odpowiadał, możesz zapisać wartości charakteryzujące zastosowane przez Ciebie komponenty, dzięki czemu będziesz mógł odtworzyć ten obwód w przyszłości.

Nawiasem mówiąc, możesz ograniczyć liczbę kości, używając układów czasowych 556 zamiast 555. Kość 556 zawiera parę układów czasowych 555 w jednej obudowie. Ja nie zdecydowałem się na ten wariant, ponieważ nadal trzeba wykonać taką samą liczbę połączeń zewnętrznych (pomijając doprowadzenie zasilania).

## Eksperyment 18: Prawie gotowy alarm antywłamaniowy

Już wiesz, co można osiągnąć za pomocą układu czasowego 555, a więc czas przystąpić do implementacji pozostałych funkcji alarmu antywłamaniowego.

## Potrzebne będą:

- płytka prototypowa, drut połączeniowy, szczypce do cięcia drutu, przyrząd do zdejmowania izolacji i multimeter,
- źródło prądu o napięciu 9 V (bateria lub zasilacz),
- układy czasowe 555, liczba: 2,
- przekaźnik DPDT 9VDC, liczba: 1,
- tranzystory 2N2222, liczba: 2,
- diody LED: czerwona, zielona, żółta (po jednej diodzie każdego koloru),
- przełącznik ślizgowy SPDT przeznaczony do instalacji na płytce prototypowej, liczba: 2,
- mikroprzełącznik, liczba: 1,
- kondensatory:  $0,01 \mu\text{F}$  (liczba: 1),  $10 \mu\text{F}$  (liczba: 2),  $68 \mu\text{F}$  (liczba: 2),
- rezystory:  $470 \Omega$  (liczba: 4),  $10 \text{ k}\Omega$  (liczba: 4),  $100 \text{ k}\Omega$  (liczba: 1),  $1 \text{ M}\Omega$  (liczba: 2),
- dioda 1N4001, liczba: 1.

Dodatkowe komponenty niezbędne do wykonania obwodu generującego dźwięk:

- Komponenty przedstawione na rysunku 4.34.

Dodatkowe komponenty niezbędne do wykonania trwałej wersji tego projektu:

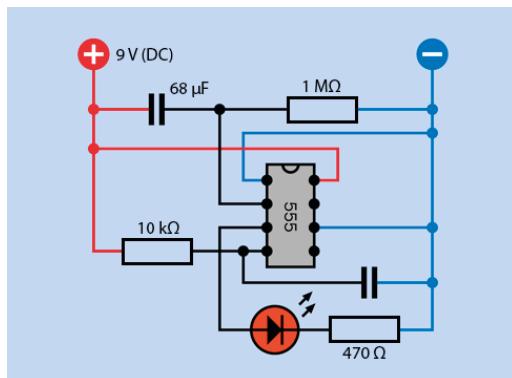
- lutownica o mocy  $15 \text{ W}$ ,
- spoiwo lutownicze,
- płytka perforowana z miedzianymi ścieżkami,
- przełącznik SPDT lub DPDT, liczba: 1
- przełącznik przyciskowy SPST, liczba: 1,
- obudowa projektowa o wymiarach przynajmniej  $15 \times 7,5 \times 5 \text{ cm}$ ,
- wtyczka zasilająca i pasującej do niej gniazdo (po jednym komponencie),
- czujniki magnetyczne (liczba odpowiednia dla Twoich potrzeb),
- przewody łączące czujniki zainstalowane w Twoim mieszkaniu.

## Wykonaj w pełni sprawne urządzenie w trzech krokach

To największy i najtrudniejszy projekt, nad jakim do tej pory pracowałeś, ale jest on tak naprawdę dość prosty do wykonania, ponieważ opiera się na trzech modułach, których działanie można sprawdzić niezależnie od siebie. Na koniec na płytce prototypowej uzyskasz obwód przedstawiony na rysunku 4.43. Na rysunku 4.44 przedstawiono parametry charakteryzujące poszczególne komponenty. Schemat ideowy tego obwodu przedstawiono na rysunku 4.45. Pracę zaczniemy od wykonania prostego obwodu układu czasowego.

### Krok 1

Przyjrzyj się dokładnie rysunkowi 4.37. Zauważ, że po prawej stronie układu czasowego 555 nie ma żadnych komponentów czasujących. W związku z tym możesz dojść do wniosku, że układ ten działa w trybie bistabilnym, który opisałem w eksperymencie numer 16 (patrz rysunek 4.19). Aktywowany układ czasowy będzie w nieskończoność generował wysoki sygnał, co wydaje się odpowiednie do zastosowania w systemie alarmowym.



Rysunek 4.37. Schemat ideowy dolnej części obwodu przedstawionego na schemacie wykonawczym

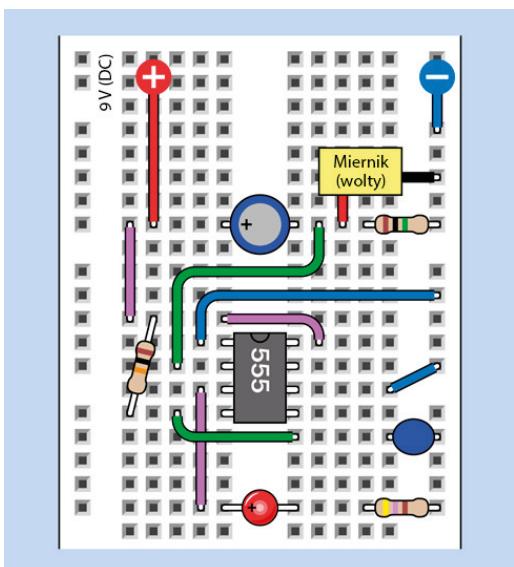
Przedstawiony obwód pełni ważną funkcję — daje użytkownikowi alarmu wchodzącemu do mieszkania minutę na rozbrojenie alarmu przed uruchomieniem syreny. Funkcja ta była wymieniona jako dziewiąta na liście, którą stworzyłem w eksperymencie numer 15.

Aby sprawdzić działanie tego obwodu, wykonaj go, korzystając z rysunku 4.38. Wartości charakterystyczne dla komponentów przedstawiono na rysunku 4.44. Komponenty te zainstalowano w dolnej części płytki widocznej na rysunku 4.43.

Miejsce montażu komponentów jest ważne, ponieważ musisz zostawić na płytce odpowiednią ilość wolnego miejsca pozwalającą na dodanie do niej obwodów, które opiszę w dalszej części tego rozdziału. Jeden z takich obwodów będzie włączał dopływ prądu do aktualnie wykonywanego obwodu.

Aby upewnić się, że wszystkie komponenty są zainstalowane we właściwych miejscach, sprawdź, czy rezystor  $1 \text{ M}\Omega$  jest włożony w 29. rzad otworów montażowych (licząc od góry płytki). Pamiętaj o tym, że prąd powinien dopływać do komponentów, które nie są zainstalowane w górnej części płytki, a dodatnia szyna zasilająca nie jest jeszcze używana.

Nie podłączaj jeszcze obwodu do zasilania. Ustaw miernik w tryb pomiaru napięcia prądu stałego przekraczającego 10 V. Czarny próbnik przyłożź do zbiorczej szyny masy, a czerwony próbnik przyłożź do lewego złącza rezystora  $1 \text{ M}\Omega$  (patrz rysunek 4.38).



Rysunek 4.38. Komponenty umieszczone w dolnej części płytki prototypowej, co pozwala na sprawdzenie ich działania

Podłącz zasilanie do obwodu. Miernik powinien wskazać napięcie 9 V, które będzie powoli maleć. Gdy napięcie spadnie do poziomu jednej trzeciej napięcia zasilającego, układ 555 uruchomi się, a czerwona dioda LED zostanie zapalona. Dioda pełni funkcję diagnostyczną. W ostatecznej wersji obwodu zastąpisz ją obwodem generującym hałas.

Kondensator  $68 \mu\text{F}$  opóźnia odpowiedź układu czasowego. Po podłączeniu układu do prądu pierwszy impuls jest przekazywany przez kondensator do punktu znajdującego się pomiędzy rezystorem  $1 \text{ M}\Omega$  i kondensatorem. Zielony przewód łączy ten punkt z pinem wyzwalającym układ czasowy. Na początku do pinu tego przyłożony jest wysoki potencjał, a mam nadzieję, że pamiętasz o tym, że układ zadziała dopiero wtedy, gdy ten potencjał zmaleje.

Napięcie po prawej stronie kondensatora powoli spada — płynie przez rezystor  $1 \text{ M}\Omega$ . W końcu napięcie będzie na tyle niskie, aby uruchomić układ czasowy.

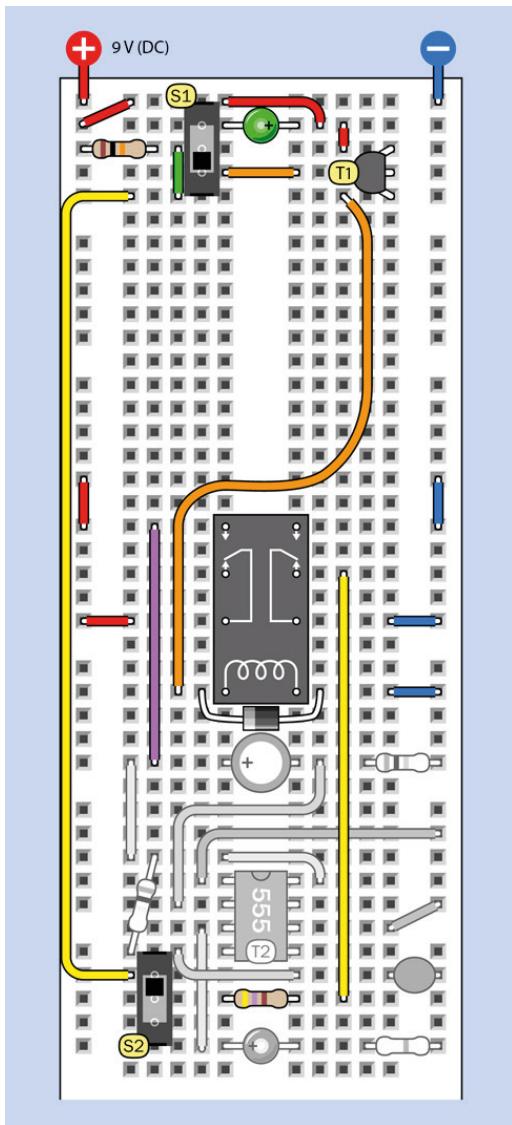
Co do reszty obwodu, to w eksperymentach numer 16 i 17 wyjaśniłem, jak stumieć emisję impulsu generowanego przez układ czasowy po podłączeniu go do prądu. To właśnie podwód, dla którego do pinu numer 4 (pinu wyzerowania) podłączylem kondensator  $10 \mu\text{F}$  i rezystor  $10 \text{ k}\Omega$ . Tym razem zamiast kondensatora  $1 \mu\text{F}$  zastosowałem kondensator  $10 \mu\text{F}$ , ponieważ reakcja tego układu jest nieco wolniejsza od reakcji układu przedstawionego w eksperymencie numer 17.

- Układ tego typu możesz stosować zawsze wtedy, gdy chcesz opóźnić reakcję układu czasowego 555 na aktywujący go impuls.
- Jeżeli chcesz zmienić czas opóźnienia, to w miejscu kondensatora  $68 \mu\text{F}$  wstaw kondensator o innej pojemności.

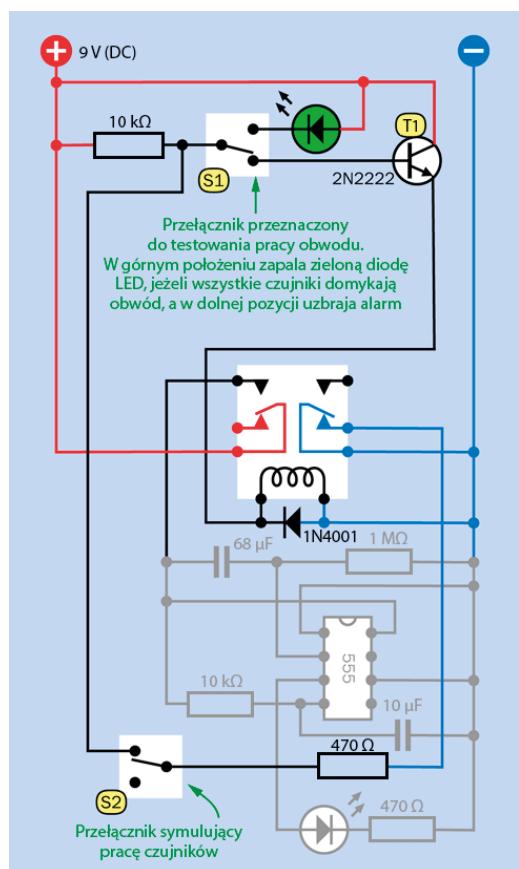
Wszystko idzie zgodnie z planem. Wykonana przez Ciebie część obwodu spowoduje opóźnienie aktywacji alarmu. Po upływie określonego czasu alarm będzie działał w nieskończoność.

## Krok 2

Na rysunkach 4.39 i 4.40 pokazano kolejny etap rozbudowy obwodu. Na schemacie widać zainstalowane wcześniej komponenty, ale zostały one oznaczone szarym kolorem, dzięki czemu nowe komponenty dodane do obwodu są wyraźnie widoczne.



Rysunek 4.39. Drugi etap pracy nad obwodem polega na zastosowaniu przekaźnika w konfiguracji omówionej wcześniej w eksperymencie numer 15



Rysunek 4.40. Schemat drugiej fazy rozbudowy obwodu

Nie zapomnij o konieczności zainstalowania przełącznika ślizgowego S2 w dolnej części płytki, znajdującego się obok rezystora  $470\ \Omega$ , a także dwóch długich żółtych przewodów. Przełącznik ślizgowy służy do testowania pracy obwodu. Zastępuje on czujniki alarmu, które zastosujesz w finalnej wersji obwodu.

Przekaźnik pełni tę samą funkcję, którą pełnił w eksperymencie numer 15. Jeżeli przyjrzyisz się jego połączeniom, to zobacysz, że działa on podobnie do przekaźnika widocznego na rysunku 3.88. Jedyną różnicą jest to, że rezistor  $1\ k\Omega$  został zastąpiony rezystorem  $470\ \Omega$ , a w górnej części obwodu umieściłem przełącznik S1 oraz zieloną diodę LED. Dlaczego? Wkrótce to wyjaśnię.

Komponenty instaluj uważnie. Nie przeocz trzech czerwonych przewodów po lewej stronie płytki i trzech niebieskich po prawej stronie płytki. Upewnij się, że piny przekaźnika są podłączone do tych samych rzędów otworów co znajdujące się obok przewody.

Sprawdź, czy przełącznik S1 znajduje się w dolnym położeniu, a S2 w górnym. Podczas testowania pracy obwodu usuń kondensator 68  $\mu\text{F}$ . Dzięki temu dioda LED będzie reagowała natychmiast, a nie z minutowym opóźnieniem.

Podłącz obwód do zasilania i jeżeli wszystko wykonałeś poprawnie, to nic nie powinno się działać. Przełącznik S2 zastępuje czujniki alarmu. W górnym połączeniu symuluje on domykanie obwodu przez czujniki. Przestaw go w dolne położenie symulujące rozwarcie obwodu czujników. Dioda LED znajdująca się w dolnej części płytki powinna od razu zaświecić. Przestaw przełącznik z powrotem w górne położenie, a dioda LED będzie nadal włączona. Obwód alarmu nadal aktywuje syrenę pomimo ponownego domknięcia obwodu przez czujniki.

Odlacz obwód od zasilania. Nie przedstawiaj przełącznika S2 z górnego położenia symulującego domknięcie obwodu czujników i ponownie podłącz projekt do zasilania. Przestaw przełącznik S1 w górne położenie. Spowoduje to włączenie zielonej diody LED. Dioda ta sygnalizuje domykanie obwodu czujników. Gdy będziesz korzystał z alarmu, funkcja ta przyda Ci się, kiedy będziesz chciał uzbroić alarm i wyjść z pomieszczenia. Jest to implementacja siódmego punktu listy funkcji alarmu przedstawionej w eksperymencie numer 15.

Pozostaw przełącznik S1 w górnej pozycji, a przełącznik S2 przestaw w dolną — zasymuluje to otwarty czujnik. Zielona dioda LED zgaśnie. Przestaw przełącznik S2 w górną pozycję, a zielona dioda LED zostanie ponownie włączona. Procedura testowania pracy obwodu przebiegła pomyślnie.

W praktyce będziesz korzystał z tego projektu w następujący sposób. Przełącznik S1 należy pozostawić w górnym położeniu. Gdy będziesz już gotowy, aby

wyjść z mieszkania, podłączysz zasilanie do obwodu. Jeżeli zielona dioda LED nie zapali się, to znaczy, że któreś okna lub drzwi są otwarte. Znajdź źródło problemu i go rozwiąż. Gdy zielona dioda LED się świeci, wiesz, że wszystkie czujniki są zamknięte. Teraz możesz uzbroić alarm. Przestaw przełącznik S1 w dół. Zielona dioda LED zgaśnie. Alarm został uzbrojony. Po powrocie do domu będziesz miał minutę (pod warunkiem że zastosowałeś kondensator 68  $\mu\text{F}$ ) na jego rozbrojenie. W przeciwnym wypadku syrena zostanie uruchomiona. Alarm możesz rozbroić, przestawiając przełącznik S1 w górne położenie.

#### Jak działa ten obwód?

Rezystor 10  $\text{k}\Omega$  w górnym lewym rogu obwodu jest podłączony do bazy tranzystora T1 poprzez przełącznik S1, gdy ten znajduje się w dolnym położeniu. W tym samym czasie prawy biegun styku znajdującego się wewnątrz przekaźnika jest podłączony do masy. Połączenie następuje za pośrednictwem żółtego przewodu znajdującego się po prawej stronie, rezystora 470  $\Omega$ , przełącznika S2 symulującego pracę obwodów i kolejnego żółtego przewodu. Dzięki temu połączeniu do bazy tranzystora przyłożone jest niskie napięcie dopływające do niego poprzez pomarańczowy przewód. Dopóki napięcie przyłożone do bazy tranzystora jest niskie, dopływy tranzystor nie będzie przewodził prądu.

W momencie otwarcia czujnika znika niski potencjał przyłożony do bazy tranzystora, a rezistor 10  $\text{k}\Omega$  podciąga napięcie przyłożone do bazy — tranzystor zostaje włączony — aktywuje przekaźnik za pośrednictwem długiego, wijącego się pomarańczowego przewodu. Przekaźnik zasila bistabilny układ czasowy, który aktywuje syrenę alarmową. Jednocześnie przekaźnik przerywa połączenie z szyną masy znajdująca się po prawej stronie, a więc tranzystor będzie działał dalej nawet w przypadku ponownego domknięcia czujnika.

Tę samą koncepcję zastosowałem na rysunku 3.88. Główną różnicą jest to, że tym razem zastosowałem zieloną diodę LED. Po przestawieniu przełącznika

S1 w pozycji „test” odcinany jest dopływ dodatniego napięcia do tranzystora, a więc tranzystor nie może uruchomić alarmu. Jeżeli wszystkie czujniki są zamknięte, dioda LED jest łączona przez czujniki i przez rezystor  $470\ \Omega$  ze zbiorczą szyną masy, co powoduje jej włączenie, a to informuje użytkownika, że system jest gotowy do pracy.

### Krok 3

Czego jeszcze potrzebujemy w tym projekcie? Wyobraź sobie, że korzystasz z systemu alarmowego i chcesz go włączyć przed wyjściem z mieszkania. Jeżeli uzbroisz alarm i otworzysz drzwi wyjściowe, to uruchomisz syrenę.

Bistabilny układ czasowy oraz kondensator  $68\ \mu F$  wstrzymuje działanie alarmu na minutę, dając Ci czas na jego wyłączenie po przyjściu do domu. Potrzebujemy obwodu, który wstrzymywałby pracę alarmu na minutę, dając Ci czas na wyjście z domu.

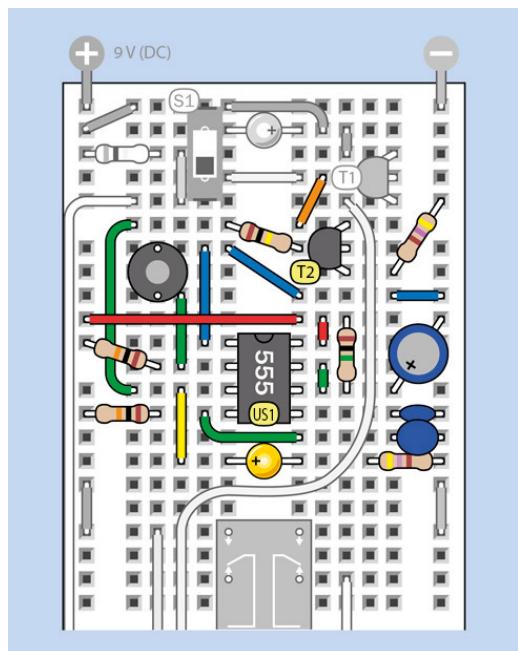
To nieco bardziej skomplikowane zadanie. Musisz zastosować dodatkowy układ czasowy ściągający napięcie tranzystora T1 tak, aby nie mógł on przełączyć przekaźnika.

Problem w tym, że aktywowany układ czasowy generuje wysoki, a nie niski sygnał. Konieczne będzie dodanie kolejnego rezystora ściągającego, zamieniającego wysoki sygnał wyjściowy na niski potencjał przyłożony do bazy tranzystora T1.

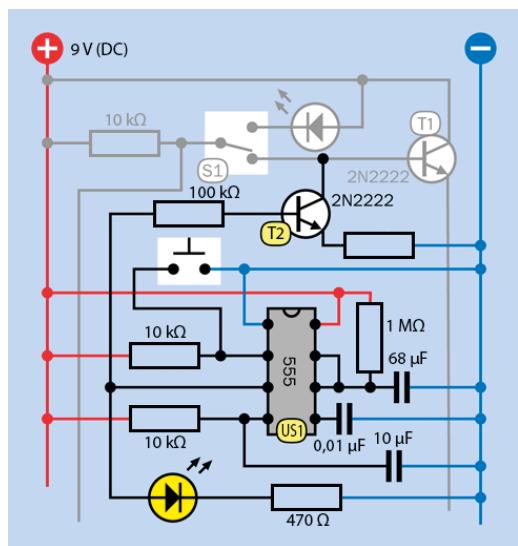
Komponenty implementujące tę funkcję przedstawiono na rysunkach 4.41 i 4.42. Ponownie kolorem szarym zaznaczyłem zainstalowane wcześniej komponenty.

Dodatkowy układ czasowy 555 oznaczony etykietą US1 jest wyposażony w obwód tłumienia impulsu podłączony do wyzerowującego pinu numer 4 — oba układy czasowe są wyposażone w taki obwód, a więc nie wyemitują impulsu od razu po podłączeniu do zasilania. Aby uruchomić układ US1, należy wcisnąć przycisk uziemiający pin aktywujący ten układ.

Gdy układ zegarowy generuje wysoki sygnał wyjściowy, prąd wypływa z jego wyjścia (pin numer 3)



Rysunek 4.41. Trzeci, ostatni etap pracy nad alarmem



Rysunek 4.42. Schemat trzeciego, ostatniego etapu pracy nad alarmem

i włącza żółtą diodę LED. Informuje to o tym, że system odlicza czas do uzbrojenia. Dopóki dioda ta będzie emitowała światło, dopóty alarm będzie ignorował otwieranie czujników.

Pin numer 3 jest również połączony do zielonego przewodu widocznego po lewej stronie płytki (przypomina ona wydłużoną literę C). Sygnał wyjściowy generowany przez układ zegarowy przechodzi przez rezystor  $100\text{ k}\Omega$  i jest w stanie aktywować tranzystor T2. Emiter tego tranzystora jest połączony z masą poprzez rezystor  $470\text{ }\Omega$ , a jego kolektor jest połączony do bazy tranzystora T1. Dopóki dochodzi do przepływu prądu przez tranzystor T2, dopóty baza tranzystora T1 jest połączona z masą, co zapobiega uruchomieniu przełącznika przez tranzystor T1, a więc alarm nie zostanie włączony.

W ten sposób układ zegarowy US1 powstrzymuje uruchomienie alarmu. Po upływie minuty US1 przestaje umożliwiać przepływ prądu — napięcie na pierwszym tranzystorze nie jest już ściągane, a więc alarm może zostać uruchomiony, o ile przestawisz wcześniej przełącznik znajdujący się w górnej części obwodu w pozycję przeciwną do pozycji „test”.

Teraz z alarmu można korzystać w następujący sposób.

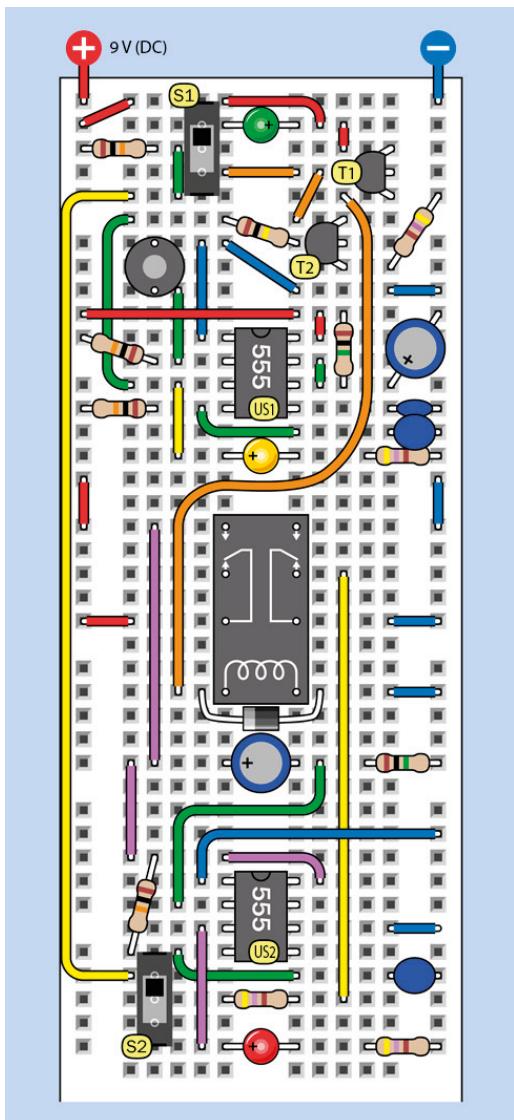
1. Na początku ustaw przełącznik S1 w pozycję „test” i zamknij wszystkie okna i drzwi — zielona dioda LED powinna wtedy emitować światło.
2. Przestaw przełącznik S1 w dolną pozycję. Alarm będzie teraz gotowy do pracy.
3. Wciśnij przycisk i wyjdź, zamkając za sobą drzwi, gdy świecić będzie żółta dioda LED.

Czy wykonany przez Ciebie obwód działa poprawnie? Jeżeli zachowalesz ostrożność podczas łączenia komponentów, to powinieneś dysponować sprawnym obwodem. Układ czasowy US1 powinien zawsze zapalać żółtą diodę LED, co ułatwia testowanie poprawności pracy obwodu. Za pomocą miernika możesz sprawdzić napięcie przyłożone do bazy tranzystora T1. Syrena alarmu nie będzie uruchamiana, dopóki napięcie to pozostanie względnie niskie. Wzrost napięcia pozwala na aktywację syreny.

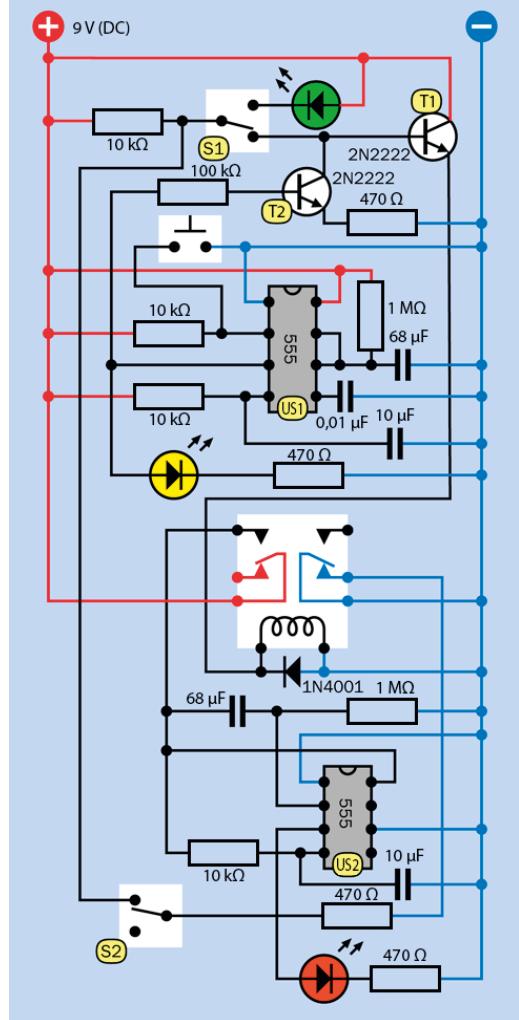
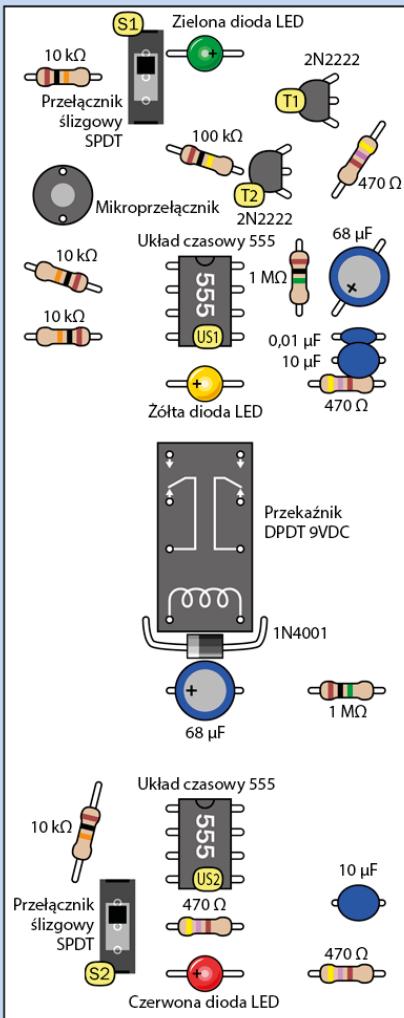
Nie zapomnij o ponownym wstawieniu do obwodu kondensatora  $68\text{ }\mu\text{F}$  (należy umieścić go pod

prekaźnikiem). Kondensator ten będzie opóźniał możliwość aktywacji syreny, gdy alarm będzie gotowy do pracy.

Schemat wykonawczy całego obwodu przedstawiono na rysunku 4.43. Na rysunku 4.44 podano wartości charakteryzujące poszczególne komponenty, a na rysunku 4.45 przedstawiono schemat ideowy tego obwodu.



Rysunek 4.43. Schemat wykonawczy obwodu kompletnego alarmu



Rysunek 4.45. Schemat ideowy obwodu alarmu

**Rysunek 4.44.** Wartości charakteryzujące komponenty widoczne na schemacie wykonawczym

## Co z syreną?

Jeżeli chcesz, aby Twój alarm generował dźwięk, to będziesz musiał zastąpić czerwoną diodę LED obwodem audio. Dioda służyła tylko do testowania pracy projektu.

Najprostszym rozwiązaniem jest zakup gotowego urządzenia. Istnieją setki tanich syren, które mogą generować irytujący dźwięk po podłączeniu do prądu. Wiele z nich wymaga zasilania prądem stałym o napięciu 12 V, ale może też z powodzeniem pracować przy napięciu 9 V. Pamiętaj, że układ zegarowy

US2 nie może dostarczać prądu o natężeniu znacznie przekraczającym 150 mA.

Jeżeli wolisz syrenę generującą dźwięk o określonym przez Ciebie tonie, możesz wykonać obwód przedstawiony na rysunku 4.34. Obwód ten można zasilać poprzez przekaźnik.

## Co z mechanizmem włączania i wyłączania?

Testując obwód, podłączaliś go i odłączaliś od zasilania. Możesz to robić za pomocą przełącznika, ale lepiej byłoby, aby alarm był wyłączany za pomocą kodu.

Zimplementowanie tej funkcji wymaga zastosowania układów logicznych, a tego tematu jeszcze nie poruszałem w tej książce. Zajmę się tym w eksperymencie numer 21.

## Finalizacja projektu

Gdy dysponujesz już działającym obwodem, chciałbym opisać sposób wykonania jego ostatecznej wersji. Mam na myśli przyłutowanie komponentów do płytka i zamontowanie jej w eleganckiej obudowie. Książka ta dotyczy głównie elektroniki, ale finalizacja projektu jest czymś, co może Ci również dostarczyć sporo praktycznego doświadczenia, a więc przedstawię Ci pewne sugestie.

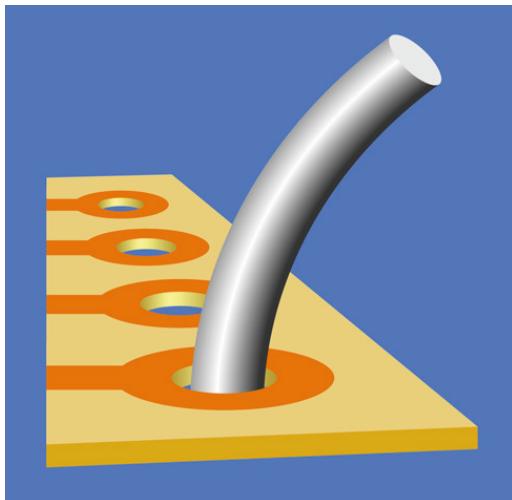
Przyłutowywanie komponentów może być łatwiejsze od procedury ich punktowego łączenia opisanej w eksperymencie numer 14. Komponenty możesz zainstalować na płytce perforowanej, na której naniesione są miedziane ścieżki, których układ przypomina układ przewodników znajdujących się wewnętrz płytki prototypowej. Przenieś komponenty na płytke perforowaną, odwracając ich wcześniejsze położenie, a następnie przyłóż komponenty do miedzianych przewodników umieszczonych po drugiej stronie płytka. Nie trzeba łączyć ze sobą poszczególnych drutów.

Wskazówki dotyczące zakupu płytka perforowanej znajdziesz w sekcji „Zasoby” (znajdziesz ją w rozdziale 6.).

Czas przenieść projekt na płytke perforowaną.

Określ dokładną pozycję komponentu na płytce prototypowej, a następnie przenieś go w dokładnie to samo miejsce na płytce perforowanej, przewlekając jego wyprowadzenia przez otwory.

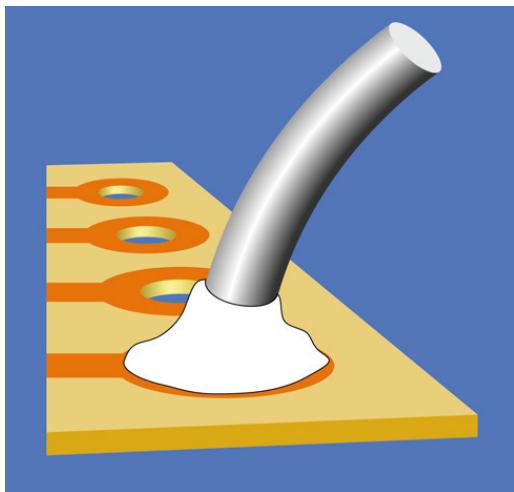
Odwróć płytke i upewnij się, że leży stabilnie. Sprawdź, w którym miejscu wystają z niej przewody (patrz rysunek 4.46). Otwory mają miedzianą metalizację, która łączy się z innymi otworami. Twoim zadaniem jest stopienie cyny w tym miejscu tak, aby przylgnęła ona do wystającego drutu i samej miedzi, tworząc w ten sposób trwałe i solidne połączenie między tymi przewodnikami.



Rysunek 4.46. Spód płytki prototypowej, przez otwór przepięcione złącze komponentu

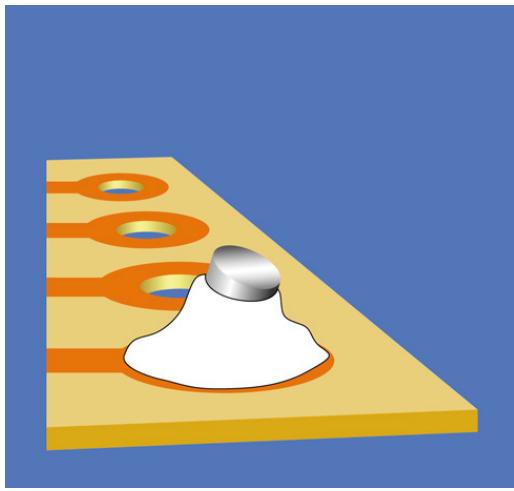
Unieruchom płytke perforowaną za pomocą zacisku lub położyć ją tak, aby była stabilna. Weź do jednej ręki swoją mniejszą lutownicę, a do drugiej cynę. Dotknij grotem przewodu oraz miedzi i przyłoż cynę w to samo miejsce. W ciągu kilku sekund cyna powinna się zacząć topić.

Stop wystarczającą ilość cyny, aby zalała ona miedziane kółko i przewód, tak jak pokazuje to rysunek 4.47. Poczekaj, aż cyna całkowicie stwardnieje, następnie chwyć wystający drut szczypcami i poruszaj nim. Przekonasz się w ten sposób, czy stworzyłeś solidne połączenie. Jeśli wszystko wygląda dobrze,



Rysunek 4.47. Idealnie byłoby, gdyby wykonane przez Ciebie połączenie wyglądało w ten sposób

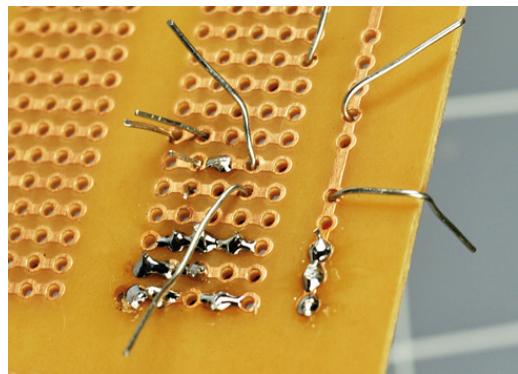
przytnij odstające przewody szczycpcami z ostrzem (patrz rysunek 4.48).



Rysunek 4.48. Nadmiar drutu należy uciąć, gdy spojwo lutowiczne ostygnie i się utwardzi

Ponieważ trudno jest sfotografować połączenie lutowane, do przedstawienia drutu przed wykonaniem połączenia i po jego wykonaniu używam rysunku. Dobrze wykonane połączenie widoczne jest jako biała plama obwiedziona czarną obwódką.

Prawdziwa płytka z wykonanymi połączeniami lutowanymi przedstawiona została na rysunkach 4.49 i 4.50.



Rysunek 4.49. Ta fotografia została wykonana w trakcie przenoszenia komponentów z płytki prototypowej na perforowaną. W jednym kroku do płytki montowane są dwa lub trzy komponenty, a ich wyprowadzenia zostają wygięte, aby uniknąć wypadnięcia



Rysunek 4.50. Po przyutowaniu przycinamy wyprowadzenia i sprawdzamy jakość połączeń przy użyciu szkła powiększającego. Wstawiamy dwa lub trzy kolejne komponenty i powtarzamy cały proces

## Najczęstsze błędy popełniane podczas montowania w płytce perforowanej

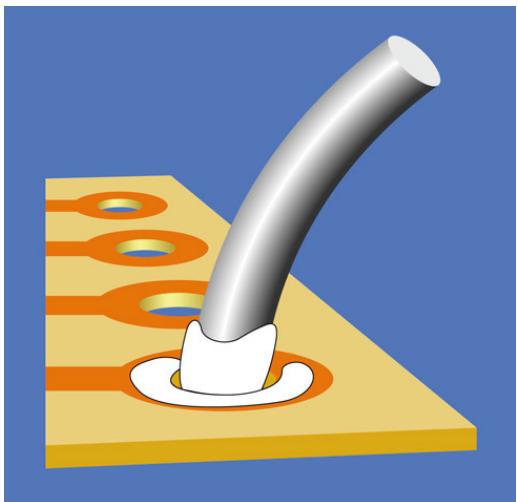
1. **Zbyt dużo cyny.** Zanim się zorientujesz, cyna rozleje się po płytce, przyklejając się do sąsiadujących ścieżek (patrz rysunek 4.51). Kiedy nastąpi taka sytuacja, musisz poczekać, aż cyna ostygnie, a następnie wyciąć ją nożem narzędziowym. Możesz również próbować usunąć ją odsysaczem lub knotem rozlutowniczym, ale osobiście wolę używać noża, ponieważ pozwala on usunąć praktycznie całość spoiwa lutowicznego.



Rysunek 4.51. Zbyt duża ilość cyny może doprowadzić do niechcianego zwarcia z innym przewodnikiem

Nawet mikroskopijna ścieżka cyny wystarczy, aby spowodować zwarcie. Sprawdź połączenia pod szkłem powiększającym, obracając płytę tak, aby światło padało na nią z różnych stron.

**2. Zbyt mało cyny.** Jeżeli połączenie jest słabe, przewód może oderwać się od cyny, kiedy ta



Rysunek 4.52. Zbyt mała ilość cyny (lub niedostateczne rozgrzanie miejsca lutowania) może sprawić, że pokryty cyną drut będzie fizycznie oddzielony od pokrytej cyną ścieżki na płycie. Nawet przerwa o grubości włosia wystarczy, aby uniemożliwić kontakt elektryczny

jeszcze stygnie. Nawet mikroskopijnych rozmiarów przerwa wystarczy, aby układ przestał działać. W przypadkach ekstremalnych cyna przykleja się do drutu i miedzianej ścieżki wokół niego, ale mimo to nie tworzy połączenia między nimi. Widać jedynie przewód pokryty cyną, ale nadal wiszący w powietrzu (patrz rysunek 4.52). Są przypadki, kiedy nie widać tego gołym okiem, a jedynie z bliska, w powiększeniu.

Jeżeli uznasz, że cyny jest za mało, zawsze możesz dodać jej więcej. Pamiętaj, aby wcześniej odpowiednio rozgrzać całe połączenia.

**3. Źle wstawione komponenty.** Bardzo łatwo można umieścić komponent o jedną dziurkę za daleko od pozycji, w której powinien się on znaleźć. Równie łatwo można przeoczyć konieczność stworzenia połączenia.

Sugeruję, abyś wydrukował kopię schematu i za każdym razem, kiedy utworzysz połączenie na płytce perforowanej, oznaczał je na kopii schematu za pomocą markera.

**4. Odpadki.** Podczas przycinania wystających przewodów odcięte fragmenty nie znikają. Zbierają się w miejscu pracy. Każdy z nich ma szansę utknąć gdzieś w płytce, tworząc niechciane połączenie elektryczne.

Przed podłączeniem płytki do prądu wyczyść jej spód starą (suchą) szczoteczką do zębów. Nadmiar topika możesz usunąć szczotką zmoczoną w alkoholu. Dbaj również, aby miejsce Twojej pracy było czyste. Im bardziej będziesz pedantyczny, tym mniej problemów możesz spodziewać się w przyszłości.

Jeszcze raz przypominam, abyś sprawdzał każde połączenie przy użyciu szkła powiększającego.

## PODSTAWY: Wyszukiwanie usterek na płytce perforowanej

Jeżeli obwód wykonany na płytce prototypowej działał poprawnie, a po przeniesieniu na płytę perforowaną przestał działać, to znaczy, że popełniłeś gdzieś błąd. Procedura poszukiwania źródła błędu na płytce perforowanej wygląda nieco inaczej od tej, którą przedstawiłem wcześniej.

Na początku przyjrzyj się rozmieszczeniu komponentów — to najprostsza rzecz, którą możesz sprawdzić.

Jeżeli wszystkie komponenty są we właściwych miejscach, to podłącz płytkę do zasilania i delikatnie ją zegnij. Jeżeli układ nagle zacznie działać, to znaczy, że jedno z połączeń lutowniczych zostało wykonane niepoprawnie i cyna nie łączy przewodników w sposób pewny.

Następnie zakotwicz czarną końcówkę miernika w ujemnym punkcie zasilania, włącz zasilanie i sprawdź za pomocą czerwonego próbnika napięcie w układzie punkt po punkcie, idąc od góry do dołu. W większości obwodów każdy z komponentów będzie pod jakimś napięciem. Jeżeli napięcie jest zerowe lub wskazania miernika nie są stałe, to znaczy, że znalazłeś nieprawidłowo wykonane połączenie. Połączenie może być wykonane nieprawidłowo nawet wtedy, gdy wygląda na wykonane prawidłowo.

Podczas szukania nieprawidłowych połączeń przydatne jest jasne światło generowane przez lampa stojącą na Twoim biurku i szkło powiększające. Przerwa o długości 0,02 mm lub mniejszej wystarcza do przerwania przepływu prądu przez obwód. Do zauważenia tak małych przerw niezbędne są dobra lupa i jasne światło.

Brud, wilgoć i klej mogą powodować nieprawidłowe przyczepianie się spoiwa lutowniczego do drutów lub miedzianych ścieżek. To kolejny powód, dla którego powinieneś zachowywać czystość w miejscu pracy.

## Obudowa projektu

Najprostszym sposobem na zamknięcie płytki perforowanej w obudowie jest skorzystanie z obudowy projektowej (zakup takiej obudowy sugerowałem na początku rozdziału 3.). Istnieją setki różnych wariantów takich obudów. Obudowy wykonane z aluminium wyglądają schludnie i profesjonalnie, ale obwód należy chronić przed zwarciem, które może zostać wywołane przez wewnętrzne ściany obudowy. Łatwiej jest korzystać z obudów plastikowych. Ponadto są one tańsze.

Aby wykonać profesjonalnie wyglądającą obudowę, nie wystarczy wykonanie otworów w dowolnym miejscu (w otworach tych będziesz montował przełączniki i diody LED). Powinieneś narysować układ tych komponentów na papierze (możesz w tym celu skorzystać również z komputerowego edytora grafiki, a następnie wydrukować efekt swojej pracy). Upewnij się jedynie, że każda część ma zapewnioną odpowiednio dużą ilość miejsca, i spróbuj rozmieścić je podobnie do ich położenia na schemacie. Zminimalizujesz w ten sposób prawdopodobieństwo popełnienia błędu.

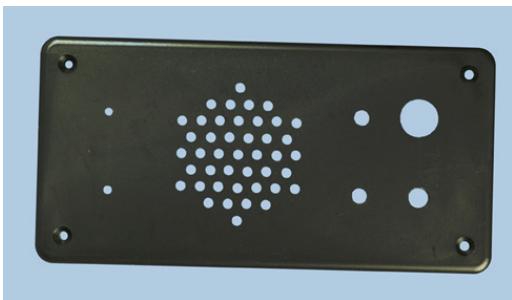
Przyklej swój rysunek do wewnętrznej strony panelu frontowego, tak jak pokazuje to rysunek 4.53, a następnie użyj narzędzi z ostrym końcem (może to być na przykład punktak lub igła), aby zaznaczyć



Rysunek 4.53. Wydrukowany układ przełączników, diod LED i innych komponentów został przyklejony do wewnętrznej części panelu frontowego obudowy. Przyciśkając punktak przez papier do plastiku w miejscach wyznaczających środki otworów, wyznaczyliśmy wszystkie miejsca wiercenia

w plastiku wszystkie miejsca, gdzie powinny po-wstać otwory. Powstałe wgłębienia ułatwiają prowadzenie wiertła dokładnie w środku miejsca, gdzie spodziewany jest otwór.

Jeżeli korzystasz z układu generatora sygnału audio podłączonego do głośnika (korzystasz z samodzielnie wykonanego układu, a nie z gotowej syreny), to pamiętaj, że musisz wykonać wiele otworów, aby umożliwić wydobywanie się dźwięku z głośnika, który zamontowany zostanie pod panelem frontowym. Wykonany przeze mnie panel pokazuje rysunek 4.54.



Rysunek 4.54. Zewnętrzna część panelu po zakończeniu wiercenia otworów. Jeżeli miejsca na otwory zostały zaznaczone precyzyjnie, otrzymamy bardzo ładny efekt, posługując się zwykłą wiertką bezprzewodową

Umieściłem na górze wszystkie komponenty oprócz gniazda zasilającego, które znalazło się na jednym z boków. Każdy otwór musi mieć odpowiednio duży rozmiar, aby zmieściła się w nim dana część. Do ustalenia grubości wiertel przyda się suwmarka. Jeżeli nie posiadasz jej, zgadnij, które wiertło będzie odpowiednie (lepiej wybrać wiertła za małe niż za duże). Zbyt mały otwór możesz poszerzyć minimalnie **fazownikiem**. W ten sposób komponent wejdzie weń ciasno. Taka sytuacja może mieć miejsce, jeśli wywiercisz otwór wiertłem 3/16 cala pod diodę o średnicy 5 mm. Powiększ minimalnie taki otwór, a dioda powinna wejść bardzo ciasno.

Jeśli głośnik nie posiada otworów montażowych, będziesz musiał go przykleić. Ja użyłem do tego celu błyskawicznego kleju epoksydowego. Nie przesadź z jego ilością. Klej nie może dotknąć membrany głośnika.

Wiercenie dużych otworów w cienkim, miękkim plastiku obudowy może być trochę problematyczne. Wiertło ma tendencję do zakopywania się i tworzenia nieprecyzyjnego wycięcia. Możesz podejść do tego problemu na jeden z trzech sposobów:

- Użyj otwornicy do wiercenia w drewnie, która tworzy bardzo precyzyjne otwory.
- Wywierć kilka otworów, zwiększając za każdym razem średnicę wiertła.
- Wywierć mniejszy otwór, a następnie poszerz go, używając fazownika.

Niezależnie od tego, które podejście wybierzesz, będziesz potrzebował zacisku, który przytrzyma panel w taki sposób, aby jego zewnętrzna strona była skierowana w dół i oparta na kawałku drewnianej deski lub sklejki. Wierć od środka, przedostając się przez plastik do drewna.

Po wywierceniu wszystkich otworów zamontuj wszystkie komponenty na panelu (patrz rysunek 4.55) i przenieś uwagę na wnętrze obudowy.



Rysunek 4.55. Widziany od spodu panel czolowy z zamontowanymi częściami. Głośnik został przyklejony. Nadmiar kleju został rozprowadzony wokół diod LED

## Lutowanie przełączników

Na początek musisz określić orientację przełącznika. Za pomocą miernika zbadaj, które ze styków są połączone w danej pozycji przełącznika oraz kiedy przycisk jest przyciśnięty. Prawdopodobnie będziesz chciał, aby przycisk przechodził w pozycję włączoną, kiedy dźwignia przełącznika jest skierowana do góry. Na rysunku 4.55 pokazano spodnią część mojego panelu. Zastosowałem przełącznik DPDT, ponieważ akurat miałem go pod ręką. W tym projekcie potrzebujesz tylko przełącznika SPST.

Pamiętaj, że środkowa końcówka dowolnego przełącznika dwupozycyjnego jest niemal zawsze biegunem przełącznika łączącym końcówki znajdujące się nad i pod nim.

Do łączenia płytka z elementami na panelu lepiej nadaje się przewód w formie linki, ponieważ jest bardziej giętki i wywiera mniejszą siłę na połączenia lutowane. Zaplatanie przewodów w warkocze zapobiega nadmiernemu bałaganowi wewnętrz płytki.

Mała lutownica generuje zbyt mało ciepła, aby móc stworzyć dobre połączenia lutowane pomiędzy przewodami a końcówkami przełączników. W tych miejscach możesz użyć lutownicy o większej mocy, ale nie zapomnij umieścić dobrego odprowadzenia ciepła chroniącego diody LED, jeśli te zostały już zamontowane, i nie przedłużaj kontaktu rozgrzanego grota lutownicy z czymkolwiek przez dłużej niż 10 sekund. Po tym czasie izolacja zacznie się szybko topić i nawet wewnętrzne części przełączników mogą zostać narażone na uszkodzenie.

W projektach bardziej złożonych niż ten wskazane byłoby połączenie panelu frontowego z płytka w sposób bardziej przemyślany. Do tego celu idealnie nadawałaby się wielokolorowa taśma przewodów z gniazdem i wtyczką, pozwalającą podłączyć całość do płytka. Ponieważ jest to projekt wstępny, nie poszedłem tak daleko. Przewody sterczą sobie wszędzie (patrz rysunek 4.56).



Rysunek 4.56. Splecone przewody zostały przydrzewione metodą punktową; jest to mały projekt, więc nie starałem się korzystać z bardziej przemyślanych rozwiązań

## Montaż płytka obwodu

Płytkę z układem elektronicznym będzie przymocowana na dole czterema śrubami M3 z podkładkami i przeciwnakrętkami. Musisz użyć przeciwnakrętek, aby wyeliminować ryzyko odkręcenia samej nakrętki i dostania się pomiędzy komponenty, gdzie mogłyby doprowadzić do zwarcia.

Będziesz musiał przyciąć samą płytę perforowaną, aby dopasować ją do obudowy. Bądź ostrożny. W trakcie cięcia nie możesz uszkodzić żadnego znajdującego się na niej komponentu. Korzystałem z pilarki taśmowej, ale równie dobrze płytka można przyciąć za pomocą piłki do cięcia metalu. Pamiętaj, że płytka perforowana często zawiera włókno szklane, które może stąpić piłę do drewna.

Po zakończeniu cięcia sprawdź, czy na spodzie płytka nie pojawiły się miedziane ścieżki oderwane od podłożu.

Wywierć otwory w płytce perforowanej, ponownie zwracając uwagę, aby nie uszkodzić żadnego

z komponentów. Następnie zaznacz otwory w plastikowym dnie obudowy i wywierć je. Wygładź otwory nawiertnikiem (możesz na przykład wykonać zagłębienia, dzięki którym głowka śruby schowa się w plastiku i nie będzie wystawać ponad powierzchnię). Wepchnij śrubki od spodu i zainstaluj płytkę. Ponieważ używasz przeciwnakrętek, które przeciwdziałają poluzowaniu mocowania, nie ma potrzeby zbyt mocnego dokręcania.

Po przyjmocowaniu płytki do obudowy na wszelki wypadek sprawdź jeszcze raz cały układ.

### **UWAGA: Nie napinaj nadmiernie płytki**

Nie przesadzaj z siłą, jaką użyjesz do przykręcenia płytki. Nadmierne napięcie materiału może spowodować wyrwanie połączenia lub miedzianej ścieżki z płytki.

### **Test końcowy**

Jeżeli skończyłeś pracę nad projektem, a nie wykonałeś jeszcze sieci składającej się z czujników magnetycznych, to na razie możesz ją zastąpić kawałkiem drutu. Dla ułatwienia w mojej wersji projektu zastosowałem parę **zacisków śrubowych**, ale również dobrze parę przewodów łączących czujniki z płytą móglibyś wyrowadzić z obudowy poprzez mały otwór wykonany w jej pokrywie.

Jeżeli wszystko działa zgodnie z zamierzeniami, nadeszła pora wepchnięcia przewodów do środka i przykręcenia górnej części obudowy. Używasz dużej obudowy, więc nie ma ryzyka przypadkowego zetknięcia się ze sobą metalowych części, ale na wszelki wypadek postępuj ostrożnie. Ukończony przez mnie projekt pokazano na rysunku 4.57.

### **Instalacja alarmu**

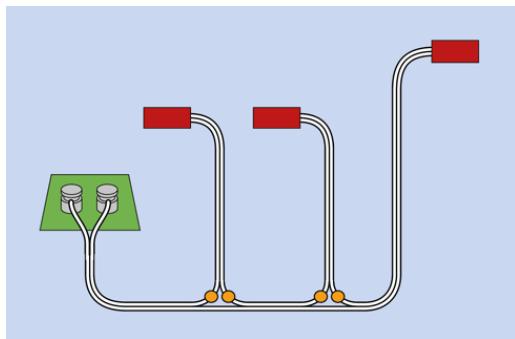
Zanim zainstalujesz swoje magnetyczne czujniki alarmowe, powinieneś przetestować każdy z nich, przesuwając część z magnesem w pobliżu samego przełącznika i mierząc jednocześnie jego przewodzenie miernikiem. Przełącznik powinien zamknąć



Rysunek 4.57. Gotowy alarm

obwód, kiedy magnes znajdzie się blisko, i otworzyć go, gdy magnes zostanie odsunięty.

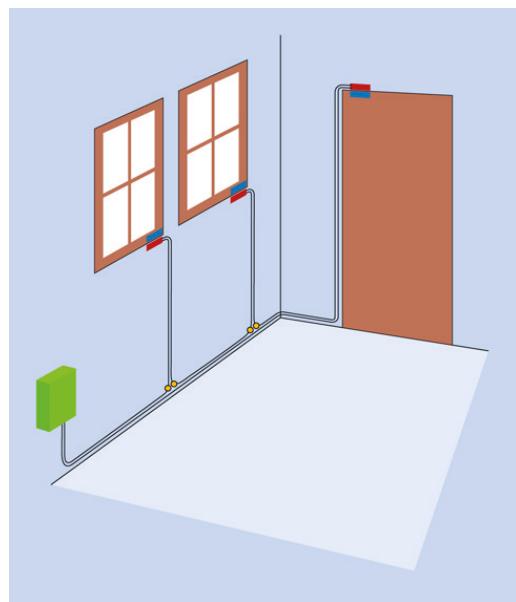
Narysuj następnie schemat połączenia wszystkich czujników razem. Pamiętaj, że muszą być połączone szeregowo, nie równolegle! Tę koncepcję pokazuje rysunek 4.58. Dwa końce przewodów



Rysunek 4.58. Do podłączenia końcówek alarmu z przełącznikami magnetycznymi (przedstawionymi jako ciemnoczerwone prostokąty) można użyć białego dwużyłowego przewodu. Ponieważ czujniki muszą być połączone szeregowo, drut należy pociąć, a następnie połączyć w miejscach zaznaczonych pomarańczowymi kropkami

prowadzi do zacisków Twojego urządzenia kontrolującego (pokazanego na zielono), natomiast ciemnoczerwone prostokąty są przełącznikami magnetycznymi na drzwiach i oknach. Ponieważ przewód do tego typu instalacji ma zazwyczaj dwa przewody, możesz ułożyć go w sposób pokazany na rysunku, a następnie pociąć i złutować, aby utworzyć odpowiednie rozgałęzienia. Miejsca lutowania zostały pokazane jako pomarańczowe kropki. Zwróć uwagę, w jaki sposób prąd przepływa szeregowo przez wszystkie przełączniki, zanim powróci do układu kontrolnego.

Rysunek 4.59 pokazuje tę samą sieć w sytuacji, kiedy masz dwa okna i drzwi. Niebieskie prostokąty to moduły magnetyczne, które aktywują przełączniki.



**Rysunek 4.59.** W instalacji składającej się z dwóch okien i drzwi przełączniki magnetyczne (niebieskie prostokąty) mogłyby być ułożone tak, jak pokazuje to rysunek. W ich pobliżu znaleźć powinny się przełączniki (zaznaczone kolorem ciemnoczerwonym)

Bez wątpienia będziesz potrzebował sporej ilości przewodu. Może to być biała dwużyłowa linka używana do podłączania dzwonków lub termostatów. Zazwyczaj jest to przewód o średnicy 0,81 mm lub grubszy.

Po zainstalowaniu wszystkich przełączników końcówki prowadzące normalnie do obudowy alarmu podłącz do swojego miernika. Ustaw miernik na pomiar ciągłości obwodu i otwieraj kolejno każde z okien i drzwi podłączonych do instalacji. Sprawdź, czy obwód jest przerywany. Jeżeli wszystko jest w porządku, podłącz przewody do obudowy.

Teraz zajmijmy się zasilaniem. Użyj swojego zasilacza ustawionego na 9 V z odpowiednią wtyczką. Ewentualnie podłącz taką wtyczkę do 9-woltowej baterii. Obwód można zasilać również za pomocą akumulatora przeznaczonego do instalacji alarmowych, dostarczającego prąd o napięciu 12 V, ale w takim przypadku będziesz musiał wymienić przekaźnik na model przystosowany do pracy z napięciem 12 V.

Pozostaje już tylko opisać przełącznik, przycisk, gniazdo zasilania i zaciski przewodów sieci alarmowej. Wiesz, że przełącznik włącza i wyłącza zasilanie, a przycisk testuje obwód i układ dźwiękowy, ale inne osoby nie mają o tym pojęcia, a zapewne będziesz chciał, aby pod Twoją nieobecność mogli skorzystać Twoi goście. Nie ma również gwarancji, że Ty sam będziesz pamiętał przeznaczenie poszczególnych kontrolek po miesiącach lub latach.

## Podsumowanie

Projekt alarmu przeprowadził Cię przez podstawowe etapy, z którymi będziesz miał na ogół do czynienia podczas tworzenia dowolnego rozwiązania:

- Opracuj listę oczekiwanych funkcji.
- Określ właściwe komponenty.
- Narysuj schemat i upewnij się, że dobrze rozumiesz jego działanie.
- Zmodyfikuj go tak, aby nadawał się do połączenia na płytce prototypowej.
- Zainstaluj komponenty na płytce prototypowej i przetestuj podstawowe funkcje.
- Dokonaj niezbędnych modyfikacji i poprawek. Przetestuj całość ponownie.

- Przenieś wszystko na płytę perforowaną, przetestuj i wyśledź błędy, jeśli zachodzi taka konieczność.
- Dodaj przełączniki, przyciski, gniazdo zasilające oraz wtyczki (lub gniazdka) potrzebne do połączenia obwodu ze światem zewnętrznym.
- Zmontuj wszystko w obudowie (opisz wszystkie kontrolki).

## Eksperyment 19: Miernik czasu reakcji

Układ czasowy 555 może pracować z częstotliwością tysięcy cykli na sekundę. To pozwala nam użyć go do pomiaru czasu reakcji człowieka. Mając takie urządzenie, możesz zorganizować zawody ze swoimi przyjaciółmi, aby przekonać się, kto potrafi szybciej zareagować, a także jak na ten parametr wpływa nastrój, pora dnia czy ilość snu podczas ostatniej nocy.

Sam układ nie jest skomplikowany, ale wymaga sporej liczby przewodów i zmieści się jedynie na płycie prototypowej posiadającej przynajmniej 60 rządów. Nic nie stoi na przeszkodzie, aby budować go stopniowo (tak jak obwód opisany w eksperymencie numer 18), co pozwoli Ci wykryć ewentualne błędy w okablowaniu. Jeżeli wszystko będzie przebiegało bez przeskód, to projekt ten możesz wykonać w ciągu kilku godzin.

### Potrzebne będą:

- płytka prototypowa, drut połączeniowy, szczypce do cięcia drutu, przyrząd do zdejmowania izolacji i multimetru,
- źródło prądu o napięciu 9 V (bateria lub zasilacz),
- układ 4026B, liczba: 3,
- układ 555, liczba: 3,
- rezystory:  $470\ \Omega$  (liczba: 2),  $680\ \Omega$  (liczba: 3),  $10\ k\Omega$  (liczba: 6),  $47\ k\Omega$  (liczba: 1),  $100\ k\Omega$  (liczba: 1),  $330\ k\Omega$  (liczba: 1),

- kondensatory:  $0,01\ \mu F$  (liczba: 2),  $0,047\ \mu F$  (liczba: 1),  $0,1\ \mu F$  (liczba: 1),  $3,3\ \mu F$  (liczba: 1),  $22\ \mu F$  (liczba: 1),  $100\ \mu F$  (liczba: 1),
- mikroprzełączniki (SPST chwilowe), liczba: 3,
- standardowe diody LED: jedna czerwona i jedna żółta,
- potencjometr dostrojczy  $20\ k\Omega$  lub  $25\ k\Omega$ , liczba: 1,
- trzy wyświetlacze siedmiosegmentowe o wysokości  $1,42\ cm$ , najlepiej, aby wyświetlacz był wykonany na bazie niskoprądowych, czerwonych diod i pracował pod napięciem 2 V przy prądzie przewodzenia 5 mA (preferuję wyświetlacz Avago HDSP-513A, ale możesz korzystać również z modułów Lite-On LTS-546AWC lub Kingbright SC56-11EWA, lub podobnych).

### UWAGA: Chroń układy scalone przez ładunkami elektrostatycznymi

Układ czasowy 555 nie jest komponentem, który łatwo uszkodzić, ale w tym eksperymencie będziemy korzystać z układu typu CMOS (licznika 4026B), który jest bardziej wrażliwy na wpływ ładunków elektrostatycznych.

Rzyko uszkodzenia trzymanej przez Ciebie kości zależy od wielu czynników: wilgotności otoczenia, butów, jakie nosisz, i materiału pokrywającego podłogę, na której stoisz. Niektóre osoby mają większą tendencję do gromadzenia ładunków elektrostatycznych od innych. Nie mogę wytlumaczyć tego zjawiska. Nigdy nie uszkodziłem układu scalonego ładunkiem elektrostatycznym, ale znam osoby, którym taka sytuacja się przydarzyła.

Jeżeli masz tendencję do gromadzenia ładunków elektrostatycznych, to prawdopodobnie o tym wiesz, ponieważ często zdarza Ci się czuć uszczypnięcie, gdy dotykaszt metalowych klamek lub stalowych kurków. Jeżeli czujesz potrzebę ochrony czipów przed takim zagrożeniem, to najprostszym sposobem jest uziemienie siebie. Najlepiej jest uziemić się

za pomocą opaski przewodzącej przyczepionej za pomocą rzepów do nadgarstka. Opaska taka może być połączona z dużym metalowym obiektem za pomocą rezystora charakteryzującego się dużą rezystancją (zwykle  $1 \text{ M}\Omega$ ).

Jeżeli otrzymałeś przesyłkę zawierającą kości, to zwykle są one zapakowane w plastikowe osłony, a ich złącza są wetknięte w piankę przewodzącą. Rozwiązań te pozwalają na utrzymanie tego samego potencjału przy wszystkich złączach układu scalonego. Układy wyjęte z opakowania możesz wetknąć we fragment zwykłej folii aluminiowej (jeżeli nie posiadasz pianki przewodzącej).

### **UWAGA: Zachowaj ostrożność, uziemiając się**

Rezystor wbudowany w antystatyczną opaskę zapobiega Cię przed porażeniem prądem w przypadku dotknięcia drugą ręką do czegoś charakteryzującego się wysokim potencjałem. Jest to ważne, ponieważ porażenie prądem płynącym pomiędzy rękami wiąże się z przepływem prądu przez klatkę piersiową i możliwością zatrzymania akcji serca.

Jeżeli uziemisz się za pomocą zwykłego przewodu, to stracisz ten mechanizm ochronny. Warto ponieść ten niewielki wydatek i zaopatrzyć się w opaskę antystatyczną.

Wróćmy do eksperymentu.

### **Szybka demonstracja**

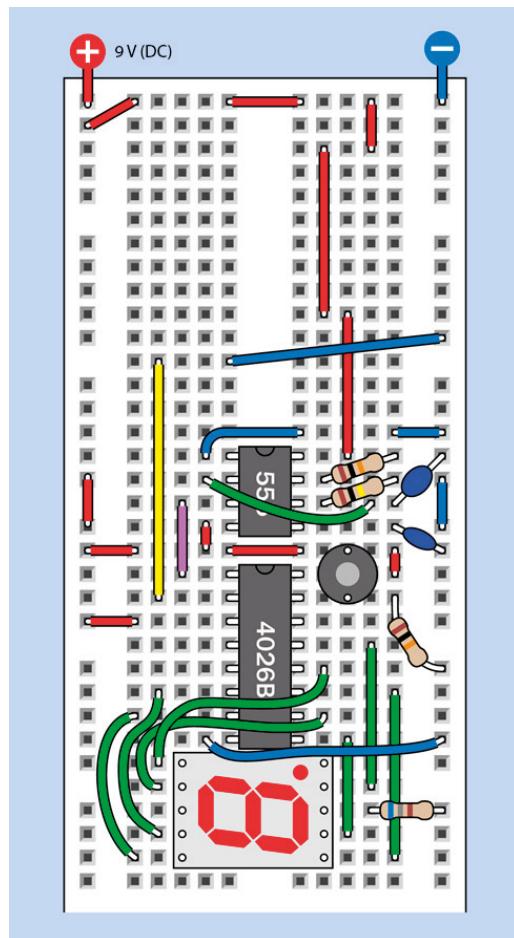
W poprzednim wydaniu tej książki sugerowałem użycie jednego wyświetlacza trzycyfrowego. W tym wydaniu postanowiłem zastosować trzy niezależne moduły. Koszt projektu nieznacznie wzrósł, ale schemat uległ znacznemu uproszczeniu. Ponadto wydaje mi się, że jednocyfrowe wyświetlacze będą dostępne jeszcze przez wiele lat.

Zasugerowałem użycie wyświetlacza o wysokości 1,42 cm, ponieważ jest to wysokość standardowego wyświetlacza, który charakteryzuje się standardową

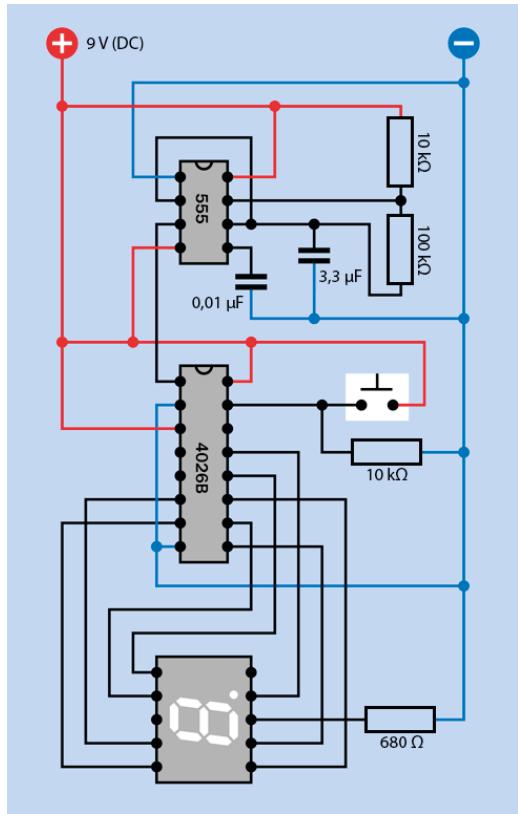
konfiguracją złączy. Mniejsze wyświetlacze mogą charakteryzować się inną konfiguracją złączy. Większe wyświetlacze mogą nie zmieścić się na płytce prototypowej.

Poznajmy działanie wyświetlacza i podłączonego do niego układu 4026B.

Pierwszy moduł tego obwodu pokazano na rysunku 4.60. Jeżeli łatwiej Ci jest zrozumieć działanie obwodu na podstawie schematu ideowego, to znajdziesz go na rysunku 4.61.



**Rysunek 4.60.** Pierwszy moduł miernika refleksu demonstruje działanie układu licznika, który steruje pracą jednocyfrowego wyświetlacza diodowego



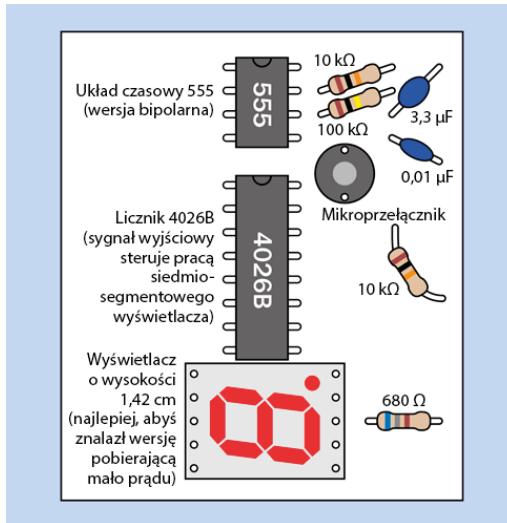
Rysunek 4.61. Schemat ideowy pierwszego modułu

Na rysunku 4.62 pokazano dane charakteryzujące komponenty.

Na płytce zainstalujesz jeszcze wiele komponentów (na koniec pracy płytkę będzie zapełniona komponentami), a więc komponenty musisz zainstalować dokładnie w tych samych miejscach, w których są one widoczne na rysunku 4.60. Dokładnie licz rzędy i kolumny otworów! Na płytce widoczne są przewody, które wydają się nie mieć żadnego celu (po co umieściłem na płytce te wszystkie czerwone druty?), ale w przyszłości pozwolą one na montaż kilku kolejnych układów czasowych 555.

Podłącz obwód do zasilacza lub baterii 9 V. Wyświetlacz powinien zacząć liczyć w kółko od 0 do 9.

Jeżeli nie widzisz cyfr, to włącz multimeter w tryb pomiaru napięcia prądu stałego. Podłącz czarny próbnik do ujemnej szyny zasilającej, a czerwonym



Rysunek 4.62. Charakterystyki komponentów tworzących obwód pierwszego modułu

próbnikiem sprawdź napięcie w kluczowych miejscach obwodu, takich jak piny zasilające układy scalone. Jeżeli napięcia są poprawne, to upewnij się, że rezistor w prawym dolnym rogu układu charakteryzuje się rezystancją  $680\ \Omega$ , a nie  $68\ k\Omega$  lub  $680\ k\Omega$  (oznaczenia tych rezystorów są podobne).

Jeżeli na ekranie widzisz fragmenty cyfr lub cyfry, które nie są wyświetlane w odpowiedniej kolejności, to znaczy, że popełniłeś błąd, podłączając zielone przewody do układu 4026B.

Jeżeli na wyświetlaczu wyświetlane jest zero i wskaźniki wyświetlacza nie zmieniają się, to znaczy, że układ czasowy 555 został podłączony w niewłaściwy sposób lub połączenie pomiędzy układem czasowym a układem 4026B zostało wykonane nieprawidłowo.

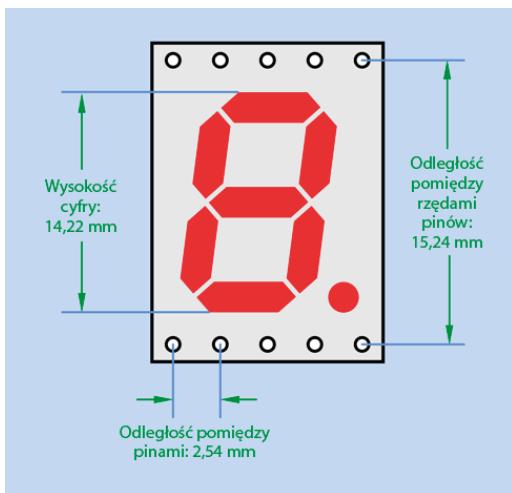
Gdy wyświetlacz będzie działał poprawnie, wciśnij przycisk i zauważ, że powoduje to wyświetlenie liczby 0. Po zwolnieniu przycisku liczenie zostanie wznowione.

Stworzyliśmy podstawy testera refleksu. Musimy dodać do obwodu jeszcze kilka cyfr, zwiększyć szybkość liczenia i dokonać kilku innych modyfikacji, ale najpierw wyjaśnię pracę tego obwodu.

## PODSTAWY: Wyświetlacz diodowe

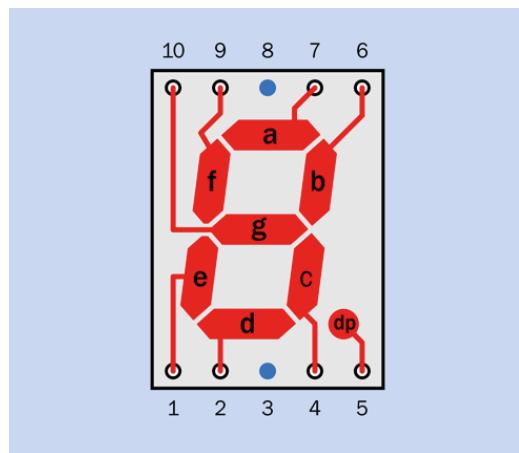
Termin „dioda LED” jest nieco mylący. W poprzednich eksperymetach korzystałeś z komponentu, który należałoby właściwie nazwać **standardową diodą LED, diodą LED przeznaczoną do montażu przepłatanego lub wskaźnikiem diodowym**. Był to mały, okrągły komponent z dwoma złączami wyprowadzonymi z jego podstawy. Komponenty takie są na tyle popularne, że określa się je po prostu mianem „dioda LED”, ale komponenty te wchodzą w skład innych komponentów, w tym również w skład wyświetlaczy stosowanych w tym projekcie. Komponent ten określa się mianem **wyświetlacza diodowego**, a dokładnie rzecz biorąc — **diodowego wyświetlacza siedmiosegmentowego**.

Wymiary wyświetlacza pokazano na rysunku 4.63. Zaznaczono na nim również umiejscowienie złącz po drugiej stronie komponentu. Zwróć uwagę na to, że wyświetlacz składa się z siedmiu segmentów oraz dodatkowego separatora dziesiętnego w postaci kropki. Odstępy pomiędzy pinami są wielokrotnością 2,54 mm, dzięki temu można zainstalować wyświetlacz na płytce prototypowej.



Rysunek 4.63. Wymiary standardowego wyświetlacza siedmiosegmentowego

Teraz przyjrzyj się rysunkowi 4.64. Przedstawiono na nim wewnętrzne połączenia pomiędzy segmentami



Rysunek 4.64. Schemat numeracji pinów i konfiguracji złącz komponentu

wyświetlacza i pinami. Piny numer 3 i 8 oznaczono kolorem niebieskim, co sugeruje konieczność podłączenia ich do masy. Wszystkie pozostałe piny należy podłączać do potencjałów dodatnich w celu uruchomienia danego segmentu. Są to diody LED o **wspólnej katodzie** — katody wszystkich diod wchodzących w skład wyświetlacza są ze sobą połączone.

Odwrotną konstrukcją jest wyświetlacz o **wspólnej anodzie**. Elementy takiego wyświetlacza są aktywowane poprzez przyłożenie ujemnego potencjału do odpowiednich złącz. Wszystkie diody mają wspólne złącze podłączone do dodatniego potencjału. Wybór wyświetlacza zależy od konstrukcji danego obwodu, ale wyświetlacze o wspólnej katodzie są częściej stosowane.

Segmenty wyświetlacza są oznaczone małymi literami od a do g, a separator dziesiętny oznaczono akronimem dp. Oznaczenia takie są spotykane w większości not katalogowych (w niektórych dokumentacjach separator dziesiętny oznaczany jest literą h).

Wszystko wydaje się proste, ale pominąłem jedną ważną informację: wszystkie diody wyświetlacza muszą być chronione za pomocą rezystorów ograniczających. Jest to kłopotliwe i możesz zastanawiać się, dlaczego rezystory nie zostały wbudowane

w wyświetlaczu. Wyświetlacz może pracować w obwodach o różnym napięciu, a rezystancja ograniczająca prąd musi być dobrana do napięcia.

Czy nie możemy podłączyć tylko jednego rezystora do pinu numer 3, który chroniłby wszystkie diody? Można to zrobić, ale rezistor będzie wywoływał spadek napięcia i ograniczał przepływ prądu zasilającego różną liczbę diod, zależną od tego, jaką cyfrą jest akurat wyświetlana. Do wyświetlania cyfry 1 zapalone są tylko dwa segmenty, a do wyświetlania cyfry 8 używanych jest siedem segmentów. W związku z tym niektóre cyfry będą jaśniejsze od innych.

Czy jest to ważne? Uważam, że w celu zademonstrowania pracy wyświetlacza ważniejsza jest prostota niż dążenie do ideału. Jeżeli przyjrzesz się rysunkowi 4.60, to zobaczysz, że w dolnym prawym rogu płytki umieściłem rezistor  $680\ \Omega$ , który łączy wyświetlacz z ujemną szyną zasilającą. Nie jest to dobre rozwiązanie, ale w tym projekcie będziesz korzystał z trzech takich wyświetlaczów i lepiej byłoby, gdybyś korzystał tylko z trzech rezystorów ograniczających, a nie 21.

## PODSTAWY: Licznik

Układ scalony 4026B określany jest mianem **licznika dziesiętnego**, ponieważ wyświetla dziesięć cyfr. Większość liczników posiada **kodowane wyjścia** (sygnał wyjściowy jest kodowany w formacie binarnym, co omówię w dalszej części tego projektu). Pracujemy z innym licznikiem. Zastosowany przez nas komponent jest wyposażony w siedem pinów wyjściowych, które są zasilane w pewnej kolejności. Rozwiązań takie pozwala na bezpośrednie sterowanie wyświetlaczem siedmiosegmentowym. Inne liczniki wymagałyby zastosowania **sterownika**, który dokonywałby konwersji binarnego sygnału wyjściowego na sygnały akceptowane przez wyświetlacz siedmiosegmentowy. Układ 4026B to tak naprawdę dwa komponenty zamknięte we wspólnej obudowie.

Korzystanie z tego układu jest wygodne. Jedyną jego wadą jest to, że jest on wykonany w starej technologii CMOS i może przewodzić prąd o niskim natężeniu. Według dokumentacji nie powinniśmy

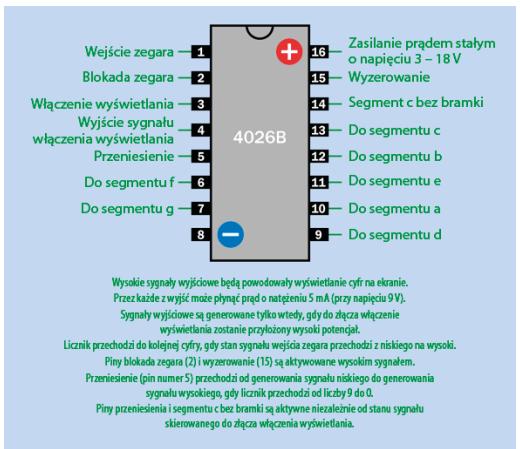
dopuszczać do przepływu przez złącza prądu o natężeniu przekraczającym 5 mA przy napięciu 9 V.

Idealnie byłoby, gdybyś przepuścił sygnał wyjściowy generowany przez licznik przez zestaw tranzystorów, który by go wzmacnił. Możesz kupić układ scalony zawierający siedem par tranzystorów, który doskonale nadaje się do zastosowania w tym projekcie. Nosi on nazwę **układu Darlingtona**. (A gdybyś chciał wyświetlić separator dziesiętny? Możesz kupić inny układ scalony, składający się z ośmiu par tranzystorów).

W tym projekcie mógłbym zastosować trzy układy Darlingtona sterujące pracą trzech wyświetlaczy diodowych, ale skomplikowałoby to obwód i zwiększyło koszt jego wykonania. Ponadto wymagałoby to zastosowania dwóch płyt prototypowych. W związku z tym zdecydowałem się na zastosowanie wyświetlaczy wyposażonych w niskoprądowe diody LED, które można podłączać bezpośrednio do licznika. Nie generują one jasnego światła, ale wystarczą do naszego projektu. Zastosowałem rezistor  $680\ \Omega$ , ponieważ powinien on ograniczyć prąd płynący przez każdy z pinów licznika do 5 mA. Ponadto doprowadza on do spadku napięcia prądu dopływającego do diod LED o około 2 V (spadek zależy od liczby świecących segmentów).

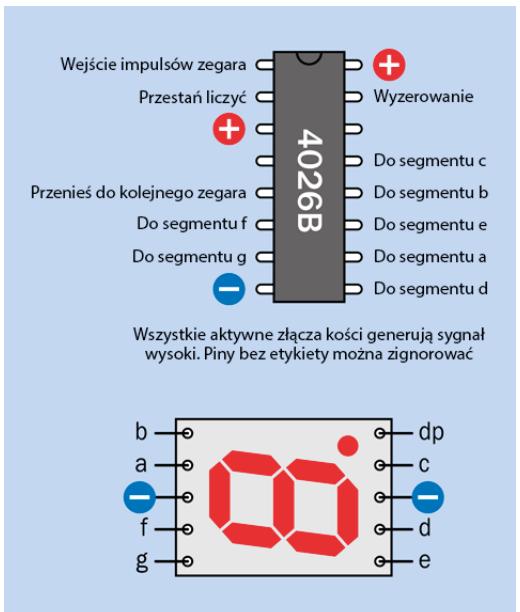
Czas opisać pracę układu 4026B. Układy liczników zawsze charakteryzują się kilkoma przydatnymi funkcjami. Przyjrzy się rysunkowi 4.65. Przedstawiono na nim konfigurację złączy czipu. Funkcje pinów oznaczonych etykietami typu „Do segmentu” są łatwe do zrozumienia. Wystarczy połączyć każdy z tych pinów z odpowiednim pinem wyświetlacza diodowego za pomocą przewodu. Jeżeli przyjrzesz się rysunkowi 4.60, to zobaczysz zielone przewody łączące wyjścia licznika z wejściami wyświetlacza.

Pin numer 8 jest złączem masy, a pin numer 16 jest złączem dodatkowej szyny zasilającej. W przypadku prawie wszystkich układów scalonych zasilanie jest podłączane do tych przeciwnych złączy. Wyjątek stanowi układ czasowy 555, który w praktyce jest zaliczany do układów analogowych.



**Rysunek 4.65.** Konfiguracja złączy licznika 4026B, który generuje niezakodowany sygnał wyjściowy, sterując pracą siedmiosegmentowego wyświetlacza

Nie wszystkie informacje przedstawione na rysunku 4.65 będą Ci potrzebne podczas pracy nad tym projektem. Na rysunku 4.66 przedstawiłem uproszczoną konfigurację złączy licznika. Przedstawiłem na niej tylko te złącza, z których będziemy korzystać.



**Rysunek 4.66.** Uproszczony schemat konfiguracji złączy licznika i wyświetlacza. Układy są ułożone tak, jak będą ułożone na płytce prototypowej

Przyjrzyj się pinowi wyzerowania (numer 15), a następnie spojrzy na rysunek 4.60. Przycisk będący mikroprzelłącznikiem jest zainstalowany tak, że dostarcza prąd o dodatnim potencjałe do tego pinu. Prąd dopływa do tego przycisku poprzez czerwone przewody, o których pisałem wcześniej.

Gdy przycisk nie jest wciskany, do pinu wyzerowania nie dopływa prąd o dodatnim potencjałe. Pin ten jest jednak na stałe podłączony do zbiorczej szyny masy za pośrednictwem rezystora 10 kΩ. Jest to **rezistor ściągający**. Do momentu wciśnięcia przycisku ściąga on napięcie przyłożone do tego pinu do niemal zera. Po wciśnięciu przycisku dopływ dodatniego prądu przewyższy ujemny potencjał płynący przez rezystor. Pamiętaj o tym, że do układów cyfrowych należy dostarczać sygnały o określonym napięciu. W przeciwnym razie nie będą działały prawidłowo. Pisałem o tym wcześniej, ale chciałbym Ci o tym przypomnieć, ponieważ jest to częsta przyczyna błędów.

- Aby potencjał wejścia był normalnie wysoki, należy połączyć go z dodatnią szyną zasilającą za pośrednictwem rezystora 10 kΩ, a przynajmniej taki rezistor należy stosować w obwodach zaprezentowanych w tej książce. Gdy chcesz ściągnąć ten potencjał, to musisz zastosować przełącznik lub inny komponent niwelujący działanie rezystora, tworząc bardziej bezpośrednie połączenie z szyną masy.
- Aby potencjał wejścia był normalnie niski, należy połączyć go z szyną masy za pośrednictwem rezystora 10 kΩ. Gdy chcesz podwyższyć ten potencjał, to musisz zastosować przełącznik lub inny komponent niwelujący działanie rezystora, tworząc bardziej bezpośrednie połączenie z dodatnią szyną zasilającą.
- Wszystkie wejścia licznika muszą być do czegoś podłączone. Nigdy nie pozostawiaj niepodłączonych pinów wejściowych!
- Wyjścia licznika, z których nie korzystasz, należy pozostawić niepodłączone.

Jeszcze jedno. Czasami układ scalony może mieć wejście, z którego nie będziemy chcieli korzystać. Przykładem takiego pinu w przypadku licznika 4026B jest pin numer 3 aktywujący wyświetlacz. Chcemy, aby wyświetlacz był cały czas aktywny, a więc połączymy ten pin bezpośrednio z dodatnią szyną zasilającą — przyłożymy do niego odpowiedni potencjał i zapomnijmy o nim.

- Jeżeli nie będziesz korzystać z jakiegoś wejścia, to musisz podłączyć je do określonego potencjału. Takie potencjały zapewniają dodatnią szynę zasilającą i szynę masy.

W dalszej części tej sekcji opiszę funkcje pozostałych pinów układu 4026B.

**Wejście zegara** (pin numer 1) przyjmuje ciąg wysokich i niskich impulsów. Długość impulsów nie ma znaczenia z punktu widzenia układu. Układ dodaje do sumy 1 za każdym razem, gdy sygnał wejściowy będzie zmieniał poziom z niskiego na wysoki.

**Blokada zegara** (pin numer 2) służy do blokowania wejścia zegara. Pin ten, podobnie jak pozostałe piny tego układu, jest **aktywowany wysokim sygnałem** — układ wykonuje jakąś operację po przyłożeniu do niego wysokiego potencjału. W tymczasowej wersji obwodu zastosowałem niebieski i żółty przewód w celu doprowadzenia niskiego potencjału do pinu numer 2. Innymi słowy, dezaktywowałem pin blokady zegara. Jest to dość skomplikowane, a więc spróbuję podsumować te wiadomości:

- Gdy do pinu blokady zegara zostanie skierowany wysoki sygnał, licznik przestanie liczyć.
- Gdy napięcie przyłożone do pinu blokady zegara zostanie ściągnięte do poziomu masy, licznik będzie kontynuował pracę.

Działanie pinu numer 3 (**włączenie wyświetlania**) opisałem wcześniej.

Nie będziemy korzystać z pinu numer 4 (**wyjście sygnału włączenia wyświetlania**). Sygnał generowany na tym wyjściu przyjmuje stan podawany

do pinu numer 3 (pozwala on na skierowanie tego sygnału do kolejnych układów).

W celu liczenia do wartości wyższych od 9 niezbędne staje się korzystanie z pinu **przeniesienia** (pin numer 5). Gdy licznik dojdzie do 9 i zacznie ponownie liczyć od 0, sygnał podawany na tym pinie zmieni stan z niskiego na wysoki. Jeżeli pin ten połączysz z wejściem zegara drugiego licznika 4026B, to drugi z liczników będzie liczył dziesiątki. Jeżeli sygnał generowany na tym pinie drugiego licznika skierujesz do trzeciego, to trzeci licznik będzie liczył setki. Z funkcji tej będziemy korzystać pod koniec pracy nad projektem.

Pin numer 14 może być zastosowany do wyzerowania pracującego licznika (licznika, który doliczył do 2) — funkcja ta przydaje się np. w przypadku dwunastogodzinnych zegarów. Nie będziemy z niej korzystać w tym projekcie. Jest to pin wyjściowy, którego nie będziemy stosowali w praktyce, a więc możemy go do niczego nie podłączać.

Być może opisane funkcje pinów wydają Ci się niejasne, ale jeżeli spotkasz się kiedyś z nieznanym układem licznika, to z pewnością (jeżeli będziesz odpowiednio cierpliwy) uda Ci się określić funkcje pinów na podstawie jego noty aplikacyjnej. Działanie poszczególnych pinów licznika możesz sprawdzić za pomocą mikroprzełączników i diod LED — tak naprawdę w ten sposób sam ustalisz funkcje pinów układu 4026B.

## Generowanie impulsów

Układ czasowy 555 może pracować tak jak układ 4026B pod napięciem od 5 do 15 V, sygnał wyjściowy generowany na trzecim pinie układu czasowego może być podłączony bezpośrednio do wejścia układu 4026B. Na płytce prototypowej połączenie to wykonatem za pomocą fioletowego przewodu. Układ 555 generuje impulsy, a układ 4026B je liczy.

Komponenty podłączone do układu czasowego 555 powinny już wyglądać dla Ciebie znajomo. Jak widzisz, układ ten będzie pracował w trybie

astabilnym. Może Cię zastanawiać, dlaczego będzie pracował tak wolno. Obecna wersja obwodu nie jest przeznaczona do mierzenia refleksu.

Układ działa wolno, ponieważ chciałem, aby podczas demonstracji działania tej wersji obwodu wyświetlane liczby były czytelne. Później zmodyfikujemy obwód tak, aby działał szybciej.

## Czas opracować plan

Jak powinno działać urządzenie przeznaczone do testowania refleksu? Oto lista funkcji, które należy zaimplementować w takim projekcie:

1. Potrzebuję przycisku start.
2. Po wciśnięciu przycisku start urządzenie nie powinno przez jakiś czas wykonywać żadnych operacji. Nagle na ekranie powinien pojawić się komunikat, na który użytkownik powinien jak najszybciej zareagować.
3. W momencie wyświetlania komunikatu uruchamiany jest licznik (jego początkowa pozycja to 000). Licznik odmierza czas wyrażony w tysięcznych częściach sekundy.
4. Proces liczenia jest zatrzymywany po wciśnięciu przycisku przez użytkownika.
5. Zatrzymany licznik wyświetla czas, jaki upłynął od wyświetlania komunikatu do wciśnięcia przycisku. Czas ten zależy od refleksu użytkownika.
6. Użytkownik może wcisnąć przycisk, wyzerowując licznik.

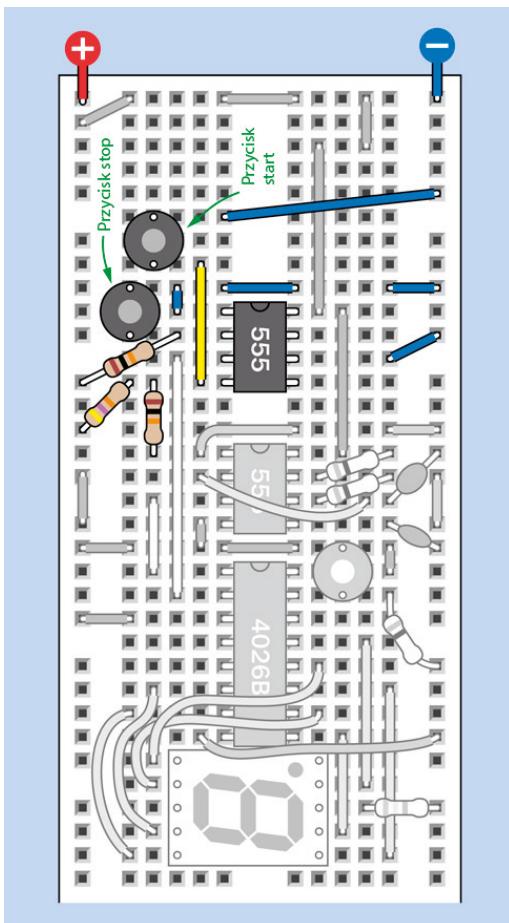
Na płytce zainstalowałeś już niezbędny przycisk wyzerowania. Potrzebujemy jeszcze przycisku zatrzymującego licznik.

Pin licznika oznaczony etykietą „blokada zegara” zatrzymuje wyświetlanie kolejnych liczb, ale jeżeli chcesz, aby stan wyświetlacza pozostał niezmieniony, to do pinu tego musisz stale doprowadzać wysoki potencjał. Innymi słowy, wysoki potencjał przyłożony do pinu nie może się obniżyć.

Wygląda na to, że możemy w tym celu zastosować kolejny układ czasowy 555. Tym razem układ ten musi pracować w trybie bistabilnym.

## System sterowania

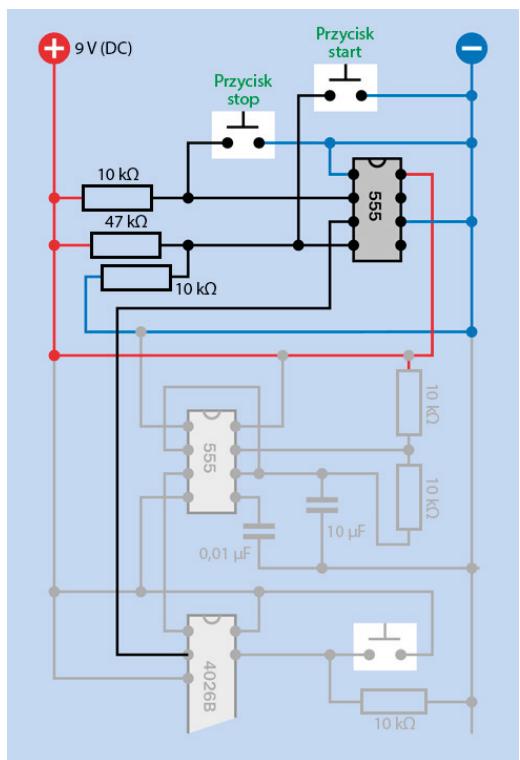
Na rysunku 4.67 pokazano kolejny układ czasowy 555 dodany do obwodu (pracuje on w trybie bistabilnym). Do obwodu dodano również dwa nowe przyciski. Z obwodu usunięto niebieski przewód ułożony po przekątnej, widoczny na wcześniejszym schemacie wykonawczym przedstawionym na rysunku 4.60. Zabieg ten miał na celu stworzenie przestrzeni niezbędnej do zainstalowania kolejnego układu czasowego. Na schemacie tym widać



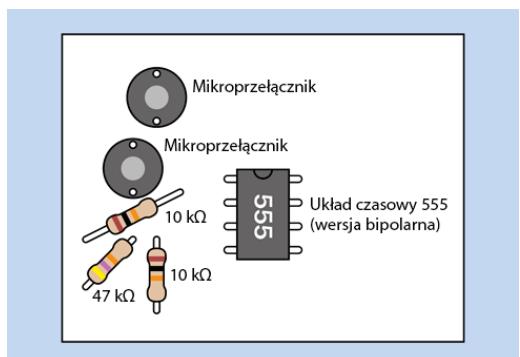
Rysunek 4.67. Do obwodu dodano bistabilny układ 555

zainstalowane wcześniej komponenty, ale zostały one oznaczone kolorem szarym.

Na rysunku 4.68 pokazano schemat ideowy modyfikacji obwodu. Wielkości charakteryzujące nowe komponenty podano na rysunku 4.69.



**Rysunek 4.68.** Drugi układ czasowy i związane z nim komponenty (zainstalowane wcześniej komponenty oznaczono kolorem szarym)



**Rysunek 4.69.** Wartości charakteryzujące komponenty dodane do obwodu

Po dołączeniu nowej sekcji do obwodu możesz ją wypróbować. Nowe przyciski powinny uruchamiać i zatrzymywać licznik. Czy wiesz, jak one działają?

Wciśnięcie przycisku start powoduje połączenie pinu wyzerowania układu 555 pracującego w trybie bistabilnym z masą. Na wyjściu tego układu (pin numer 3) generowany jest niski sygnał. Sygnał ten jest połączony z pinem licznika wstrzymującym pracę zegara. Podanie *niskiego* sygnału do pinu blokady zegara sprawia, że licznik *nie* jest wstrzymany. W związku z tym licznik jest uruchamiany. Będzie on pracował w nieskończoność, ponieważ sygnał generowany przez bistabilny układ zegarowy nie będzie ulegał zmianie.

Działanie licznika można przerwać, wciskając przycisk stop. Powoduje on połączenie wejścia układu czasowego pracującego w trybie bistabilnym z masą, co aktywuje układ. W związku z tym na wyjściu układu pojawia się wysoki sygnał. Ponieważ układ pracuje w trybie bistabilnym, to stan tego sygnału nie ulegnie zmianie. Sygnał ten jest kierowany do pinu blokady zegara i powoduje wstrzymanie pracy licznika.

Gdy wciśniesz przycisk znajdujący się w prawym dolnym rogu płytki (zainstalowałeś go wcześniej), to licznik zostanie wyzerowany. Nie spowoduje to uruchomienia licznika. Licznik zostanie uruchomiony dopiero po wciśnięciu przycisku start, ponieważ do tego czasu sygnał generowany przez układ czasowy nie ulegnie zmianie.

W tym obwodzie potrzebowaliśmy układu czasowego 555 pracującego w trybie bistabilnym.

## Postęp w pracy nad projektem

Sprawdźmy, które funkcje wymienione wcześniej na liście udało nam się zaimplementować. Układ uruchamia się po wciśnięciu przycisku, licznik jest zatrzymywany po wciśnięciu drugiego przycisku. Trzeci przycisk służy do zerowania stanu licznika.

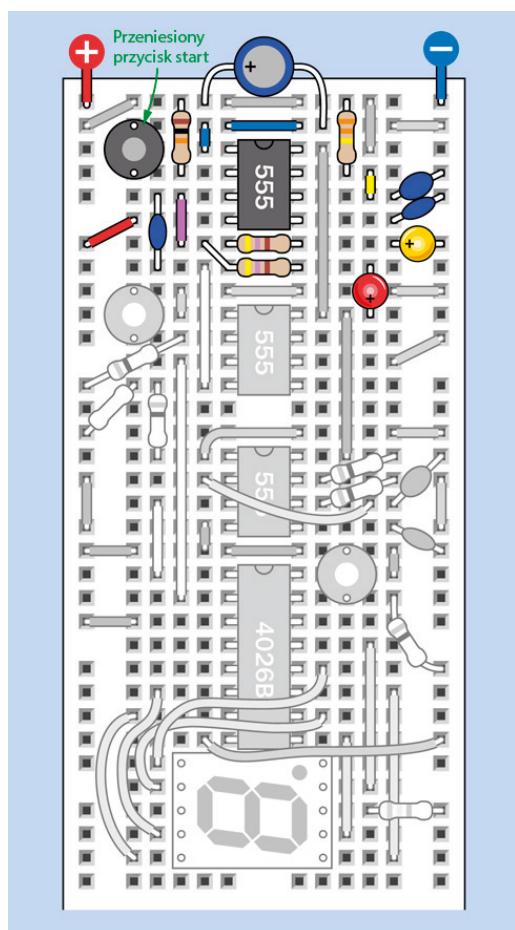
Brakuje nam tylko elementu zaskoczenia. Osoba, która chce sprawdzić swój refleks, nie powinna

wiedzieć, kiedy wygenerowany zostanie bodziec, na który ma zareagować (chcemy zmierzyć czas, który upływa od wygenerowania tego bodźca do wciśnięcia przycisku przez użytkownika).

W celu opóźnienia działania obwodu powinniśmy dodać kolejny układ zegarowy działający w trybie monostabilnym. Dzięki temu rozwiązaniu działanie licznika zostanie uruchomione w niespodziewanym momencie.

# Opóźnienie

Odłącz przycisk start i niebieski przewód łączący go z szyną zasilającą (przewód jest ułożony po przedniej). Nie usuwaj żółtego, pionowego przewodu.

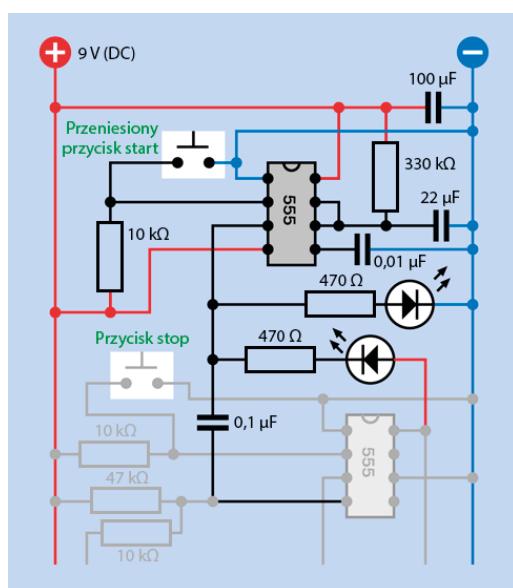


**Rysunek 4.70.** Góra część obwodu gotowa do pracy

Korzystając z rysunku 4.70, zamontuj dodatkowe komponenty. Przycisk start został przeniesiony. Teraz jest on połączony z wejściem третьего укрую czasowego, который будет опаздывать запуск счетчика. Старт сигнала выходного этого укрую временного будет высоким в течение 5 или 10 секунд. Изменение состояния этого сигнала на низкий приводит к запуску бистабильного укрую временного высыпающего низкий сигнал, отключающий функцию вспомогательного зеркала часов укрую 4026B, что в свою очередь приводит к запуску счетчика.

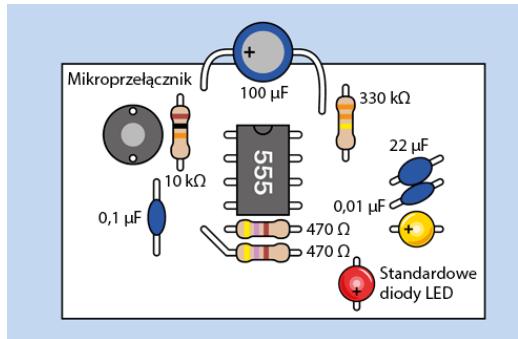
Zachowaj ostrożność, instalując czerwone i żółte diody LED. Czerwoną diodę należy zainstalować odwrotnie, niż Ci się może wydawać — komponent należy podłączyć do dodatniego źródła prądu. W związku z tym dodatnie złącze diody LED powinno znajdować się u dołu, a nie u góry.

Schemat ideowy pokazujący połączenia pomiędzy nowymi komponentami przedstawia rysunek 4.71.



**Rysunek 4.71.** Schemat połączeń pomiędzy komponentami tworzącymi ostatnia wersję obwodu sterującego

Na rysunku 4.72 pokazano wartości charakteryzujące komponenty zainstalowane na płytce.



Rysunek 4.72. Wielkości charakteryzujące komponenty dodane do płytki

## Testowanie

Po podłączeniu obwodu do prądu licznik od razu zaczyna pracować. Jest to dość irytujące, ale problem ten można rozwiązać w prosty sposób. Wciśnij przycisk stop (zatrzymaj licznik). Wciśnij przycisk znajdujący się w prawym dolnym rogu płytki, aby wyzerować licznik. Teraz projekt jest gotowy do pracy.

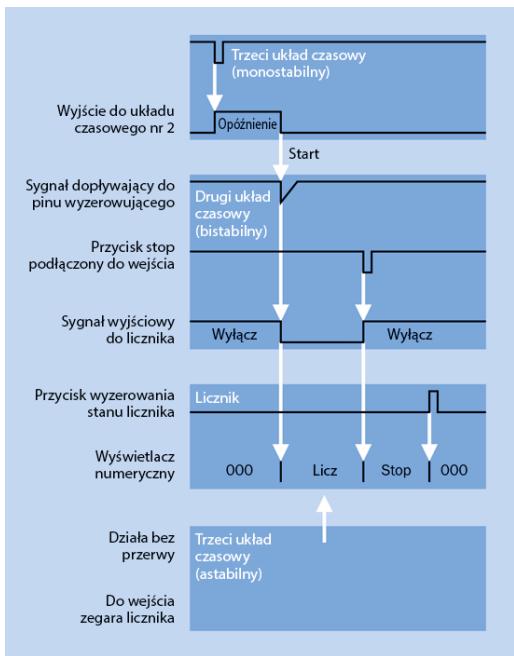
Wciśnij przeniesiony przycisk start, który uruchomi proces oczekiwania. W tym czasie żółta dioda LED będzie emitowała światło. Proces ten trwa około 7 sekund. Po wyłączeniu żółtej diody LED włączana jest czerwona dioda LED. Równocześnie uruchamiany jest licznik. Pracę licznika przerywa wciśnięcie przycisku stop.

Kondensator  $100 \mu F$  jest bardzo ważnym komponentem. Układ czasowy 555 ma tendencje do generowania skoków napięcia podczas przełączania stanu sygnału wyjściowego. Zmiany napięcia mogą spowodować aktywację drugiego układu czasowego w niewłaściwym momencie. Kondensator  $100 \mu F$  zapobiega tym niechcianym skokom napięcia.

Zaimplementowaliśmy wszystkie funkcje, ale musimy zwiększyć szybkość pracy układu i dodać do obwodu kolejne liczniki i wyświetlacze obsługujące ułamkowe części sekundy.

## Jak to działa?

Na rysunku 4.73 pokazano komunikację pomiędzy komponentami.



Rysunek 4.73. Interakcje pomiędzy komponentami obwodu sterującego pracą projektu

Schemat opiszę w kierunku od góry do dołu. Przycisk start znajdujący się u góry (podłączony do trzeciego układu czasowego) ściąga napięcie wejścia układu czasowego i go aktywuje.

Przez mniej więcej siedem sekund trzeci układ czasowy generuje wysoki sygnał wyjściowy. Zapewnia to opóźnienie uruchomienia licznika.

Po upłynięciu tego czasu trzeci układ czasowy generuje ponownie niski sygnał wyjściowy. Impuls ten przechodzi przez kondensator sprzęgający  $0,1 \mu F$  i jest kierowany do bistabilnego, drugiego układu czasowego. Kondensator pozwala na dopływ tylko krótkich impulsów do złącza wyzerowania drugiego układu czasowego. Impuls sprawia, że układ czasowy numer 2 generuje niski sygnał wyjściowy, który jest kierowany do pinu blokady zegara licznika 4026B. Niski sygnał aktywuje licznik. Rozpoczyna się proces liczenia.

Czekamy na reakcję użytkownika. Użytkownik wciska przycisk stop podłączony do wejścia (pinu numer 2) drugiego układu czasowego. Krótki niski sygnał sprawia, że drugi układ czasowy generuje wysoki sygnał, który aktywuje pin blokady zegara licznika — zatrzymuje działanie licznika.

## TEORIA: Problemy związane z projektowaniem

Projekt ten był dość kłopotliwy. Gdy zbudowałem jego pierwszą wersję kilka lat temu, działał on poprawnie. Gdy jeden z redaktorów czasopisma „Make” wykonał ten obwód, też działał on poprawnie. Niestety nie byliśmy świadomi tego, że złącze wyzerowania układu czasowego 555 działa różnie w układach pochodzących od innych dostawców. Działanie tego pinu nie jest opisane w notach aplikacyjnych.

Kilka lat po wydaniu książki dostałem wiadomość od czytelnika, którego projekt działał nieprawidłowo, a czasami nie działał w ogóle. Zbudowałem ten obwód jeszcze raz i podłączyłem do niego oscyloskop. Kondensator sprzągający przekazywał wiernie impuls kierowany z trzeciego układu czasowego do złącza wyzerowania drugiego układu czasowego, ale czasami impuls ten nie był właściwie interpretowany przez ten układ.

Co spowodowało ten problem? Impuls był zbyt krótki lub spadek napięcia nie był wystarczająco niski. Niezależnie od przyczyny problem ten rozwiązywało zastosowanie niższego napięcia podciągającego pin numer 4 drugiego układu czasowego. To właśnie dlatego do pinu numer 4 podłączyłem dwa rezystory. Rezystory te pełnią funkcję dzielnika napięcia — kierują prąd o napięciu nieco mniejszym od 2 V do pinu numer 4. Wystarcza to do prawidłowej pracy układu, ale pozwala na uzyskanie niższego napięcia impulsu kierowanego do pinu wyzerowania.

Obwód powinien teraz działać poprawnie. Przed wydrukowaniem tego wydania obwód zostanie sprawdzony ponownie. Jeżeli Twój projekt nie działa poprawnie, to zmień napięcie przyłożone do pinu numer 4 układu czasowego numer 2 — zastosuj

inną rezistor w miejscu rezystora 47 k $\Omega$  (nowa rezystancja może być wyższa lub niższa). Możesz spróbować zastosować większy kondensator sprzągający. Powiadom mnie o takich modyfikacjach. Oczywiście chcę, aby układy opisane w tej książce działały za każdym razem poprawnie, ale nie mogę przewidzieć każdej zmiany wnoszonej przez producentów, która może wpłynąć na pracę obwodu.

## Kolejne cyfry

Dodawanie kolejnych cyfr jest dość proste. Każdy kolejny wyświetlacz będzie sterowany za pomocą kolejnego licznika 4026B. Obwody wszystkich wyświetlaczy są identyczne (patrz rysunek 4.74).

Zwróć uwagę na fioletowe przewody znajdujące się po lewej stronie. Każdy z tych przewodów służy do przekazywania sygnału wyjściowego poprzedniego licznika do wejścia zegara kolejnego układu.

Znajdujące się niżej żółte przewody łączą ze sobą wszystkie piny wyzerowania — jednym wciśnięciem przycisku wyzerujesz wszystkie układy.

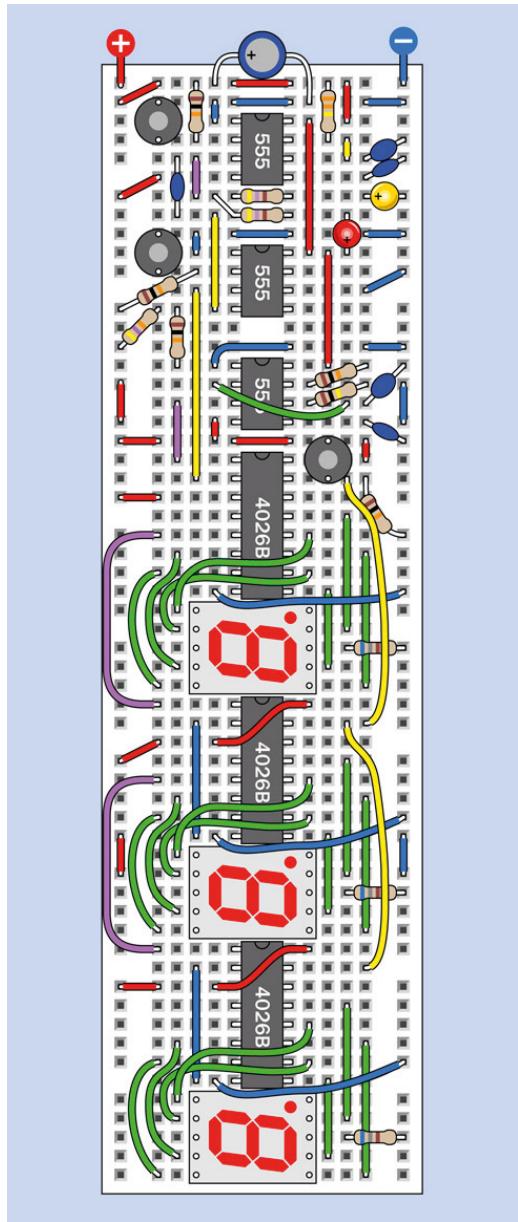
Niebieskie przewody podłączone do drugiego i trzeciego licznika łączą z masą piny numer 2 tych układów. Przypominam, że są to piny blokady zegara. Nie będziemy musieli zatrzymywać pracy drugiego lub trzeciego licznika, ponieważ liczniki te są zależne od pracy pierwszego licznika. Zatrzymanie pierwszego licznika powoduje automatyczne zatrzymanie dwóch pozostałych liczników.

Nie zapomnij o połączeniu pinów numer 16 drugiego i trzeciego licznika z dodatnią szyną zasilającą (połączenia te wykonano za pomocą czerwonych przewodów).

## Kalibracja

Jak sprawić, aby obwód pracował z właściwą szybkością?

Wymień rezistor 100 k $\Omega$  podłączony do pierwszego układu czasowego na rezistor 10 k $\Omega$ . Kondensator 3,3  $\mu$ F zastąp kondensatorem 47  $\mu$ F (0,047  $\mu$ F).

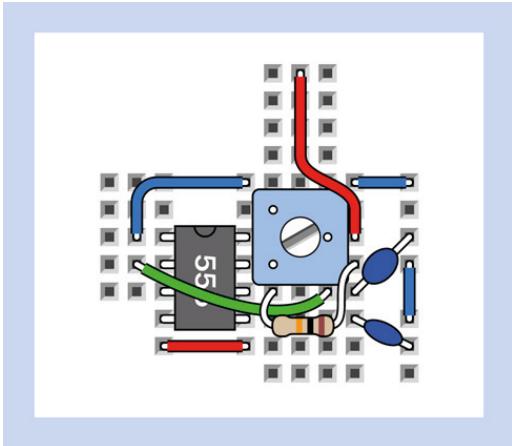


**Rysunek 4.74.** Ukończony obwód testera refleksu ledwo zmieścił się w 60 rzędach otworów montażowych płytki

Teoretycznie układ czasowy powinien działać teraz z częstotliwością 1023 Hz (jest to wartość zbliżona do zakładanej częstotliwości 1000 Hz).

Aby dostroić częstotliwość pracy tego układu, musisz zastąpić jeden z rezystorów  $10\text{ k}\Omega$  podłączonych do pierwszego układu czasowego potencjometrem

dostrojczym. Na płytce zainstalowanych jest tyle komponentów, że zainstalowanie dodatkowego potencjometru może być kłopotliwe. Wymyślony przeze mnie sposób jego instalacji przedstawiono na rysunku 4.75. Na rysunku tym przedstawiono zbliżenie obszaru płytki znajdującego się bezpośrednio pod układem czasowym znajdującym się najniżej.



**Rysunek 4.75.** Sposób instalacji potencjometru pozwalającego na dostosowanie obwodu testującego refleks

Zacznij od przeniesienia niebieskich przewodów o jeden rząd wyżej. Odegnij czerwony przewód widoczny po prawej stronie. Przedłuż złącze drugiego rezystora  $10\text{ k}\Omega$  tak, aby nie stykało się ono z innymi nieizolowanymi przewodnikami. Teraz możesz zainstalować potencjometr tak, aby pin połączony z ruchomym elementem potencjometru był podłączony do dodatniego napięcia. Drugi pin potencjometru należy połączyć z pinem numer 7 układu zegarowego. Trzeci pin potencjometru wepnij w wolny rząd otworów montażowych płytki — nie będziesz z niego korzystać.

Potencjometr dostrojczy powinien charakteryzować się znamionową rezystancją  $20\text{ k}\Omega$  lub  $25\text{ k}\Omega$ . Na początek ustaw potencjometr w środkowym położeniu. Częstotliwość 1 kHz możesz osiągnąć na trzy sposoby.

Jeżeli Twój multimeter jest przystosowany do pomiaru częstotliwości, to podłącz czarny próbnik do szyny masy, a czerwonym dotknij do pinu numer 3

pierwszego zainstalowanego przez Ciebie układu czasowego. Za pomocą potencjometru uzyskaj częstotliwość 1 kHz. To wszystko.

Jeżeli Twój multymetr nie mierzy częstotliwości sygnału, to możesz zastosować cyfrowy stroik gitarowy. W serwisie Allegro znajdziesz stroiki kosztujące mniej niż 50 zł. Do wyjścia układu 555 podłącz głośnik (podłącz go za kondensatorem sprzągającym i rezystorem 47 Ω). Stroik powinien wskazać częstotliwość dźwięku generowanego przez układ czasowy.

Jeżeli nie dysponujesz odpowiednim miernikiem ani stroikiem gitarowym, to możesz skorzystać z dowolnego zegara, stopera lub telefonu wyświetlającego czas z dokładnością do jednej sekundy. Układ czasowy pracujący z częstotliwością 1 kHz będzie powodował zmianę wskazań drugiego licznika co jedną setną sekundy, a trzeciego co jedną dziesiątą sekundy. Trzeci licznik wyświetli 10 cyfr, a następnie zacznie sekwencję od początku — zero jest wyświetlane raz na sekundę.

Niestety cyfry są wyświetlane tak szybko, że trudno jest zauważycy moment wyświetlenia zera. Ale nie stanowi to problemu.

Zasłoń wszystkie segmenty wyświetlacza zainstalowanego najniżej poza segmentem znajdującym się w jego dolnym prawym rogu. Będzie on podświetlany przy wyświetlaniu każdej cyfry poza cyfrą 2 (wtedy będzie on wyłączone). Od analizowania wyświetlanych cyfr łatwiej jest śledzić przygasanie jednego segmentu. Wyreguluj obwód za pomocą zainstalowanego przed chwilą potencjometru, aby zsynchronizować użyty przez Ciebie czasomierz z opisany wcześniej segmentem wyświetlacza.

## Udoskonalanie

Niemal zawsze po ukończeniu projektu rodzą się pomysły jego udoskonalenia. Oto kilka pomysłów:

**Brak zliczania bezpośrednio po uruchomieniu.** Byłoby miło, gdyby obwód zaczął pracę w swoim stanie „gotowości”, zamiast przechodzić od razu do

zliczania. Odpowiednią modyfikację obwodu możesz opracować samodzielnie.

**Sygnal dźwiękowy** towarzyszący uruchomieniu diody LED. Nie zwiększy to funkcjonalności projektu, ale może okazać się miłym dodatkiem.

**Losowe opóźnienie** przed rozpoczęciem zliczania. Sprawienie, aby komponenty elektroniczne zachowywały się w sposób losowy, jest zadaniem trudnym. Jednym ze sposobów osiągnięcia takiego zachowania jest zmuszenie użytkownika do polożenia swojego palca na parze kontaktów elektrycznych. Czas opóźnienia ulegałby wtedy zmianie ze względu na zmiany rezystancji wewnętrznej skóry. Rezystancja ta zależałaby od siły, z jaką palec dociska styki, a siła ta jest za każdym razem nieco inna, co umożliwiałaby każdorazowe stosowanie innego opóźnienia.

## Co dalej?

Licznik 4026B jest układem logicznym. Jego działanie jest możliwe dzięki znajdującym się w jego wnętrzu **bramkom logicznym**. Wszystkie komputery są oparte na tego typu komponentach.

Bramki logiczne są bardzo ważnymi komponentami. W związku z tym dokładną analizą ich działania zajmę się w kolejnym eksperymencie. Magiczne zaklęcia AND, OR, NAND, NOR, XOR i XNOR otworzą przed Tobą zupełnie inny wymiar elektroniki cyfrowej.

## Eksperyment 20: Podstawy logiki cyfrowej

Bardzo łatwo jest zrozumieć pracę pojedynczych bramek logicznych. Trudniej jest zrozumieć pracę układów składających się z wielu połączonych ze sobą bramek logicznych. W związku z tym zaczniemy od analizy pojedynczych komponentów.

W eksperymencie zawartym wiele wyjaśnień. Nie oczekuję, że zapamiętasz całą przedstawioną w nim teorię. Moim celem było stworzenie bazy, do której będziesz mógł wrócić później.

## Potrzebne będą:

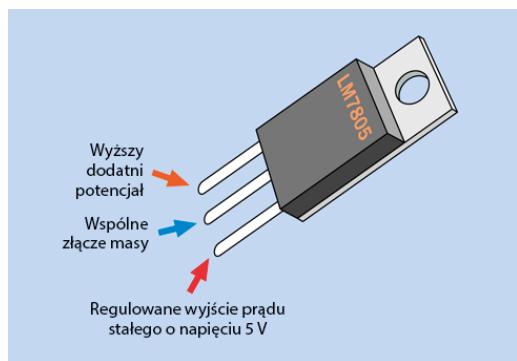
- płytka prototypowa, drut połączeniowy, szczypce do cięcia drutu, przyrząd do zdejmowania izolacji i multymetr,
- źródło prądu o napięciu 9 V (bateria lub zasilacz),
- przełącznik ślizgowy SPDT, liczba: 1,
- kość czterech dwuwejściowych bramek NAND 74HC00, liczba: 1,
- kość czterech dwuwejściowych bramek AND 74HC08, liczba: 1,
- niskoprądowe diody LED, liczba: 2,
- mikroprzełączniki, liczba: 2,
- regulator napięcia LM7805, liczba: 1,
- rezystory:  $680\ \Omega$  (liczba: 1),  $2,2\ k\Omega$  (liczba: 1),  $10\ k\Omega$  (liczba: 2),
- kondensatory:  $0,1\ \mu F$  (liczba: 1),  $0,33\ \mu F$  (liczba: 1).

## Regulator

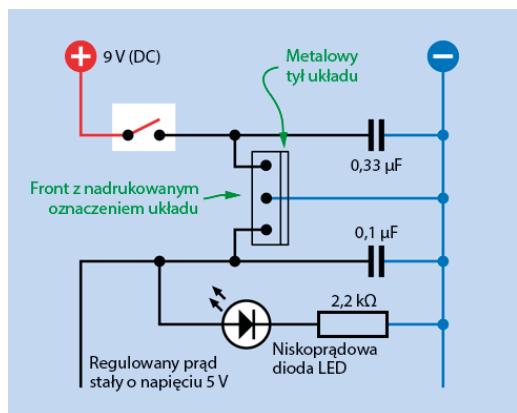
Bramki logiczne, z których będziemy korzystać, wymagają — w przeciwieństwie do zaprezentowanych wcześniej układów czasowych 555 i liczników 4026B — zasilania prądem stałym o napięciu dokładnie 5 V. Wszelkie zmiany i skoki napięcia będą zakłócały ich pracę.

Problem ten można rozwiązać w łatwy sposób za pomocą taniego regulatora napięcia LM7805. Dość starcza on prąd o napięciu równym dokładnie 5 V, jeżeli podłączysz do niego prąd stały o napięciu 7 V lub wyższym.

Na rysunku 4.76 przedstawiono konfigurację złączy regulatora napięcia. Na rysunku 4.77 przedstawiono stosowanie regulatora w obwodzie. Na rysunku 4.76 przedstawiono sposób na umieszczenie tego obwodu w górnej części płytki prototypowej, tak aby zajmował jak najmniej miejsca (patrz rysunek 4.78). W obwodzie regulatora zastosowałem miniaturowy włącznik, a także niskoprądową diodę LED sygnalizującą podłączenie obwodu do zasilania.



Rysunek 4.76. Funkcje złączy regulatora napięcia LM7805 (układ jest widziany od przodu)

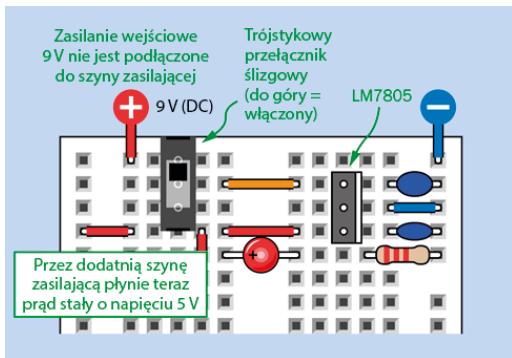


Rysunek 4.77. Korzystanie z regulatora napięcia LM7805; kondensatory są obowiązkowym elementem wchodząącym w skład tego obwodu

Wizualne potwierdzenie włączenia zasilania przydaje się zwłaszcza podczas szukania błędnego połączenia. Rezystor o dużej rezystancji ( $2,2\ k\Omega$ ) chroniący diodę LED został dobrany tak, aby zminimalizować pobór prądu (jest to ważne, jeżeli zasilasz obwód za pomocą baterii 9 V).

## UWAGA: Parametry wejścia

**Regulator podłączaj do prądu stałego, a nie do przemiennego.** Pamiętaj o tym, że układ LM7805 przetwarza prąd stały na prąd stały. Nie jest to zasilacz, który może przekształcić przemienne napięcie sieci energetycznej na prąd stały. Nie podłączaj prądu przemiennego do wejścia regulatora napięcia.



**Rysunek 4.78.** Obwód regulatora zajmujący minimalną ilość miejsca na płytce prototypowej po zainstalowaniu w jej górnej części; obwód ten wyposażono we włłącznik oraz niskoprądową diodę LED sygnalizującą włączenie zasilania

**Maksymalny prąd.** Prąd wyjściowy LM7805 charakteryzuje się niemal stałym napięciem niezależnym od natężenia, ale natężenie prądu pobieranego z tego układu nie może przekroczyć pewnej wartości. Nie próbuj pobierać zbyt dużego prądu z wyjścia regulatora napięcia.

**Maksymalne napięcie.** Regulator napięcia jest urządzeniem półprzewodnikowym, ale zachowuje się jak rezystor — obniżając napięcie wypromieniuje ciepło. Im wyższe napięcie wejściowe i im wyższy prąd wyływający z regulatora, tym więcej ciepła musi on wypromienować. Teoretycznie do regulatora możesz podłączyć prąd o napięciu 24 V, a na jego wyjściu nadal generowany będzie prąd o napięciu 5 V, ale nie jest to dobry pomysł. Napięcie wejściowe regulatora powinno znajdować się w zakresie od 7 do 12 V.

**Napięcie minimalne.** Regulator napięcia, podobnie jak wszystkie komponenty półprzewodnikowe, dostarcza prąd o napięciu niższym od napięcia przyłożonego do jego wejścia. W związku z tym polecam zasilanie tego układu prądem o napięciu przynajmniej 7 V.

**Emisja ciepła.** Metalowa płytka z dziurą znajdująca się z tyłu regulatora ma odprowadzać ciepło od układu. Ciepło będzie odprowadzane efektywniej, jeżeli przykręcisz ją do kawałka aluminium (aluminium jest dobrym przewodnikiem ciepła). Możesz zastosować

w tym celu radiatory aluminiowe o różnych kształtach. Jeżeli nie planujesz pobierania z regulatora prądu o natężeniu wyższym od 200 mA, to nie musisz stosować dodatkowego radiatora. Obwody opisane w tej książce pobierają prąd o natężeniu niższym od tej wartości.

## Zastosowanie

W przypadku tworzenia obwodu z użyciem 5-woltoowych układów logicznych najlepiej jest, aby dodatnia szyna zasilająca dostarczała prąd o napięciu 5 V. Zauważ, że prąd o napięciu 9 V zasilający regulator widoczny na rysunku 4.78 *nie* jest podłączony do szyny zasilającej. Jest on podłączony tylko do wejścia regulatora napięcia (górnego pin komponentu). Wyjście regulatora (dolny pin komponentu) jest podłączone do dodatniej szyny zasilającej.

Regulator napięcia oraz zewnętrzne źródło prądu są podłączone do wspólnej szyny masy. Jest to tzw. wspólna masa.

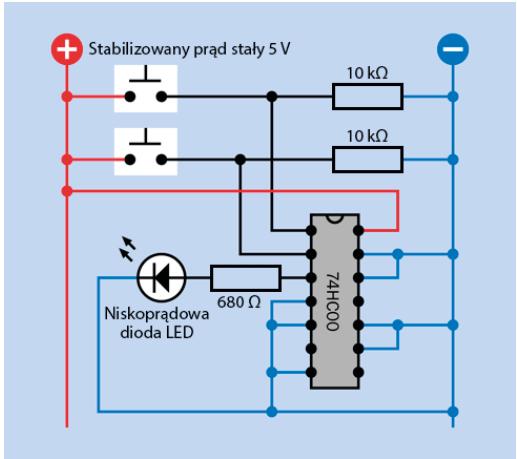
Po zainstalowaniu regulatora napięcia na płytce prototypowej sprawdź różnicę potencjałów pomiędzy szynami za pomocą miernika. Układy logiczne łatwo jest uszkodzić po podłączeniu do zbyt wysokiego napięcia lub do napięcia o niewłaściwej polaryzacji.

## Twoja pierwsza bramka logiczna

Przygotowałeś już płytkę do pracy z komponentami wymagającymi zasilania prądem o napięciu 5 V, a więc możesz na niej zainstalować dwa rezystory 10 k $\Omega$ , niskoprądową diodę LED, rezistor 680  $\Omega$  i układ logiczny 74HC00 (patrz rysunek 4.79). Stosujemy rezistor 680  $\Omega$ , ponieważ do obwodu podłączasz niskoprądową diodę LED.

Jak widzisz, niektóre z pinów układu scalonego są ze sobą zwarte i podłączone do ujemnego bieguna źródła prądu. Wyjaśnię to za chwilę.

Kiedy podłączysz zasilanie, dioda powinna się zaświecić. Naciśnij jeden z mikroprzełączników — dioda pozostaje zapalone. Naciśnij drugi



**Rysunek 4.79.** Określanie funkcji złącza bramki logicznej NAND z mikroprzełączników — dioda nadal się świeci. Teraz naciśnij oba jednocześnie, a dioda zgaśnie.

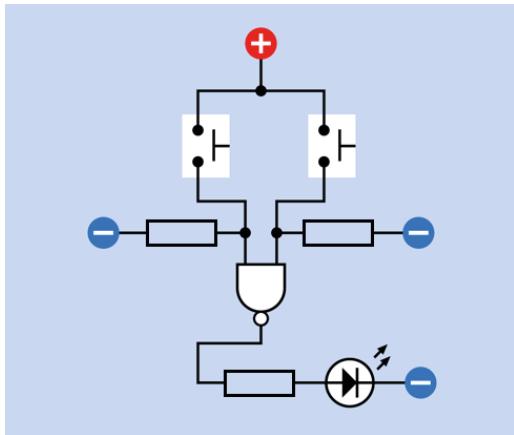
Pin numer 1 i 2 są logicznymi wejściami kości 74HC00. Początkowo na ich wejściu utrzymywane było ujemne napięcie dzięki podłączeniu do ujemnego zasilania przez rezystory  $10\text{ k}\Omega$ . Ale każde naciśnięcie przycisku powodowało pokonanie niskiego potencjału i przejście pinu w stan dodatni.

- Kiedy sygnał wejściowy lub wyjściowy układu logicznego przystosowanego do pracy pod napięciem 5 V charakteryzuje się napięciem zbliżonym do 0 V, określamy go mianem **niskiego sygnału logicznego**.
- Kiedy sygnał wejściowy lub wyjściowy układu logicznego przystosowanego do pracy pod napięciem 5 V charakteryzuje się napięciem zbliżonym do 5 V, określamy go mianem **wysokiego sygnału logicznego**.

Jak się przekonałeś, wyjście logiczne z kości ma normalnie potencjał wysoki, ale **nie** wtedy, gdy pierwsze wejście i drugie wejście mają również stan wysoki (dodatni). Ponieważ kość realizuje operację NOT AND („nie I”), określa się ją mianem **bramki logicznej NAND**.

Bramki logiczne są przedstawiane na **schematach logicznych** za pomocą określonych symboli. Schemat logiczny będący odpowiednikiem schematu

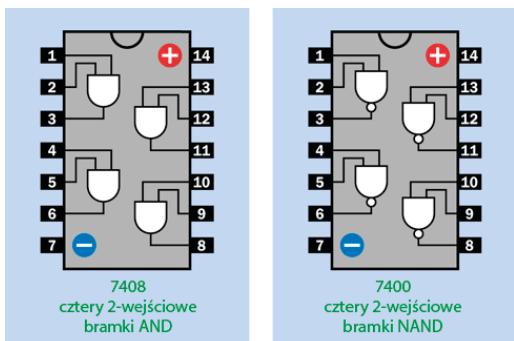
z rysunku 4.79 przedstawiono na rysunku 4.80. Obiekt mający kształt litery U z kółkiem u dołu jest symbolem bramki NAND. Na schemacie tym nie przedstawiono przewodów zasilających, ale z rysunku 4.79 wynika, że układ ten w rzeczywistości musi być zasilany: pin numer 7 należy połączyć z masą, a pin numer 14 z dodatnią szyną zasilającą. Dzięki temu przez wyjścia kości może płynąć prąd o natężeniu większym niż przez jej wejścia.



**Rysunek 4.80.** Schemat logiczny może przedstawać działanie obwodu w sposób prostszy od schematu ideoowego

- Za każdym razem, kiedy zobaczyς symbol bramki logicznej, postaraj się pamiętać, że do funkcjonowania potrzebuje ona zasilania.

Kość 74HC00 zawiera cztery bramki typu NAND, z których każda posiada dwa wejścia i jedno wyjście. Ich rozkład pokazuje rysunek 4.81. Ponieważ



**Rysunek 4.81.** Układ pinów bramek logicznych w dwóch kościach zawierających układy logiczne

do tego bardzo prostego testu potrzebna była wyłącznie jedna bramka, wejścia nieużywanych bramek zostały zwarte do ujemnego napięcia zasilania w celu przyłożenia do nich potencjału ustalonego.

Wiele kości zawierających układy logiczne charakteryzuje się identyczną konfiguracją łączy — można je ze sobą zamieniać. Zróbcmy to teraz. Zacznij od odłączenia zasilania. Wyciągnij delikatnie kość 74HC00 z płytka i odlóż ją na bok, wtykając nóżki w kawałek przewodzącej pianki. W jej miejsce wstaw kość 74HC08 zawierającą bramki AND. Upewnij się, że kość jest skierowana dobrą stroną w góre. Podłącz ponownie zasilanie i wykonaj takie same testy przyciskami, jak poprzednio. Tym razem powinieneś się przekonać, że dioda LED zapala się, jeśli pierwsze i drugie wejście bramki AND mają stan dodatni, ale pozostaje zgaszona w każdym innym przypadku. Stąd wniosek, że bramka AND działa dokładnie przeciwnie do bramki NAND. Opis pinów kości 74HC08 przedstawiony został na rysunku 4.81.

Być może zastanawiasz się, jaką to wszystko ma użyteczność. Wkrótce przekonasz się, że łącząc ze sobą bramki logiczne, stworzymy takie urządzenia jak elektroniczny zamek szyfrowy, a także parę elektronicznych kości do gry oraz zestaw przycisków symulujących quiz telewizyjny, w którym uczestnicy rywalizują ze sobą o to, kto pierwszy będzie mógł udzielić odpowiedzi. Mało tego, gdybyś był dostatecznie szalony, mógłbyś spróbować zbudować cały komputer wyłącznie z bramek logicznych. Entuzjasta



Rysunek 4.82. Płyta główna serwera sieciowego, który Bill Buzbee zbudował własnoręcznie z kości logicznych należących do rodziny 74xx

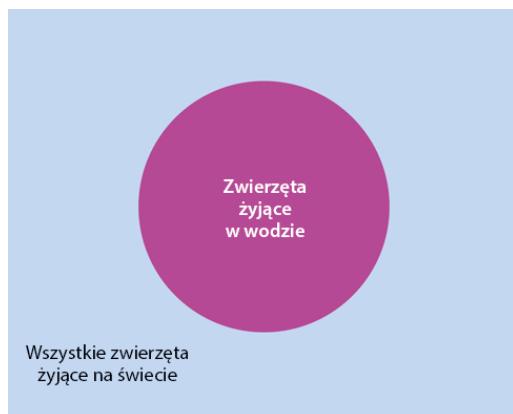
elektroniki Bill Buzbee zbudował serwer sieciowy ze starych kości zawierających układy logiczne (patrz rysunek 4.82).

## TEORIA: Początki logiki

Urodzony w roku 1815 George Boole był angielskim matematykiem, który dokonał czegoś, co ma szansę osiągnąć bardzo niewielka liczba osób (dostatecznie mądrych lub obdarzonych niezwykłym szczęściem) — odkrył nową gałąź matematyki.

Co ciekawe, ta gałąź nie bazowała na liczbach. Boole miał niezwykle logicznie funkcjonujący umysł i w związku z tym chciał zredukować cały świat do serii wyrażeń typu prawda lub fałsz, które mogły nakładać się na siebie w dosyć ciekawy sposób.

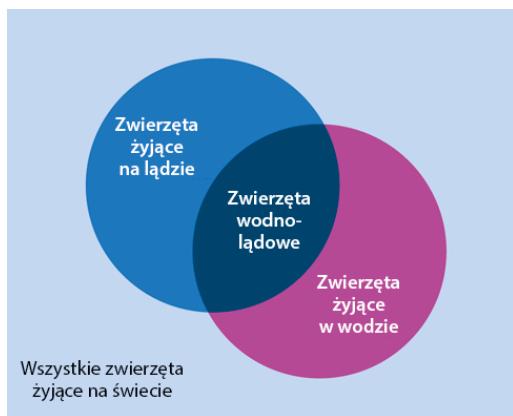
John Venn około 1880 roku opracował tzw. diagramy Venna, które ilustrowały tego typu zależności logiczne. Na rysunku 4.83 przedstawiono najprostszy diagram Venna. Pokazuje on jeden bardzo duży zbiór (wszystkie zwierzęta żyjące na świecie), w którym zdefiniowano jeden podzbiór (tylko zwierzęta żyjące w wodzie). Z diagramu Venna wynika, że wszystkie zwierzęta żyjące w wodzie żyją na świecie, ale tylko część zwierząt żyjących na świecie żyje w wodzie.



Rysunek 4.83. Najprostsza zależność pomiędzy zbiorem a znajdującym się w nim podzbiorem

Teraz zaznaczmy inną grupę: zwierzęta żyjące na lądrze, ale pamiętajmy o tym, że niektóre zwierzęta żyją zarówno na lądrze, jak i w wodzie, np. żaby.

Są to tzw. zwierzęta wodno-lądowe, które należy zaliczyć do obu grup zwierząt. Można to przedstawić na kolejnym diagramie Venna, na którym podzbiory będą się na siebie nakładać (patrz rysunek 4.84).



**Rysunek 4.84.** Diagram Venna pokazujący, że poza zwierzętami żyącymi tylko w wodzie i zwierzętami żyjącymi tylko na lądzie istnieją zwierzęta żyjące w obu tych środowiskach

Nie wszystkie zbiory nakładają się na siebie. Na rysunku 4.85 przedstawiłem grupę zwierząt mających kopyta i inną grupę zwierząt mających szpony. Czy istnieją zwierzęta mające jednocześnie kopyta i szpony? Prawdopodobnie nie. Dane te mogę pokazać również za pomocą tabeli prawdy (patrz tabela 4.3).



**Rysunek 4.85.** Niektóre podzbiory nie mają części wspólnej. Zwierzęta posiadające jednocześnie kopyta i szpony nie istnieją

**Tabela 4.3.** Najprostsza forma tabeli prawdy przedstawia pary sygnałów wejściowych i odpowiadające im sygnały wyjściowe; każdy z sygnałów może przyjąć jeden z dwóch stanów

Czy zwierzę ma kopyta?	Czy zwierzę ma szpony?	Czy takie połączenie jest możliwe?
NIE	NIE	TAK (PRAWDA)
NIE	TAK	TAK (PRAWDA)
TAK	NIE	TAK (PRAWDA)
TAK	TAK	NIE (FAŁSZ)

Identyczną tabelę można zastosować do opisu działania bramki NAND (patrz tabela 4.4).

**Tabela 4.4.** Tabela prawdy ilustrująca działanie bramki NAND; identyczny mechanizm przedstawiono w poprzedniej tabeli

Stan sygnału wejścia A	Stan sygnału wejścia B	Stan sygnału wyjściowego bramki NAND
NISKI	NISKI	WYSOKI
NISKI	WYSOKI	WYSOKI
WYSOKI	NISKI	WYSOKI
WYSOKI	WYSOKI	NISKI

Boole opublikował swoją pracę naukową na temat logiki w roku 1854, na długo przed tym, zanim efekty jego pracy można było zastosować w urządzeniach elektrycznych lub elektronicznych. W czasie jego życia jego praca wydawała się nie mieć jakiegokolwiek praktycznego zastosowania. W 1930 roku na logikę Boole'a natknął się niejaki Claude Shannon, studiujący w tym czasie na MIT (ang. Massachusetts Institute of Technology). W 1938 roku Shannon opublikował pracę opisującą, w jaki sposób analiza Boole'a mogłaby zostać zastosowana w obwodach opartych na przekaźnikach. Ta wiedza znalazła natychmiastowe praktyczne zastosowanie w sieciach telefonicznych, które rozrastały się w tempie tworzącym skomplikowane problemy związane z łączaniem.

Bardzo prosty problem występujący w telefonii mógłby zostać opisany w sposób następujący. Założmy, że dwóch abonentów mieszkających w obszarze wiejskim dzieli jedną linię telefoniczną. Nie ma problemu, kiedy tylko jeden z nich chce skorzystać z niej w danej chwili lub żaden nie ma potrzeby zatelefonowania. Obaj nie mogą jednak użyć linii w tym samym czasie. Zwróć uwagę, że taki sam problem przedstawiono w tabeli 4.4 (wystellarzy zinterpretować słowo „wysoki” jako chęć skorzystania z linii przez jedną osobę, a słowo „niski” jako brak chęci skorzystania z linii).

Czas dostrzec ważną różnicę. Bramka NAND nie tylko ilustruje działanie sieci. Sieć telefoniczna jest oparta na impulsach elektrycznych, a więc bramka NAND może sterować pracą sieci. (Pierwsze sieci telefoniczne były sterowane za pomocą przekaźników, ale zespoły przekaźników mogą pełnić funkcję bramek logicznych).

Shannon dostrzegł, że do sterowania siecią telefoniczną można wykorzystać analizę Boole'a. Ponadto jeśli stan włączenia potraktujemy jako numeryczną jedynkę, a stan wyłączenia jako numeryczne zero, będziemy mogli zbudować system bramek logicznych umożliwiający liczenie. A skoro system potrafi liczyć, znaczy to, że może wykonywać operacje arytmetyczne.

Kiedy przekaźniki zostały zastąpione lampami próżniowymi, możliwe stało się zbudowanie pierwszych urządzeń do przeprowadzania obliczeń cyfrowych. Lampy próżniowe zostały zastąpione tranzystorami, a tranzystory układami scalonymi. W końcu ta ewolucja doprowadziła do powstania komputerów osobistych, które dla nas są czymś zupełnie naturalnym, ale głęboko w środku tych niezwykle skomplikowanych maszyn nadal obowiązują prawa logiki odkryte przez George'a Boole'a.

Nawet kiedy używasz słów AND i OR w wyszukiwarce, aby ograniczyć liczbę wyników, tak naprawdę korzystasz z **operatorów logicznych Boole'a**.

## PODSTAWY: Bramki logiczne

Bramka typu NAND jest najbardziej fundamentalnym elementem budowy komputerów, ponieważ umożliwia wykonywanie operacji dodawania. Jeśli chcesz się dowiedzieć czegoś więcej na ten temat, spróbuj poszukać w sieci hasła „arytmetyka binarna” i „sumator”. Schematy obwodów wykonujących operacje dodawania za pomocą układów logicznych znajdziesz również w napisanej przeze mnie książce *Elektronika. Od praktyki do teorii. Kolejne eksperymenty*.

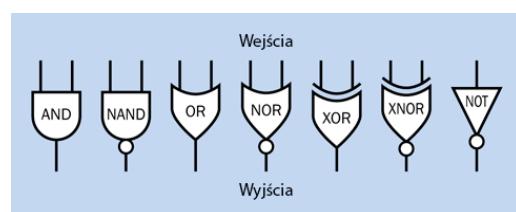
Istnieje siedem typów bramek logicznych:

- AND
- NAND
- OR
- NOR
- XOR
- XNOR
- NOT

Ich nazwy są zwykle zapisywane wielkimi literami. Spośród tych sześciu bramek najrzadziej używaną jest XNOR.

Bramka NOT ma jako jedyna jedno wejście i jedno wyjście, na którym pojawia się sygnał ujemny w przypadku dodatniego wejścia lub dodatni w przypadku ujemnego wejścia. Bramka ta jest częściej określana mianem **inwertera**. Wszystkie pozostałe bramki posiadają dwa wejścia.

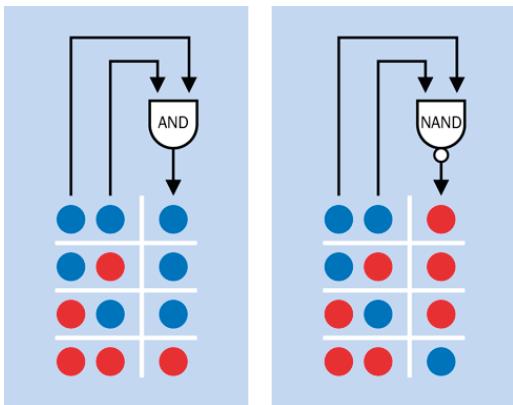
Na rysunku 4.86 pokazano symbole wszystkich siedmiu typów bramek. Zapamiętaj, że małe okręgi umieszczone w dolnej części niektórych symboli odwracają sygnał wyjściowy (okręgi te określa



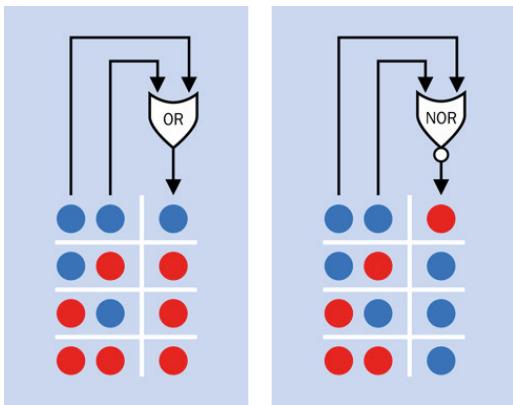
Rysunek 4.86. Symbole sześciu typów bramek dwuwejściowych i jednowejściowego inwertera

się czasem mianem **pęcherzyków**) — sygnał wyjściowy bramki NAND jest odwrotniem sygnału wyjściowego bramki AND.

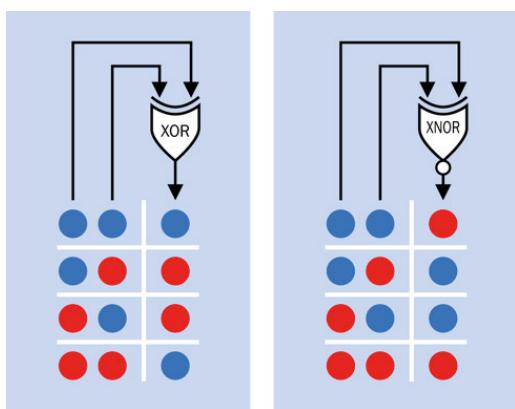
Co mam na myśli, pisząc o odwrotnym sygnale? Zrozumiesz to, przyglądając się tabelom prawd opisującym działanie bramek logicznych, które przedstawiłem na rysunkach od 4.87 do 4.89. W dwóch kolumnach tabeli znajdujących się po lewej stronie przedstawiono sygnały wejściowe, a w kolumnie znajdującej się po prawej stronie — sygnał wyjściowy. Niebieskim kolorem oznaczono niski sygnał logiczny, a kolorem czerwonym — wysoki sygnał logiczny. Porównaj sygnały wyjściowe każdej pary bramek, a zobaczyysz, że działają one w sposób odwrotny.



**Rysunek 4.87.** Sygnały wejściowe przedstawione po lewej stronie prowadzą do wygenerowania sygnałów wyjściowych przedstawionych po prawej stronie



**Rysunek 4.88.** Sygnały wejściowe przedstawione po lewej stronie prowadzą do wygenerowania sygnałów wyjściowych przedstawionych po prawej stronie



**Rysunek 4.89.** Sygnały wejściowe przedstawione po lewej stronie prowadzą do wygenerowania sygnałów wyjściowych przedstawionych po prawej stronie

## TEORIA: TTL kontra CMOS

W latach sześćdziesiątych ubiegłego wieku pierwsze bramki logiczne budowane były w technologii *Transistor-Transistor Logic* (w skrócie TTL). Polegała ona na trawieniu w pojedynczej płytce półprzewodnika mikroskopijnych rozmiarów tranzystorów bipolarnych. Następnie przyszła pora na technologię *Complementary Metal Oxide Semiconductors* — CMOS. Używana przez Ciebie w eksperymencie numer 19 kość o numerze 4026 jest wykonana właśnie w tej technologii.

Być może pamiętasz, że tranzystory bipolarnie wzmacniają prąd. Podobnie rzeczą ma się z układami TTL — są one czule bardziej na prąd niż napięcie. W związku z tym, aby móc poprawnie działać, wymagają przepływu prądu o znacznej wartości. Układy CMOS dla odmiany są czule na napięcie, dzięki czemu pobierają niewielki prąd w trakcie oczekiwania na sygnał lub po jego emisji.

Tabela 4.5 podsumowuje ich podstawowe wady i zalety. Układy CMOS, o numerach części od 4000 w góre, są bardzo podatne na zniszczenie przez ładunek elektrostatyczny, ale z drugiej strony mogą pochwalić się bardzo niskim zużyciem energii. Kości w technologii TTL, o numerach części od 7400 w góre, zużywają znacznie więcej energii, ale są trwalsze i bardzo szybkie. Jeśli ktoś w przeszłości

chciał zbudować komputer, wybierał rodzinę TTL, natomiast do budowy zabawki, która powinna działać miesiącami, wybierana była rodzina CMOS.

**Tabela 4.5.** Podstawowe różnice między rodzinami układów TTL i CMOS. Różnice te ulegały stopniowemu zatarciu w kolejnych generacjach układów

	TTL	CMOS	
	Seria 7400 (później numerację tę przejęły układy CMOS)	Seria 4000 (później przyjęto numerację 7400)	
Podatność na uszkodzenie ładunkiem statycznym		Mała	Większa?
Szybkość		Większa	Mniejsza?
Zużycie energii		Wyższe	Bardzo niskie
Zakres napięcia zasilania		Wąski 5 V	Szerszy 5 V – 15 V?
Impedancja wejściowa		Niska	Bardzo duża

Od tego momentu sprawy zaczynają się mocno komplikować, ponieważ producenci kości CMOS zapragnęli przejąć część rynku przez „emulowanie” zalet kości TTL. Nowsze generacje układów CMOS zmieniły nawet swoje oznaczenie na zaczynające się od „74”, aby podkreślić swoją zgodność. Funkcje pinów w układach CMOS zostały poprzestawiane, aby dopasować je do funkcji realizowanych przez piny w kościach TTL. Wymagania układów CMOS dotyczące napięć zbliżyły się do wymagań stawianych przez układy TTL.

Do dzisiaj możesz znaleźć sporo starych układów TTL, szczególnie tych, które należały do rodziny LS

(nosiły one oznaczenia typu 74LS00 i 74LS08), ale układy te są stopniowo wypierane z rynku.

Częściej spotyka się układy CMOS należące do serii 4000 (przykładem takiego komponentu jest układ 4026B używany w poprzednim eksperymencie). Układy takie są wciąż produkowane, ponieważ ich zaletą jest szeroki zakres dopuszczalnych napięć zasilających.

Z czasem układy CMOS stawały się coraz szybsze i coraz mniej wrażliwe na wpływ ładunków elektrostatycznych (to właśnie dlatego w niektórych kolumnach tabeli 4.5 umieściłem znaki zapytania). W większości nowoczesnych kości CMOS maksymalne napięcie prądu zasilającego zostało obniżone do 5 V (w tym wierszu tabeli również umieściłem znak zapytania).

Obecną sytuację można podsumować w następujący sposób:

- Każdy układ logiczny ze starej serii 4000 będzie posiadał charakterystyki przedstawione w tabeli 4.5. Układy należące do serii 4000 przydadzą Ci się.
- Raczej nie będziesz korzystać ze starych kości TTL z serii 7400, ponieważ nie mają one znaczących zalet.

Jeżeli znajdziesz na jakimś schemacie informację o tym, że w obwodzie należy zastosować układy 74LSxx, to możesz zamiast nich zastosować układy 74HCTxx, które zostały zaprojektowane tak, aby działały identycznie.

Seria 74HCxx jest najbardziej popularna w montażu przeplatany. Charakteryzuje się wysoką impedancją wejściową układów CMOS, co jest zwykle pożądane. Ponadto układy z tej serii są tańsze od niektórych nowoczesnych, bardziej egzotycznych wersji układów. Wszystkie układy logiczne zastosowane w projektach opisanych w tej książce są typu HC.

W jaki sposób oznaczane są te kości? Miejsca, w których mogą pojawiać się różne wartości numeryczne, zostały zastąpione literami „x”. Dla

przykładu, „74xx” to bramki NAND 7400, bramki NOR 7402, 16-bitowy multipleks 74150 itd. Kombinacja liter poprzedzających „74” identyfikuje producenta kości, a litery za numerem części mogą określać rodzaj obudowy, zawartość metali ciężkich (uciążliwych dla środowiska) oraz inne szczegóły. Wyjaśniono to na rysunku 4.3.

Historia rodzin TTL:

- 74xx: Pierwsze, oryginalne pokolenie — wychodzące z użytku.
- 74Sxx: Seria w wersji Schottky'ego o większej prędkości — wychodząca z użytku.
- 74LSxx: Seria w wersji Schottky'ego o obniżonej mocy — nadal używana od czasu do czasu.

Rodzina CMOS:

- 40xx: Kości pierwszej generacji — wychodzące z użytku.
- 40xxB: Kości serii 4000B mimo udoskonalenia nadal podatne są na uszkodzenia ładunkiem elektrostatycznym. Wielu hobbystów używa ich ciągle w swoich układach.
- 74HCxx: Kości CMOS o większej szybkości, z numerami części oraz układem pinów pasującymi do rodzin TTL, ale z trochę innymi napięciami wejściowymi i wyjściowymi niż obecne w TTL. Kości tej serii używam bardzo często na łamach tej książki, ponieważ są one szeroko dostępne, a budowane przez nas obwody nie potrzebują większej szybkości lub mocy.
- 74HCTxx: Seria podobna do HC, ale z napięciami sygnałów logicznych pasującymi do technologii TTL.
- Seria 74xx z innymi literami umieszczonymi w środku numeru komponentu: nowoczesne, szybsze, zwykle przeznaczone do montażu powierzchniowego, często przy stosowane do pracy przy niskich napięciach.

## Czego nie potrzebujesz

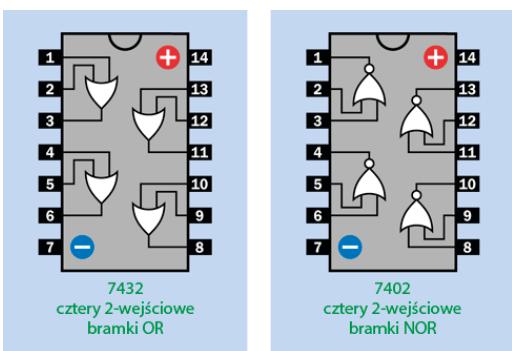
Z naszego punktu widzenia różnice w szybkości nie mają znaczenia, gdyż nie budujemy układów, które mają działać z prędkością milionów cykli na sekundę.

Różnice w cenach są tak małe, że nie mają większego znaczenia przy zakupie małej ilości komponentów.

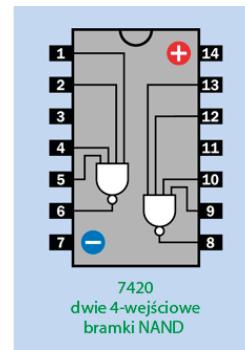
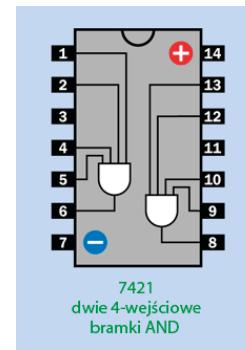
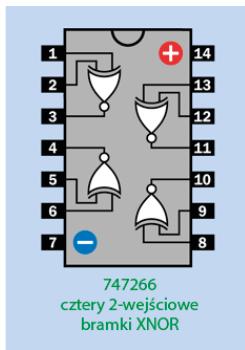
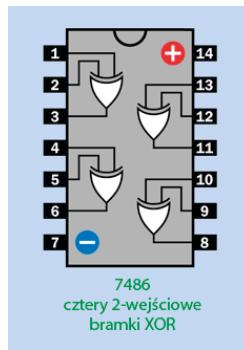
Kości przystosowane do pracy z niższymi napięciami nie nadają się do naszych projektów, ponieważ większość z nich jest dostępna jedynie w obudowach do montażu powierzchniowego. Ponieważ posługiwanie się nimi jest o wiele trudniejsze, a ich jedyną zaletą jest miniaturyzacja, nie polecam ich stosowania. Korzystaj z układów przeznaczonych do montażu przeplatanyego, które pełnią takie same funkcje logiczne.

## PODSTAWY: Oznaczenia i funkcje komponentów

Funkcje złączy 14-pinowych kości z serii HC oraz znajdujące się wewnętrz nich bramki pokazano na rysunkach 4.81 oraz 4.90 – 4.96.

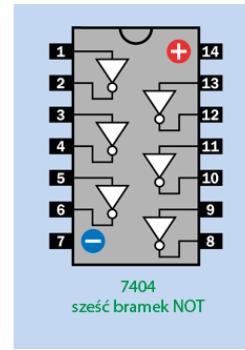
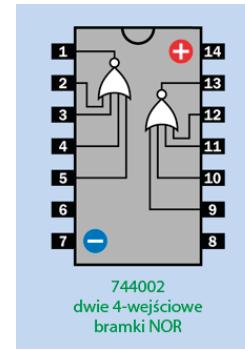
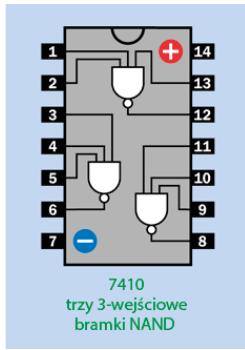
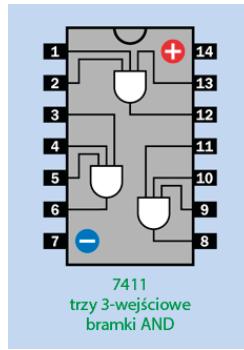


Rysunek 4.90. Standardowa konfiguracja złączy układów należących do rodzin 74xx



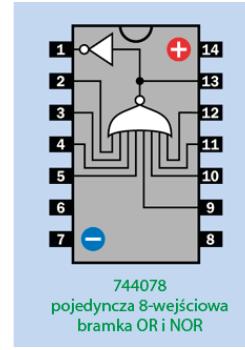
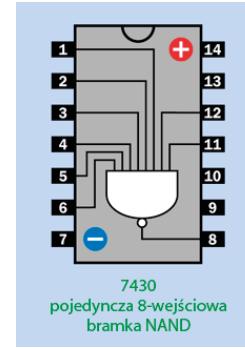
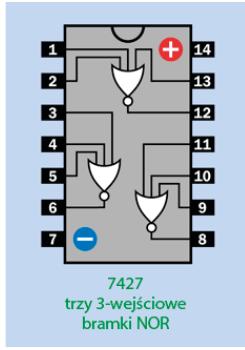
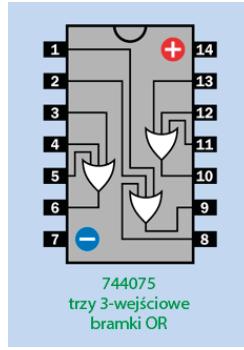
**Rysunek 4.91.** Standardowa konfiguracja złączy układów należących do rodziny 74xx

**Rysunek 4.94.** Standardowa konfiguracja złączy układów należących do rodziny 74xx



**Rysunek 4.92.** Standardowa konfiguracja złączy układów należących do rodziny 74xx

**Rysunek 4.95.** Standardowa konfiguracja złączy układów należących do rodziny 74xx



**Rysunek 4.93.** Standardowa konfiguracja złączy układów należących do rodziny 74xx

**Rysunek 4.96.** Standardowa konfiguracja złączy układów należących do rodziny 74xx

Na rysunkach umieszczone minimalne formy oznaczeń. Kość 7400 mogłaby w rzeczywistości być oznaczona jako 74HC00, 74HCT00 itd. Przed tym oznaczeniem, a także po nim w rzeczywistości umieszczone zostały inne znaki, ale układ ten niezależnie od etykiety można nazwać kością 7400.

Zanim skorzystasz z logicznego układu scalonego, sprawdź funkcje jego złączy (spójrz na jeden z zamieszczonych wcześniej schematów lub zajrzyj do dokumentacji komponentu). Funkcje złączy komponentów są zwykle podobne, ale nie jest to zasadą.

## PODSTAWY: Zasady łączenia ze sobą bramek logicznych

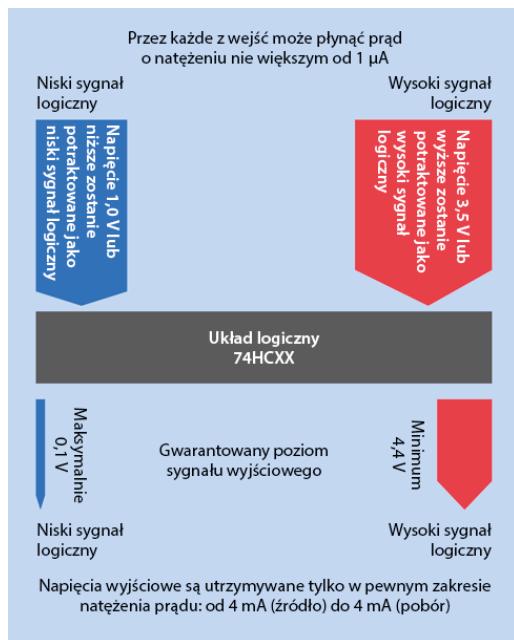
### Co jest dozwolone:

- Możesz podłączać wejścia bramek bezpośrednio do regulowanego dodatniego lub ujemnego źródła zasilania.
- Możesz łączyć wyjście jednej bramki bezpośrednio z wejściem kolejnej.
- Wyjście jednej bramki może zasilać wejścia wielu innych bramek (jest to tzw. połączenie typu „fanout”). W jak dużym stopniu mogą rozprzestrzeniać się połączenia, zależy od samej kości, ale w przypadku kości z serii 74HCxx jedno wyjście może zasilać minimum dziesięć wejść.
- Wyjście układu logicznego może sterować pinem wyzwalającym (numer 2) układu czasowego 555, o ile układ ten jest również zasilany prądem o napięciu 5 V.
- Niski stan wejściowy nie musi oznaczać zera. W układzie logicznym z serii 74HCxx każde napięcie do wartości 1 V uznawane będzie za stan niski.
- Wysoki stan wejściowy nie musi mieć wartości 5 V. W układzie logicznym z serii 74HCxxx każde napięcie powyżej 3,5 V zostanie uznane za stan wysoki.

Rysunek 4.97 przedstawia porównanie dopuszczalnych napięć po stronie wejścia i wyjścia kości z serii 74HCxx i 74LSxx.

### Co nie jest dozwolone:

- Obowiązuje zakaz pozostawiania „wiszących” pinów! W kośćach CMOS z rodziny takiej jak HC musisz zawsze podłączyć wszystkie piny wejściowe do znanej wartości napięcia, nawet jeśli są one wejściami bramki, której nie używasz.
- Używając przełącznika SPST do kontrolowania stanu wejściowego, pamiętaj, że przycisk



Rysunek 4.97. W celu uniknięcia problemów nie przekraczaj zalecanych zakresów sygnałów wejściowych

ten w swojej pozycji wyłączonej pozostawia wejście niepodpięte. Aby uniknąć tej sytuacji, zastosuj rezystory podciągające lub ściągające. Dzięki temu piny nie będą „wiszące”.

- Nie używaj napięcia zasilania bez regulacji lub napięcia powyżej 5 V do zasilania bramek logicznych z generacji 74HCxx.
- Nawet jeśli podłączasz wyjście bramki logicznej do diody niskoprądowej, zachowaj ostrożność. Kość może dostarczyć prądu o natężeniu 20 mA, ale spowoduje to spadek jego napięcia. Sytuacja, w której wyjście bramki jest „współdzielone” przez wyjście innej bramki i diodę LED, wymaga uwagi. Dioda LED może obniżyć napięcie do poziomu, przy którym sygnał wysoki nie będzie rozpoznawany przez wejście kolejnej bramki. Unikaj podłączania do wyjścia układu logicznego jednocześnie diody LED i wejścia kolejnego układu logicznego. Przed modyfikacją układu lub przystąpieniem do projektowania nowego sprawdź aktualne stany napięć.

- W projektach opisanych w tej książce do wyjść większości układów logicznych podłączane są tylko niskoprądowe diody LED, ponieważ pozwala to na łatwiejszą modyfikację obwodu i podłączenie sygnału generowanego przez wyjście zasilające diodę LED do wejścia kolejnego układu logicznego.
- Nigdy nie obciążaj wyjścia bramki logicznej zbyt dużym napięciem lub prądem. Innymi słowy, *nie wymuszaj sygnału wejściowego na wyjściu*.
- W związku z tym nigdy nie łącz wyjścia dwóch lub więcej bramek razem.

To tyle teorii. Czas przystąpić do pracy nad pierwszym projektem, w którym będziesz korzystać z bramek logicznych.

## Eksperyment 21: Funkcjonalne połączenie

Założmy, że chcesz zapobiec możliwości użycia Twojego komputera przez osoby postronne. Mogę wyobrazić sobie dwa sposoby zrealizowania tego zadania: przy użyciu oprogramowania lub w sposób sprzętowy. Oprogramowanie musiaby być uruchamianym bardzo wcześnie programem, który przejmowałby normalną sekwencję startową i prosił o podanie hasła. Byłoby to nieco lepsze zabezpieczenie od standardowego hasła wpisywanego podczas logowania do systemu operacyjnego.

Zadanie to można zrealizować ciekawiej (i bliżej tematyki tej książki) — problem ten można rozwiązać sprzętowo. Wyobrażam sobie klawiaturę numeryczną, której użytkownik musi użyć do wpisania tajnej kombinacji przed włączeniem samego komputera. Urządzenie to określę mianem „zamku szyfrowego” pomimo tego, że tak naprawdę nie będzie niczego zamykało. Będzie ono jedynie odłączało przycisk zasilania znajdujący się w obudowie komputera.

## Uwaga na gwarancję

Wykonując ten eksperyment do końca, będziesz musiał otworzyć pokrywę swojego komputera domowego, przeciąć pewne przewody i umieścić w niej swój mały, własny obwód. Nie będziesz modyfikował płytka znajdujących się wewnętrz komputera. Tak naprawdę będziesz musiał uzyskać dostęp tylko do przycisku włączającego komputer. Jeżeli Twój komputer jest nowy, to bez wątpienia doprowadzi to do utraty gwarancji. Jeżeli chcesz tego uniknąć, masz do wyboru trzy opcje:

- Zbuduj obwód w celach poznawczych na płytce prototypowej i na tym zakończ.
- Podłącz projekt do innego urządzenia.
- Użyj starego komputera.

## Potrzebne będą:

- płytka prototypowa, drut połączeniowy, szczypce do cięcia drutu, przyrząd do demontażu izolacji i multimetr,
- źródło prądu o napięciu 9 V (bateria lub zasilacz),
- niskoprądowa dioda LED, liczba: 1,
- standardowa dioda LED, liczba: 1,
- regulator napięcia LM7805, liczba: 1,
- układ logiczny 74HC08, liczba: 1,
- układ czasowy 555, liczba: 1.
- tranzystor 2N2222, liczba: 1,
- przekaźnik DPDT 9 V DC, liczba: 1,
- diody: 1N4001 (liczba: 1), 1N4148 (liczba: 3),
- rezystory: 330  $\Omega$  (liczba: 1), 470  $\Omega$  (liczba: 1), 1 k $\Omega$  (liczba: 1), 2,2 k $\Omega$  (liczba: 1), 10 k $\Omega$  (liczba: 6), 1 M $\Omega$  (liczba: 1),
- kondensatory: 0,01  $\mu$ F (liczba: 1), 0,1  $\mu$ F (liczba: 1), 0,33  $\mu$ F (liczba: 1), 10  $\mu$ F (liczba: 2),
- mikroprzełączniki (liczba: 8).

- Dodatkowo: narzędzia potrzebne do zmodyfikowania komputera — wywiercenia czterech otworów w obudowie, a następnie wykonania cięcia piłą pomiędzy nimi (pod warunkiem że chcesz doprowadzić projekt do tego etapu). Będą Ci potrzebne również cztery małe śruby do przykręcenia panelu klawiatury do obudowy (po wcześniejszym przygotowaniu odpowiedniego otworu na nią).

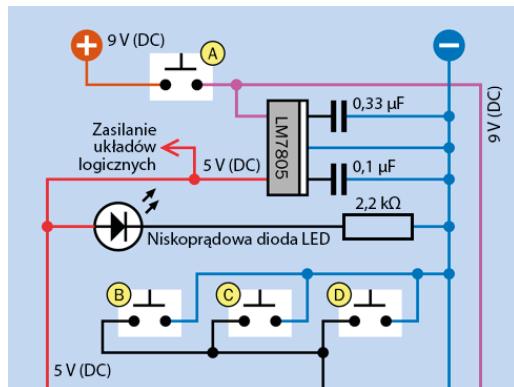
## Schemat trzyczęściowego obwodu

Schemat wykonawczy całego obwodu przedstawiono na rysunku 4.102. Tym razem chciałbym zacząć od przestudiowania schematu, zanim zaczniemy cokolwiek budować.

Obwód można podzielić na trzy sekcje:

- Układ zasilania i trzy przyciski atrapy.
- Aktywne przyciski i obwód logiczny.
- Wyjście.

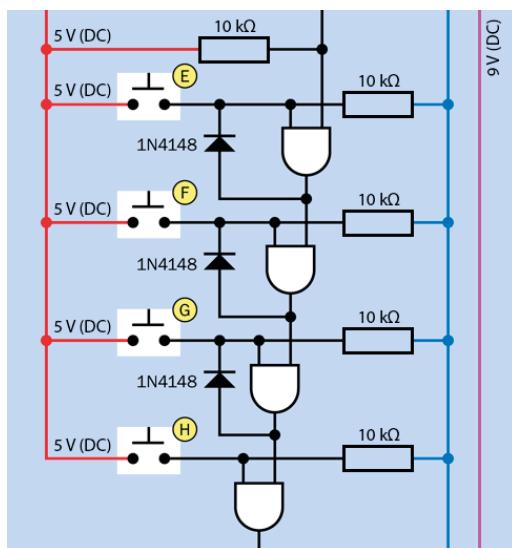
Na rysunku 4.98 pokazano schemat pierwszej części obwodu. Jest ona dość prosta. Wciśnięcie przycisku A aktywuje dopływ prądu stałego o napięciu 9 V do regulatora, który generuje prąd o napięciu 5 V i kieruje go do szyny zasilającej znajdującej się po lewej stronie płytka. Przycisk ten również aktywuje przepływ prądu o napięciu 9 V przez przewód w kolorze fuksji umieszczony po prawej stronie (funkcję tego przewodu opiszę za chwilę).



Rysunek 4.98. Góra sekcja obwodu

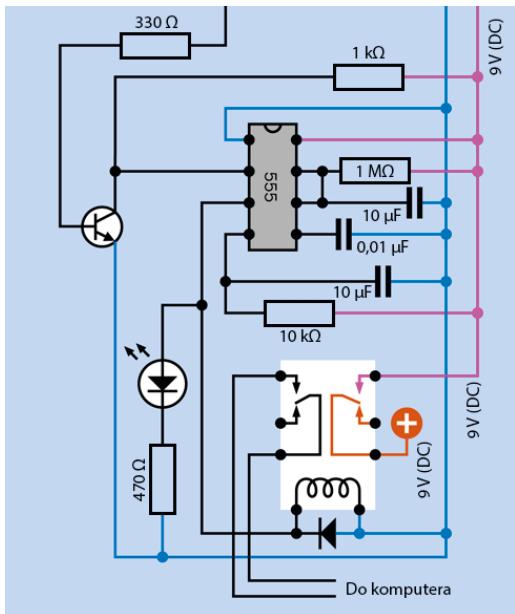
Ponadto na schemacie widzisz przyciski B, C i D, które łączą przewody ze zbiorczą szyną masy.

Teraz przyjrzyj się środkowej sekcji obwodu zawierającej układy logiczne — spójrz na rysunek 4.99. Górną część obwodu widocznego na tym rysunku łączy się z dolną częścią obwodu przedstawionego na rysunku 4.98. Każdy z przycisków E – H dostarcza dodatni prąd do bramek AND. Lewe złącza tych bramek są połączone z rezystorami ściągającymi 10 kΩ, a więc normalnie są one połączone z masą. Wyjście każdej bramki jest podłączone do wejścia kolejnej bramki.



Rysunek 4.99. Schemat ideowy środkowej sekcji projektu; na schemacie zastosowano symbole układów logicznych

Na rysunku 4.100 pokazano dolną sekcję projektu, w której wyjście ostatniej bramki AND aktywuje tranzystor włączający układ czasowy 555 sterujący pracą przekaźnika. Przekaźnik może blokować lub aktywować przycisk włączający Twój komputer lub dowolne inne urządzenie elektroniczne włączane za pomocą prostego przycisku włącz-wyłącz.



Rysunek 4.100. Dolna sekcja projektu

## Jak to działa?

Układ został zaplanowany tak, że w celu wpisania sekwencji kodu musisz wcisnąć i przytrzymać przycisk A. Dzięki temu rozwiążaniu obwód nie pobiera prądu, gdy z niego nie korzystasz, i nigdy nie zostawisz go włączonego przez pomyłkę.

Tajny kod polega na wcisnięciu kolejno przycisków E, F, G i H, gdy będziesz przytrzymywać przycisk A. Oczywiście instalując obwód w obudowie, możesz zmienić kolejność ułożenia przycisków. Ułożyłem je na płytce prototypowej tak, aby maksymalnie uprościć obwód.

Załóżmy, że trzymasz wcisnięty przycisk A i wciśnasz przycisk E — pierwszy z sekwencji niezbędnej do umożliwienia rozruchu komputera. Z rysunku 4.99 wynika, że przycisk E powoduje bezpośredni przepływ prądu do wejścia pierwszej bramki AND — prąd ten niweluje działanie rezystora ściągającego, a więc do lewego wejścia tej bramki przyłożono wysoki sygnał logiczny.

Do prawego wejścia bramki AND za pośrednictwem rezystora  $10\text{ k}\Omega$  przyłożony jest wysoki potencjał,

a więc teraz do obu wejść bramki przyłożone są wysokie sygnały logiczne. W związku z tym bramka zaczyna generować wysoki sygnał wyjściowy.

Prąd z wyjścia płynie z powrotem przez diodę do lewego wejścia. W związku z tym możesz puścić przycisk E, a do lewego wejścia bramki AND nadal będzie przyłożony wysoki potencjał. Bramka „zatrzasnęła się” podobnie jak przekaźnik w eksperymencie numer 15. Może do tego dojść, ponieważ bramka dysponuje własną linią zasilającą, której nie pokazano na schemacie logicznym. Linia ta pozwala na utrzymanie napięcia wyjściowego niezależnie od niewielkiej redukcji napięcia wejściowego.

Wysoki sygnał wyjściowy pierwszej bramki AND jest kierowany do prawego wejścia drugiej bramki AND. Teraz do prawego wejścia drugiej bramki AND przyłożony jest wysoki potencjał, a jeżeli wciśniesz odpowiedni przycisk, to wysoki potencjał zostanie również przyłożony do jej drugiego wejścia, co spowoduje wygenerowanie przez nią wysokiego sygnału wyjściowego. Do aktywacji drugiej bramki nie wystarczy samo wciśnięcie odpowiedniego przycisku, musi do niej dopływać wysoki sygnał generowany przez pierwszą bramkę AND.

- Bramka AND „blokuje się” po wciśnięciu znajdującego się obok niej przycisku (nie musisz go przytrzymywać).
- Przyciski musisz wciskać w odpowiedniej kolejności. Wciśnięcie ich w niewłaściwej kolejności nie spowoduje aktywowania włącznika komputera.
- Podczas wprowadzania kombinacji musisz cały czas przytrzymywać przycisk A.

Przyjrzyj się przyciskom C, D i E. Co się stanie, jeżeli wprowadzając kombinację, wciśniesz któryś z tych przycisków? Spowoduje to obniżenie napięcia przyłożonego do prawego wejścia pierwszej bramki AND. W związku z tym bramka zacznie generować niski sygnał wyjściowy. Jeżeli bramka była „zablokowana”, to spowoduje to jej odblokowanie. Ponadto generowanie niskiego sygnału przez pierwszą bramkę AND spowoduje odblokowanie drugiej bramki

AND, która wygeneruje niski sygnał odblokowujący trzecią bramkę AND.

Wciśnięcie przycisku C, D lub E spowoduje wyzerowanie całego obwodu. Zostały one dodane do obwodu w celu utrudnienia wprowadzenia właściwej kombinacji. Oczywiście instalując obwód, musisz zadbać o to, aby wszystkie przyciski wyglądały tak samo.

## Więcej niż jeden przycisk?

A jeżeli użytkownik wciśnie jednocześnie więcej niż jeden przycisk, przytrzymując przycisk A? Działanie obwodu jest wtedy nieprzewidywalne. Jednoczesne wciśnięcie przycisków E, F, G i H spowoduje aktywację przekaźnika (o ile jednocześnie nie wciśniesz jeszcze przycisku B, C lub D — w takim przypadku przekaźnik nie zostanie aktywowany). Możliwość aktywacji przekaźnika poprzez jednoczesne wciśnięcie kilku przycisków jest wadą tego obwodu, ale prawdopodobieństwo jednoczesnego wciśnięcia przycisków A, E, F, G i H i niewciśnięcia przy tym przycisku B, C lub D jest niskie. W celu zminimalizowania prawdopodobieństwa przypadkowego wciśnięcia właściwej kombinacji klawiszy możesz dodać więcej przycisków resetujących obwód — należy je podłączyć równolegle do przycisków B, C i D.

## Aktywacja przekaźnika

Załóżmy, że wprowadziłeś właściwą kombinację. Ostatnia bramka AND powoduje dopływ prądu o napięciu 5 V do bazy tranzystora (patrz rysunek 4.100). Tranzystor zostaje włączony — zaczyna przewodzić prąd. Powoduje to zmniejszenie rezystancji pomiędzy pinem numer 2 układu czasowego 555 i zbiorczą szyną masy, a więc napięcie przyłożone do wspomnianego pinu maleje — układ czasowy zostaje włączony.

Układ czasowy jest zasilany napięciem 9 V dopływanym do niego przewodem w kolorze fuksyjnym po prawej stronie schematu. Prąd podawany na wyjściu układu czasowego powinien aktywować przekaźnik. Teraz przyjrzyj się pracy przekaźnika.

Zestaw złączy znajdujących się po jego prawej stronie tworzy alternatywne źródło zasilania podłączone do prądu o napięciu 9 V.

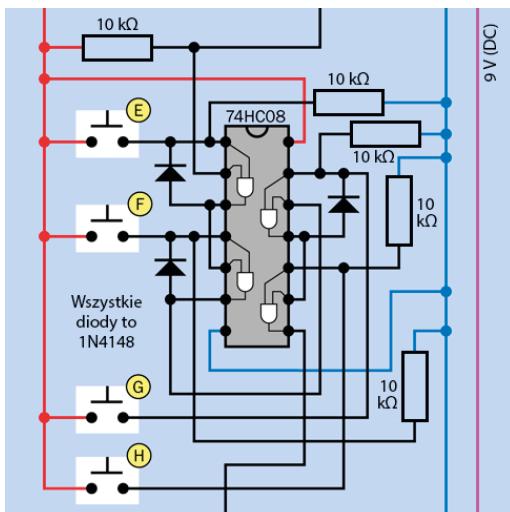
Styki przekaźnika są zwarte, dopóki układ 555 generuje wysoki sygnał. Układ (w tym również układ czasowy) jest zasilany, dopóki styki przekaźnika są zwarte. Tak, układ czasowy zasila przekaźnik, a przekaźnik zasila układ czasowy.

Puść przycisk A. Styki przekaźnika będą zwierane, dopóki układ czasowy będzie generował wysoki sygnał. Będzie to trwało około 30 sekund, później wysoki sygnał nie będzie docierał do przekaźnika, co spowoduje rozwarcie jego styków. To z kolei wyłączy układ czasowy i odetnie resztę obwodu od zasilania. Teraz obwód nie pobiera prądu.

Styki znajdujące się po lewej stronie przekaźnika łączą przycisk zasilania znajdujący się na obudowie z płytą główną komputera. Włączenie komputera jest możliwe przez krótki czas, w którym układ czasowy zasila przekaźnik. Przez pozostały czas przycisk włączający komputer będzie nieaktywny.

## Kość z układami logicznymi

Przyjrzyj się rysunkowi 4.101. Jest to schemat środkowej części układu, na którym umieszczono



Rysunek 4.101. Schemat środkowej sekcji obwodu z układem scalonym, który jest stosowany w rzeczywistości

stosowany przeze mnie w rzeczywistości układ scalony 74HC08. Kość ta zawiera cztery 2-wejściowe bramki AND. Wykonuje ona dokładnie te same operacje, które wykonują pojedyncze bramki widoczne na rysunku 4.99. Porównaj oba schematy — przedstawione na nich obwody działają w ten sam sposób. Schemat, na którym przedstawiono układ scalony, informuje Cię o tym, jak komponenty powinny być połączone ze sobą w rzeczywistości, ale przyglądając się takiemu schematowi, trudno jest zrozumieć pracę obwodu. O wiele łatwiej jest ją zrozumieć, patrząc na schemat logiczny.

## Czas połączyć obwód!

Schemat wykonawczy całego obwodu pokazano na rysunku 4.102. Pracując nad tym obwodem, nie możesz sprawdzać działania poszczególnych etapów pracy — poprawność wykonania obwodu będziesz mógł sprawdzić dopiero po zainstalowaniu na płytce wszystkich komponentów. Wartości charakteryzujące komponenty pokazano na rysunku 4.103.

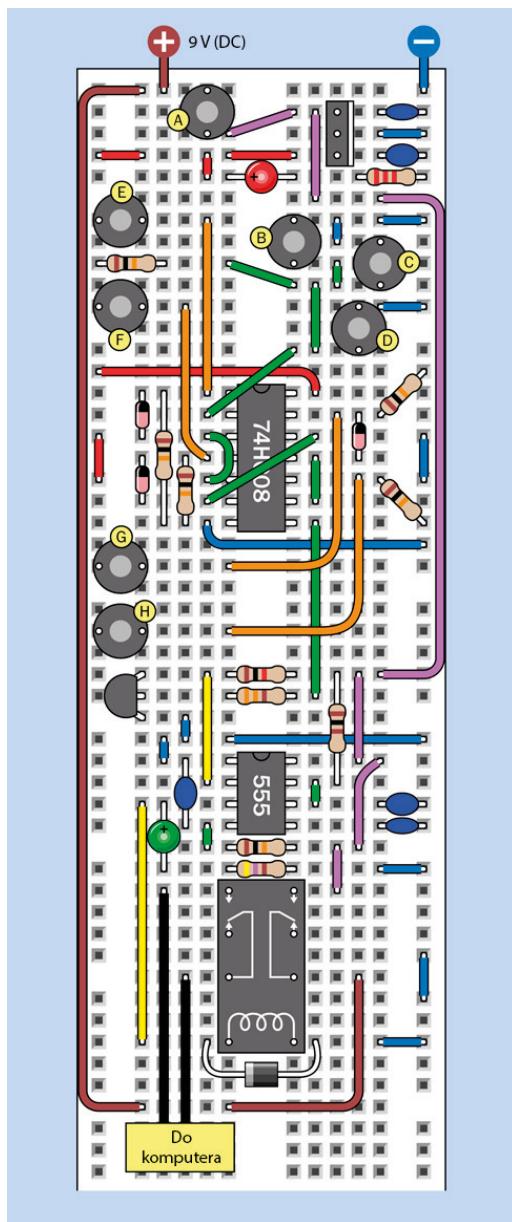
## Przygotowanie obwodu do pracy

Uważaj, aby nie połączyć ze sobą napięć 5 V i 9 V. Napięcie 5 V jest zbyt niskie dla przekaźnika, a napięcie 9 V uszkodzi kość logiczną. Do szyny widocznej po lewej stronie płytki podłączone jest napięcie 5 V. Prąd o napięciu 9 V dopływa do przekaźnika przez brązowy przewód widoczny po lewej stronie płytki (patrz rysunek 4.102) bez udziału przełączników. Po wciśnięciu przycisku A lub po zwarciu prawej pary styków przekaźnika przez przewody fioletowe i przewody w kolorze fuksji płynie również prąd o napięciu 9 V.

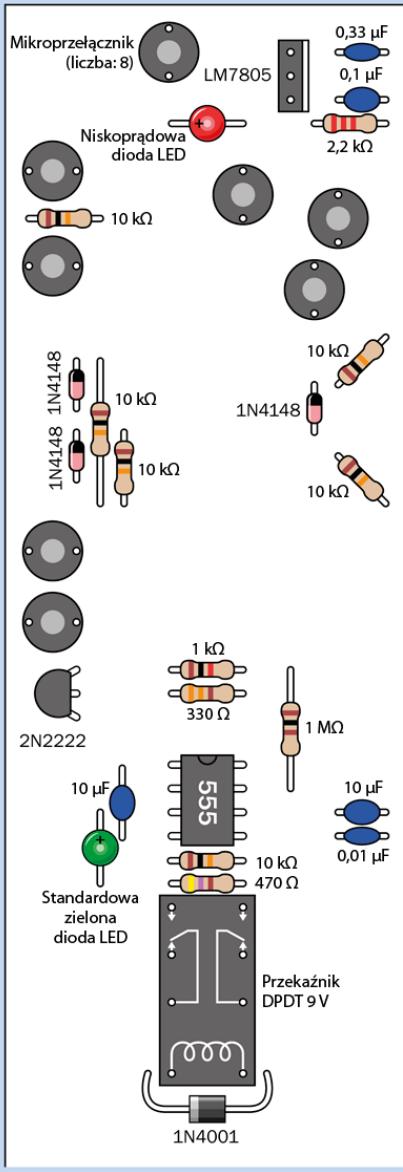
- Kolorem brązowym oznaczono przewody, przez które płynie prąd o napięciu 9 V bezpośrednio z baterii lub zasilacza.
- Fuksją i fioletem oznaczono przewody, przez które płynie prąd o napięciu 9 V z przycisku A lub przekaźnika.

- Kolorem czerwonym oznaczono przewody, poprzez które płynie prąd o napięciu 5 V dostarczany przez regulator napięcia.

Po wykonaniu obwodu podłącz go do zasilacza 9 V, a następnie wciśnij i przytrzymaj przycisk A. Wywoła to tylko emisję światła z czerwonej diody LED.



Rysunek 4.102. Schemat wykonawczy całego obwodu zamka elektronicznego



**Rysunek 4.103.** Wartości charakteryzujące komponenty przedstawione na schemacie wykonawczym

Przytrzymując przycisk A, wcisnąć i zwolnić kolejno przyciski oznaczone etykietami E, F, G i H. Po tej sekwencji powinna zapalić się zielona dioda LED sygnalizująca zwarcie styków przekaźnika i odblokowanie obwodu włącznika.

Puść przycisk A. Dioda LED powinna świecić przez około 30 sekund, a następnie samoczynnie zgaśnie. Podczas tych 30 sekund możesz uruchomić komputer (jeżeli projekt zostanie zainstalowany wewnątrz komputera).

Wyłączony obwód nie pobiera prądu. Projekt możesz zasilać za pomocą baterii 9 V, która powinna stać się na kilka lat pracy obwodu.

Wciśnij przycisk A, a następnie wprowadź inną kombinację. Spróbuj również wcisnąć przyciski oznaczone etykietami B, C i D. Zielona dioda LED nie zostanie zapalone, a przekaźnik pozostanie nieaktywny.

Załóżmy, że zainstalowałeś już projekt w obudowie komputera. W celu złamania kodu intruz musiałby wiedzieć, że:

- wprowadzając sekwencję przycisków, trzeba wcisnąć przycisk A;
- po wcisnięciu niewłaściwego przycisku sekwencję kodu należy wpisać od początku;
- tylko przyciski E, F, G i H są aktywne — należy je wcisnąć w odpowiedniej kolejności.

Wydaje mi się, że to bardzo bezpieczne rozwiązanie. Jeżeli to Ci nie wystarcza, możesz dodać do obwodu kilka kolejnych przycisków.

## Testowanie

Włącz miernik w tryb testowania ciągłości obwodu i podłącz jego próbniki za pomocą przewodów zakończonych zaciskami typu krokodyl do złączy oznaczonych na rysunku 4.100 etykietą „do komputera”. Złączta te nie dostarczają prądu, a więc zwarcie styków przekaźnika można sprawdzić tylko za pomocą miernika pracującego w trybie testowania ciągłości obwodu.

Wprowadź właściwą kombinację przycisków — miernik powinien pisać. Puść przycisk A. Miernik powinien pisać dalej — układ czasowy 555 zasila przekaźnik. Po skończonym cyklu pracy układu czasowego styki przekaźnika zostaną rozwarte, a miernik przestanie pisać.

Przestaw miernik w tryb pomiaru natężenia prądu. Teraz możesz go wpiąć pomiędzy dodatni biegun baterii i otwór, przez który do płytki dopływa prąd o napięciu 9 V. Miernik powinien wskazywać zero do momentu wcisnięcia przycisku A.

## Praca z diodami

W obwodzie zastosowano dwa mechanizmy zatrzaskiwania. Przekaźnik jest blokowany w dość niestandardowy sposób, ale sposób ten sprawdził się doskonale i pozwolił na wyeliminowanie zużycia prądu przez nieużywany obwód. Bramki AND są blokowane w nieco inny sposób.

Czwarta bramka AND nie musi być blokowana, ponieważ do uruchomienia układu czasowego wymagany jest krótki impuls dostarczany poprzez wcisnięcie przycisku H. Jednak trzy pierwsze bramki AND muszą zostać zablokowane — muszą generować wysoki sygnał wyjściowy po zwolnieniu przycisków E, F i G. Zastosowano w tym celu diody kierujące prąd z wyjść bramek z powrotem do ich wejść.

Czy widzisz tu jakiś problem? Przypominam o tym, że dioda obniża napięcie prądu o około 0,7 V. Wejście bramki logicznej musi odróżnić niski stan od wysokiego. Jeżeli zaczniesz podłączać diody do układów logicznych, nie analizując spadków napięcia, możesz doprowadzić do sytuacji, w której sygnał niski i wysoki nie będą rozróżniane przez układy. Podobny problem opisałem w eksperymencie numer 15 — tranzystor oraz dioda mogły doprowadzić do spadku napięcia, w wyniku którego mogło dojść do tego, że układ uruchamiał pewne funkcje bez odpowiedniego opóźnienia.

W razie wątpliwości sprawdź napięcia za pomocą miernika i przyjrzyj się jeszcze raz specyfikacji sygnałów wejściowych przedstawionej na rysunku 4.97.

W zaprezentowanym przeze mnie obwodzie sygnał wyjściowy bramki jest kierowany bezpośrednio do jednej diody LED, a następnie do wejścia tej bramki (rozwiązań takie zastosowano w przypadku trzech pierwszych bramek AND), a więc obwód nie będzie

sprawiał problemów. Musisz pamiętać o tym, że łącząc diody z układami logicznymi, należy zachować ostrożność.

Jeżeli dioda nie jest najlepszą metodą blokowania bramki logicznej, to jaki jest idealny sposób na jej zablokowanie?

Na pierwszy rzut oka diodę można zastąpić przewodem kierującym prąd bezpośrednio do wejścia diody. Po co w ogóle dodawać diody?

Są one ważne. Gdyby dioda została zastąpiona drutem, to dodatnie napięcie dopływające do bramki w wyniku wcisnięcia przycisku płynęłoby przez ten drut do wyjścia bramki (prąd omijałby bramkę).

- Nie dopuszczaj do sytuacji, w której prąd wpływa do wyjścia bramki.

Bramkę logiczną można zablokować za pomocą przerutnika. Wcześniej korzystaliśmy z układu czasowego 555 podłączonego do obwodu tak, że działał on jak przerutnik (opisywałem wtedy pracę układów czasowych i chciałem zademonstrować ich różne możliwości). W tym obwodzie dodawanie 4 układów czasowych byłoby bezsensowne. Istnieją układy scalone zawierające kilka przerutników, a ponadto przerutnik można wykonać, łącząc ze sobą dwie bramki NAND lub dwie bramki NOR, co zrobimy w praktyce w eksperymencie numer 22.

W tym projekcie chciałem zminimalizować liczbę układów scalonych i stopień skomplikowania obwodu. W związku z tym skorzystałem z najbliższego rozwiązania — zastosowałem diody.

## Pytania

Sygnał wyjściowy generowany przez czwartą bramkę AND był pojedynczym impulsem o dodatnim napięciu. Dlaczego nie aktywowałem przekaźnika bezpośrednio, bez pomocy układu czasowego?

Wyjście bramki AND jest w stanie zapewnić prąd o maksymalnym natężeniu 20 mA. Ponadto układ czasowy generuje impuls o stałej długości.

Dlaczego do obwodu podłączyłem tranzystor? Bramka AND generuje impuls o dodatnim potencjale, a do aktywacji układu czasowego niezbędny jest impuls prądu o potencjał ujemnym. Tranzystor umożliwił przetworzenie dodatniego impulsu na ujemny. To samo można było wykonać za pomocą bramki NOT (inwertora), ale wymagałoby to dodania do obwodu kolejnego układu scalonego.

W takim razie dlaczego zastosowałem bramki AND, a nie NAND? Bramka NAND normalnie dostarcza wysoki potencjał wyjściowy, a niski potencjał jest generowany przez tę bramkę, gdy do obu jej wejść przyłożony zostanie wysoki potencjał. Wydaje się, że rozwiązanie to doskonale nadatoby się do obsługi układu czasowego 555. Korzystając z bramek NAND, nie musiałbym stosować tranzystora.

To prawda, ale w przypadku bramek AND generowane przez nie dodatnie napięcie mogło być skierowane z powrotem do ich wejść w celu ich zablokowania. W związku z tym bramki AND muszą być podłączone do trzech pierwszych przycisków. Tylko ostatnią, czwartą bramkę można zastąpić bramką NAND. Generowałaby ona sygnał, który można by podłączyć bezpośrednio do układu zegarowego. W związku z tym w obwodzie nadal musiałbym znajdować się układ 74HC08, a dodatkowo należałoby zainstalować układ 74HC00, aby skorzystać z jednej z zainstalowanych w nim bramek. Dodanie tranzystora jest prostsze, a poza tym tranzystor zajmuje mniej miejsca.

Dlaczego są potrzebne dwie diody LED? Ponieważ kiedy przyciskasz przyciski w celu odblokowania komputera, musisz wiedzieć, co dokładnie się dzieje. Dioda włączonego zasilania upewnia Cię, że bateria nie jest rozładowana. Dioda aktywnego przekaźnika informuje, że system został odblokowany, na wypadek gdybyś nie był w stanie usłyszeć „kliknięcia” przekaźnika.

Czas na ostatnie, ważne pytanie. Jak zainstalować projekt w obudowie komputera? Zakładam, że chcesz to zrobić. Jest to prostsze, niż Ci się wydaje.

## Połączenie z komputerem

Sprawdź, czy wykonany przez Ciebie obwód działa poprawnie. Wykonanie błędного połączenia może doprowadzić np. do przepływu prądu o napięciu 9 V przez styki znajdujące się po lewej stronie przekaźnika, co byłoby niebezpieczne!

Sprawdź jeszcze raz działanie obwodu. Przełącz miernik w tryb pomiaru napięcia prądu stałego i wprowadź właściwą kombinację przycisków. Jeżeli po zapaleniu się zielonej diody Twój miernik wskazuje napięcie 0 V, to znaczy, że obwód działa poprawnie. Wykrycie jakiegokolwiek innego potencjału oznacza, że gdzieś popełniłeś błąd.

Na początek poznaj działanie włącznika Twojego komputera.

Starsze komputery wyposażone były w duży przycisk z tyłu obudowy przymocowany do masywnej metalowej puszki zasilacza przekształcającego napięcie z sieci na odpowiednie dla potrzeb komputera. Większość nowoczesnych komputerów jest zaprojektowanych inaczej. Są one zawsze podłączone do prądu i wystarczy dotknąć matego przycisku na obudowie (w przypadku komputerów PC) lub klawiaturze (w przypadku maców), który wysyła impuls o niskim napięciu do płyty głównej komputera.

Takie rozwiązanie jest idealne z naszego punktu widzenia, ponieważ nie będziemy musieli kombinować przy dużym napięciu. Nie otwieraj metalowego pudełka z zamontowanym w środku wentylatorem, które stanowi zasilacz komputera. Zamiast tego poszukaj przewodu (w komputerach PC jest to para przewodów) biegnącego od przycisku włączającego zasilanie do płyty głównej. Musisz znaleźć przewody podłączone do zacisków przycisku.

Żeby przekonać się, czy znalazłeś dobry przewód, **upewnij się, że komputer jest wyłączony**, dokonaj uziemienia swojego ciała (komputery zawierają układy CMOS wrażliwe na ładunek statyczny) i ostrożnie przetnij wyłącznie jeden z dwóch drutów przewodu. Podłącz teraz komputer do prądu i spróbuj użyć przycisku włączającego. Jeżeli nic się nie dzieje,

prawdopodobnie przeciąłeś odpowiedni drut. Gdyby okazało się, że przeciąłeś inny drut, który również blokuje start komputera, możesz go użyć.

Pamiętaj, że nie będziemy zasilać tego przewodu w żaden sposób. Podepnijmy jedynie przekaźnik, który będzie łączył ze sobą dwa końce przeciętego drutu. Jeśli tylko zachowasz rozwagę i spokojnie odszukasz przewód, który uruchamia wszystko, cała operacja powinna przebiec bez problemu. Przy braku pewności i obawie popełnienia błędu pozostałe jeszcze zajrzeć do instrukcji obsługi komputera, która opisuje położenie i przeznaczenie wszystkich przewodów wewnętrznych niego.

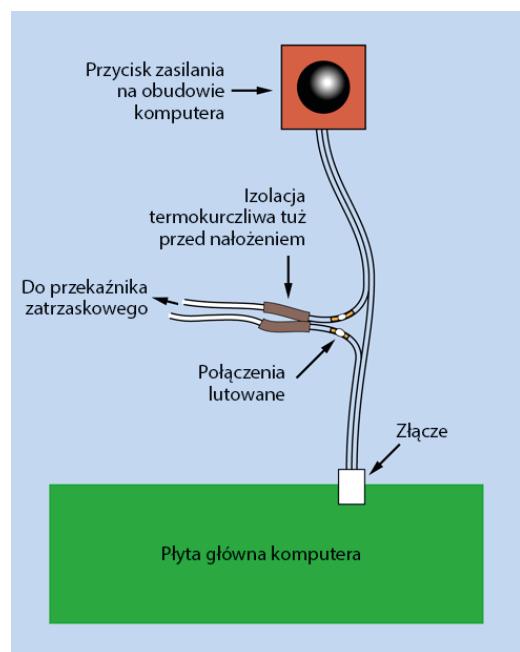
Kiedy już znajdziesz odpowiedni przewód i przetniesz jedną z jego żył, odłącz ponownie komputer od zasilania i pozostaw w takim stanie w ciągu kilku kolejnych kroków.

Znajdź miejsce, gdzie przewód łączy się z płytą główną komputera. Zazwyczaj w tym miejscu znajduje się miniaturowe złącze. Zacznij od zaznaczenia go, aby móc podłączyć wszystko z powrotem, a następnie odłącz przewód od płyty głównej.

Zdejmij izolację z końców drutu, który właśnie przeciąłeś, i przedłuż, lutując do nich dwa kawałki drutu. Pokazuje to rysunek 4.104. Połączenia osłonią izolacją termokurczliwą (ten krok jest bardzo ważny!).

Poprowadź dwa nowe kawałki drutu do przekaźnika zatraskowego, upewniając się, że są one przymocowane do pary zacisków, które zamkują obwód po jego zasilaniu w wyniku operacji odblokowania. Nie chcesz popełnić pomyłki polegającej na odblokowywaniu komputera w sytuacji, kiedy myślisz, że właśnie go zablokowałeś, i vice versa.

Podłącz wtyczkę na końcu przewodu z powrotem do płyty głównej i włacz zasilanie. Jeśli nic się nie dzieje, prawdopodobnie zrobiłeś wszystko dobrze! Wpisz teraz sekretny kod na swojej klawiaturze (przytrzymując jednocześnie przycisk gwiazdki, aby dostarczyć zasilanie z baterii), co spowoduje zapalenie się zielonej diody. Jeśli teraz naciśniesz przycisk zasilania na obudowie, wszystko powinno



**Rysunek 4.104.** Zbudowany zamek szyfrowy można podłączyć do zwykłego komputera domowego przez przecięcie jednej z żył przewodu łączącego przycisk zasilania z płytą główną i dolutowanie odpowiedniego przedłużenia do płytki. Utworzone połączenia przewodów powinny zostać osłonięte izolacją termokurczliwą

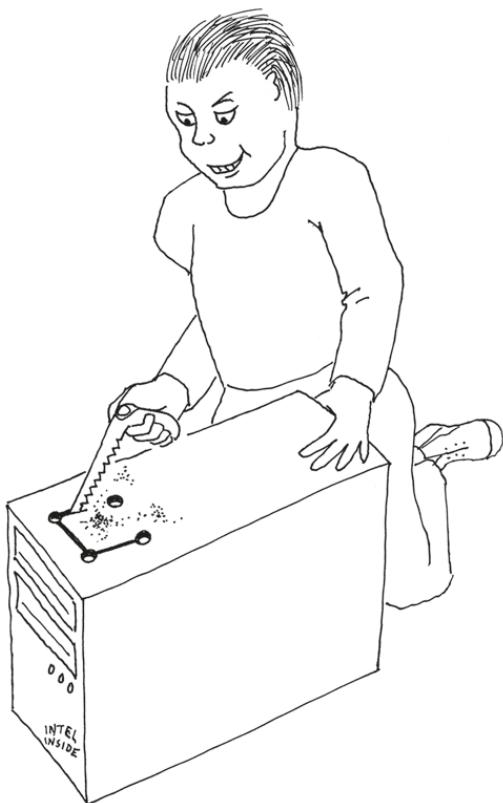
zadziałać. Przycisk włączający komputer musi zostać wciśnięty w ciągu 30 sekund.

Po sprawdzeniu działania obwodu wystarczy zainstalować go w obudowie komputera. Pamiętaj o konieczności całkowitego zdemontowania pokrywy obudowy. Nie instaluj w sposób przedstawiony na rysunku 4.105.

## Udoskonalanie

Pod koniec pracy zawsze pojawiają się pomysły na usprawnienie projektu.

**Zastosowanie klawiatury.** W poprzednim wydaniu tej książki sugerowałem podłączenie do tego projektu klawiatury numerycznej. Niektórzy czytelnicy uważają, że taka klawiatura jest zbyt droga, a inni mieli problem ze znalezieniem odpowiedniej klawiatury. Po przeanalizowaniu tych argumentów zdecydowałem się na zastosowanie mikroprzelłączników.



Rysunek 4.105. Nie najlepszy sposób instalacji przycisków w obudowie komputera

Łatwo zainstalować je na płytce prototypowej, a gdybyś chciał wykonać stałą wersję tego układu, to przyciski możesz zamontować na kwadratowej blaszce lub kawałku plastiku. Do projektu wciąż możesz podłączyć klawiaturę, pod warunkiem że **nie charakteryzuje się ona kodowaniem matrycowym**. Klawiatury z kodowaniem matrycowym są przeznaczone do współpracy z mikrokontrolerami. Potrzebujesz klawiatury, która charakteryzuje się liczbą złączy o jeden większą od liczby przycisków.

**Zasilanie przekaźnika.** Możesz zastanawiać się, czy napięcie generowane przez wyjście układu czasowego 555 jest wystarczające dla pewnej pracy przekaźnika. To samo zagadnienie omawiałem wcześniej w eksperymencie numer 15, w którym zdecydowałem się nie zasilać przekaźnika przez układ diody i tranzystora. Problem polega na tym, że napięcie prądu płynącego przez wyjście układu

czasowego 55 zmienia się w zależności od jego obciążenia. W związku z tym polecam zastosowanie w tym eksperymencie przekaźnika charakteryzującego się wysoką czułością. Tego typu przekaźniki pobierają trzy razy mniej prądu niż standardowe modele, co doskonale sprawdza się w celach demonstracyjnych. Pamiętaj o tym, że we wszystkich eksperymentach opisanych w tej książce chcielibyśmy korzystać z tego samego przekaźnika. Jednak instalując obwód w obudowie komputera, musisz mieć całkowitą pewność, że będzie on niezawodny, nawet gdy zasilająca go bateria zacznie się rozładowywać. Możesz rozważyć zastosowanie przekaźnika przystosowanego do pracy z napięciem 6 V. Czy nie ulegnie on przeciążeniu? Raczej nie. Niektóre przekaźniki są zaprojektowane z myślą o pracy przy zbyt wysokim napięciu. W dokumentacji 6-woltowego przekaźnika Omron G5V-2-H1-DC6 znalazłem informację, że może on pracować pod maksymalnym napięciem równym 180% napięcia znamionowego. Polecam dokładne przetestowanie obwodu, analizę możliwych modyfikacji i lekturę dokumentacji.

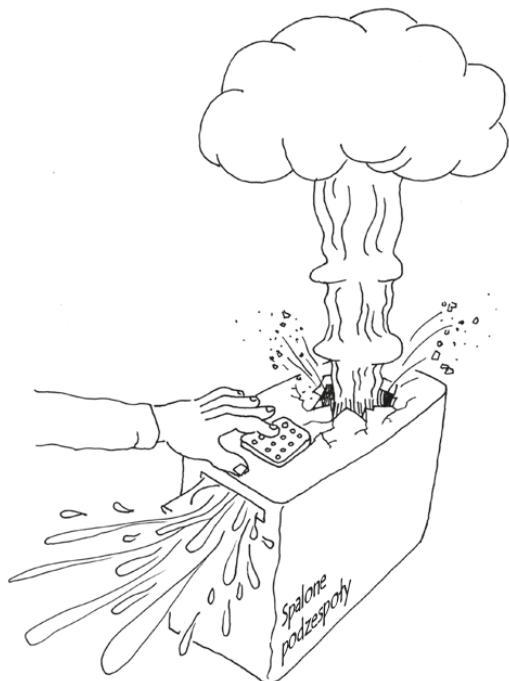
**Zwiększenie poziomu bezpieczeństwa.** Możesz jeszcze bardziej zwiększyć poziom bezpieczeństwa, usuwając zwykłe śruby mocujące obudowę komputera i zastępując je śrubami zabezpieczającymi. Oprócz samych śrub będziesz również potrzebował odpowiedniego narzędzia do ich zainstalowania (lub usunięcia, jeśli okaże się, że system zabezpieczający uległ awarii).

**Zmiana kodu.** Dobrze byłoby móc zmieniać szyfr bez konieczności odlutowywania przewodów i lutowania ich w innym ustawieniu. Mógłbyś wykorzystać gniazda i wtyki typu goldpin. W ten sposób mógłbyś dowolnie przestawiać końce przewodów łączące układ z wyprowadzeniami klawiatury.

**Destrukcyjne zabezpieczanie.** I w końcu sugestia dla tych, którzy we wszystkim dostrzegają teorie spiskowe. Można tak ustawić układ, aby po wpisaniu złego kodu przełączył drugi przekaźnik, dostarczający prąd o ogromnym natężeniu, przeciążającym cały układ i prowadzącym do stopienia procesora. Ten sam impuls prądowy dotarłby do cewki silnika

twardego dysku, nisząc momentalnie wszystkie dane. W przypadku dysku SSD wystarczyłoby zastosować przekaźnik dostarczający do złącza zasilającego dysk prądem o napięciu 5 V prąd o wyższym napięciu.

Jeśli jeszcze tego nie wiesz, ochrona danych polegająca na zniszczeniu dysku jest o wiele bardziej skuteczna niż wszelkie próby zatarcia ich w sposób programowy. Podstawowe zalety fizycznego zniszczenia danych to szybkość całego procesu, trudność w przerwaniu operacji i brak możliwości cofnięcia zniszczeń. Zatem jeśli do Twoich drzwi zapukają przedstawiciele ZAiKS-u w asyście policji i poproszą, abyś włączył swój komputer, umożliwiając im sprawdzenie, czy przypadkiem nie udostępniasz nielegalnie plików, możesz „przez przypadek” podać im zły kod, usiąść wygodnie w fotelu i poczekać na pojawienie się ostrego zapachu topiącej się izolacji lub promieniowania gamma, jeżeli wybrałeś zabezpieczenie nuklearne (patrz rysunek 4.106).



Rysunek 4.106. Dla paranoików czekających jedynie, aż u ich drzwi staną przedstawiciele wrogich sił, przydatny może okazać się system, który po wpisaniu nieprawidłowego kodu prowadzi do całkowitego zniszczenia systemu

Wracając do rzeczywistości — żaden system nie jest całkowicie bezpieczny. Wartością fizycznego urządzenia zabezpieczającego jest to, że jeśli ktoś je pokona (przez znalezienie sposobu na odkręcenie śrub zabezpieczających lub wręcz wyrwanie siłą klawiatury przymocowanej do obudowy komputera), będziesz przynajmniej wiedział, że nastąpiło takie zdarzenie — szczególnie jeśli pomalujesz śruby, aby wykazać, że ktoś próbował je odkręcić. Dla porównania, jeśli zastosujesz oprogramowanie chroniące system hastem i intruz pokona to zabezpieczenie, być może nigdy nie dowiesz się, że nastąpiło włamanie do Twojego komputera.

## Eksperyment 22: Wyścig

Następny projekt poprowadzi nas jeszcze bardziej w kierunku koncepcji sprzężenia zwrotnego, w którym wyjście układu jest kierowane tak, aby wpływać na wejście — w tym przypadku blokując je. Zadanie jest małe, ale zaprezentowane w nim rozwiązania przydadzą się w przyszłości.

### Potrzebne będą:

- płytka prototypowa, drut połączeniowy, szczypce do cięcia drutu, przyrząd do zdejmowania izolacji i multimetr,
- źródło prądu o napięciu 9 V (bateria lub zasilacz),
- kość 74HC32, liczba: 1,
- układ czasowy 555, liczba: 2,
- przełącznik ślizgowy SPDT, liczba: 1,
- mikroprzełączniki SPST, liczba: 2,
- rezystory: 220  $\Omega$  (liczba: 1), 2,2 k $\Omega$  (liczba: 1), 10 k $\Omega$  (liczba: 3),
- kondensatory: 0,01  $\mu$ F (liczba: 2), 0,1  $\mu$ F (liczba: 1), 0,33  $\mu$ F (liczba: 1),
- regulator napięcia LM7805, liczba: 1,
- standardowe diody LED, liczba: 2,
- niskoprądowa dioda LED, liczba: 1.

## Cel

W turnieju telewizyjnym *Va Banque* uczestnicy brali udział w wyścigu o to, kto pierwszy będzie mógł odpowiedzieć na każde kolejne pytanie. Wygrywał uczestnik, który jako pierwszy naciął swój przycisk, automatycznie blokując pozostałych — ich przyciski stawały się nieaktywne. Jak możemy wykonać obwód realizujący taką funkcję?

Jeśli poszukasz w internecie, znajdziesz kilka stron hobbystów sugerujących obwody działające w ten sposób, ale pozbawione pewnych cech, które uważam za niezbędne. Rozwiążanie, które podam w tej sekcji, jest prostsze i doskonalsze. Jego prostota wynika z bardzo małej liczby potrzebnych układów scalonych, natomiast obecność „kontrolera quizu” sprawia, że cała gra jest bardziej realistyczna.

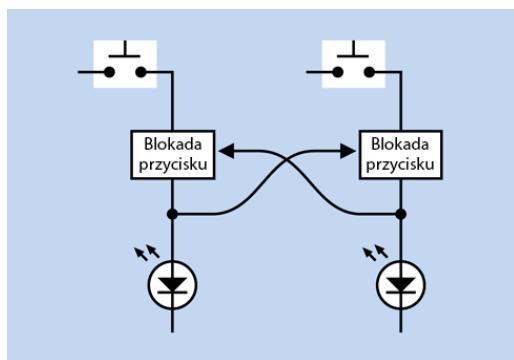
Zacznę od pomysłu w wersji przeznaczonej dla dwóch graczy. Po jego przetestowaniu pokażę, w jaki sposób można go rozszerzyć na czterech lub nawet więcej uczestników.

## Od koncepcji do układu

Chcę pokazać, jak tego typu projekt rośnie od pomysłu do działającej wersji. Pokazując kolejne kroki projektowania układu, mam nadzieję zainspirować Cię do samodzielnego wymyślania swoich układów w przyszłości — rozwijanie własnych pomysłów ma o wiele większą wartość niż kopowanie czyjejś pracy.

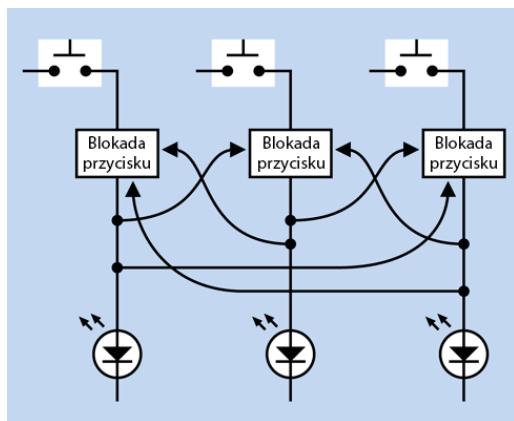
Zacznijmy od podstawowej koncepcji: dwie osoby mają dwa przyciski. Ten, kto pierwszy naciśnie swój przycisk, zablokuje przycisk przeciwnika.

Zauważylem, że łatwiej jest mi wyobrazić sobie tego typu urządzenie, jeśli narysuję jego szkic — patrz rysunek 4.107. Sygnał z każdego przycisku przechodzi przez komponent, który nazwalem „blokadą przycisku”. Jest on aktywowany przyciskiem drugiej osoby. W tej chwili nie wiem jeszcze, z jakich części będzie zbudowany i jak będzie działał.



Rysunek 4.107. Podstawowa koncepcja projektu quizu polega na tym, że gracz, który wciśnie przycisk jako pierwszy, zablokuje pozostałych graczy

Kiedy patrzę na ten szkic, widzę pewien problem. Jeśli będę chciał rozwijać ten obwód do trzech graczy, stanie się on skomplikowany, ponieważ każdy z graczy będzie musiał aktywować blokady przycisków dwóch pozostałych uczestników. Pokazuje to rysunek 4.108. Przy czterech gracach sytuacja skomplikuje się jeszcze bardziej. Trzeba będzie wykonać wiele połączeń.



Rysunek 4.108. Dodanie trzeciego przycisku zwiększyło ponadwukrotnie liczbę połączeń pomiędzy komponentami

Widząc taką złożoność, myślę sobie zawsze, że musi istnieć lepsze rozwiązanie.

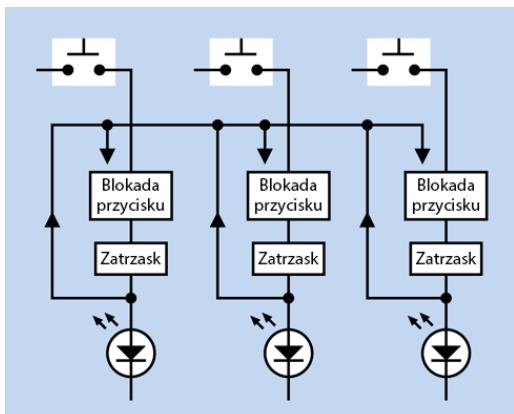
To jeszcze nie wszystkie problemy. Po puszczeniu przez zawodnika swojego przycisku przyciski pozostałych graczy będą ponownie odblokowane. Potrzebny jest zatrzasz utrzymujący sygnał ze

zwycięskiego przycisku, który nie pozwoli na odblokowanie reszty. Po wykonaniu eksperymentów numer 15, 19 i 21 wydaje mi się, że będę potrzebował przerzutnika, określonego również mianem „zatrzask”. Komponent ten będzie utrzymywać sygnał wygenerowany przez wcisnięcie przycisku przez pierwszego gracza. Dzięki temu przyciski pozostałych graczy będą zablokowane nawet wtedy, gdy pierwszy gracz puści przycisk.

Układ skomplikował się dosyć mocno. Jeśli jednak mam zatrzask, który pozwala zwycięskiemu gracowi zdjąć palec ze swojego przycisku, nie muszę się dalej przejmować tym, czy którekolwiek z przycisków są naciśnięte, łącznie z przyciskiem wygrywającym. Kiedy tylko jego sygnał zostanie zatrzaśnięty, można zablokować **wszystkie** przyciski. To znacznie ułatwia sprawę. Mogę to podsumować jako serię zdarzeń:

- Pierwszy gracz naciska swój przycisk.
- Sygnał zostaje zatrzaśnięty.
- Zatrzaśnięty sygnał zwraca i powoduje zablokowanie wszystkich przycisków.

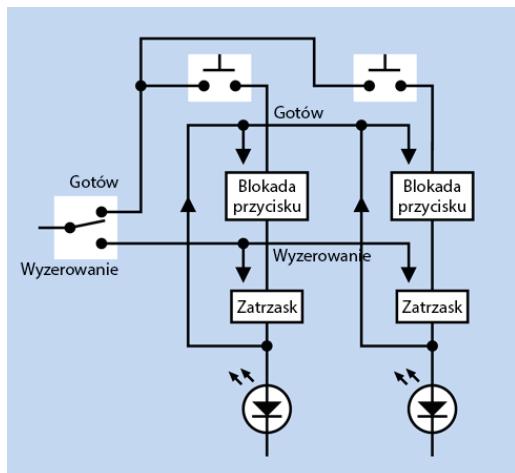
Pokazuje to rysunek 4.109. Teraz układ ma budowę bardziej modułową i może być rozszerzony na niemal dowolną liczbę graczy przez zwykłe dołożenie kolejnych modułów.



Rysunek 4.109. Dowolny zatrzask może zablokować wszystkie przyciski

Brakuje jeszcze czegoś ważnego — przycisku zerującego, który po obejrzeniu wyniku przez graczy pozwoli przywrócić w systemie stan początkowy. Ponadto potrzebny jest sposób na uniemożliwienie gracjom naciskania swoich przycisków zbyt wcześnie, zanim prowadzący zabawę skończy zadawać pytanie. Być może obie funkcje można połączyć w jednym przełączniku — kontrolerze quizu.

W swojej pozycji zerującej przełącznik kontrolera będzie przywracał stan początkowy, blokując jednocześnie zasilanie przycisków. W pozycji „gotów” przełącznik przestanie utrzymywać układ w stanie wyzerowania i zasili przyciski. Pokazuje to rysunek 4.110. Aby zmniejszyć zamieszanie w układzie, wróciłem ponownie do dwóch graczy, ale koncepcja pozostaje bez zmian.

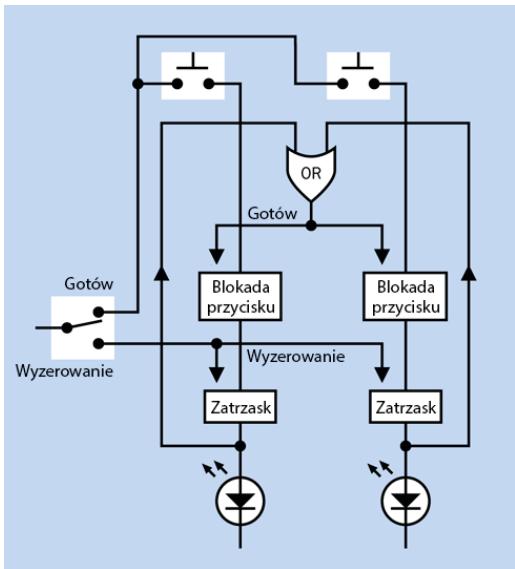


Rysunek 4.110. Do obwodu dodano przełącznik sterujący pracą quizu

Teraz muszę sobie poradzić z problemem logicznym widocznym na diagramie. W obecnej postaci wyjście z zatrzasku po lewej stronie idzie do góry w kierunku blokady przycisków, ale później biegnie również w dół do drugiej części układu (w kierunku przeciwnym do narysowanych strzałek). Innymi słowy, jeśli zapali się dioda po lewej stronie, to samo zrobi dioda po prawej. Jak mogę temu zapobiec?

Moglibym wstawić diody do przewodów biegących do góry, aby zablokować przepływ prądu w dół,

ale mam lepszy pomysł. Dodam bramkę OR — jej wejścia są od siebie odseparowane elektrycznie. Pokazuje to rysunek 4.111.



Rysunek 4.111. Bramka OR pozwala na odizolowanie od siebie obwodów poszczególnych graczy

Zauważmy, że bramka OR ma tylko dwa wejścia logiczne. Czy to przeszkodzi w dodaniu większej liczby graczy? Nie, ponieważ dostępne są bramki OR mające do ośmiu wejść. Pojawienie się stanu wysokiego na dowolnym wejściu wytworzy wysoki stan na wyjściu. Dla liczby graczy mniejszej od ośmiu mogą zewrzeć nieużywane wejścia do masy i traktować je tak, jakby ich nie było.

Zaczynam dostrzegać, czym powinien być blok nazwany przeze mnie blokadą przycisków. Powinna być to kolejna bramka logiczna. Jej funkcję można opisać słownie: „jeśli jest tylko jeden wysoki stan wejściowy (z przycisku), przepuść go dalej, ale jeśli pojawi się drugi wysoki stan wejściowy (z bramki OR), nie przepuszczaj sygnału”.

Zanim zacznę dobierać odpowiednie bramki, muszę jeszcze zdecydować, jaki układ będzie realizował zatrzask. Mogę kupić gotowy przerzutnik, który będzie przechodził w stan wysoki po pobudzeniu jednego wejścia i w stan niski po pobudzeniu

drugiego. Problem w tym, że kości z przerzutnikami zazwyczaj mają dodatkowe funkcje, których nie potrzebuję w tak prostym obwodzie jak ten. Dlatego użyję ponownie układów czasowych 555 pracujących w trybie przerzutnika. Ich konfiguracja wymaga niewielkiej liczby połączeń, pracują w prosty sposób i mogą dostarczyć prądu pozwalającego na zasilenie diod LED. Niestety układy czasowe 555 pracujące w trybie bistabilnym wymagają:

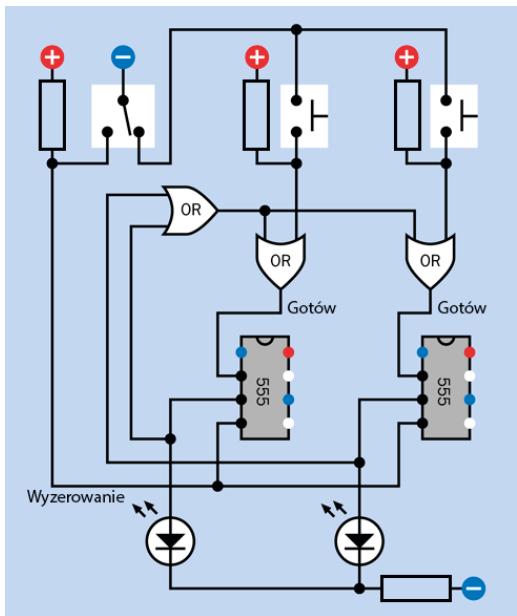
- przyłożenia ujemnego potencjału do wejścia w celu wygenerowania wysokiego sygnału na wyjściu,
- przyłożenia ujemnego potencjału do wejścia w celu wygenerowania niskiego sygnału na wyjściu.

Przyciski graczy będą generowały impulsy niskiego, a nie wysokiego potencjału. Dzięki temu w obwodzie będziemy mogli zastosować układy czasowe.

I w końcu mogę przedstawić uproszczony schemat (patrz rysunek 4.112). Chcę pokazać piny układów czasowych 555 w prawidłowym ułożeniu, dlatego przemieścitem inne komponenty, aby uniknąć nadmiernej liczby krzyżujących się przewodów. Widzisz jednak, że z logicznego punktu widzenia jest to ta sama koncepcja.

Na rysunku zabrakło miejsca na umieszczenie symboli plusa i minusa, a więc piny połączone z wysokim potencjałem oznaczylem czerwonym okręgiem, a piny połączone z niskim potencjałem oznaczylem niebieskimi okręgami. Piny, których potencjał może ulec zmianie, oznaczono czarnymi okręgami. Białymi okręgami oznaczono piny, z których nie korzystamy (nie musisz ich do niczego podłączać).

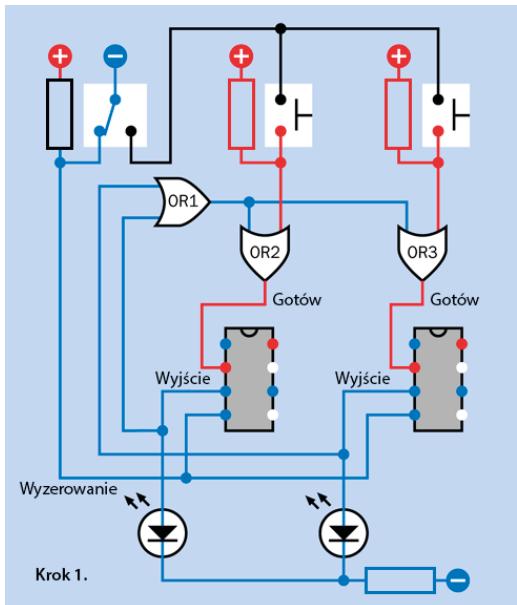
Zanim przystąpimy do budowy układu, przeglądniemy teorię jego działania. Jest to ostatni krok, pozwalający upewnić się o braku błędów. Trzeba pamiętać, że ze względu na konieczność dostarczenia ujemnego wejścia do układu 555, w celu wygenerowania dodatniego wyjścia, po naciśnięciu przycisku przez gracza musi on wytworzyć ujemny „przepływ” w obwodzie.



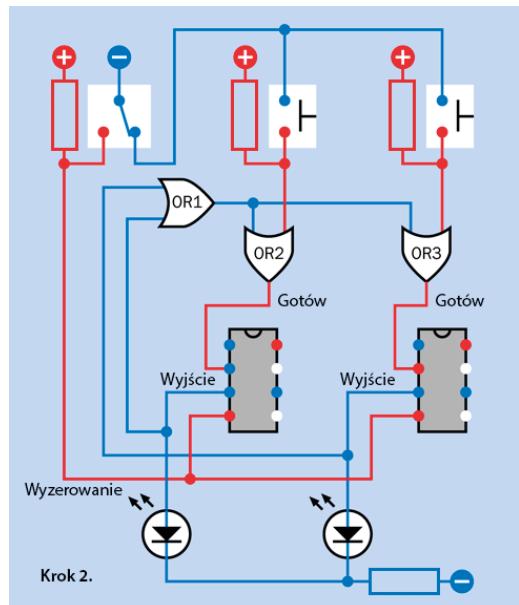
**Rysunek 4.112.** Wstępny schemat logiczny obwodu. Złącza układów czasowych oznaczone kolorem niebieskim są połączone z niskim potencjałem, a złącza oznaczone kolorem czerwonym są połączone z wysokim potencjałem. Piny oznaczone kolorem białym możesz traktować tak, jakby ich nie było

Przeczy to intuicji, dlatego w celu umożliwienia lepszego zrozumienia przedstawiam działanie tej części w formie 4-stopniowej wizualizacji na rysunkach 4.113 – 4.116.

W pierwszym kroku prowadzący quiz ustawił przełącznik w pozycji wyzerowania, dostarczając (ujemne) napięcie do pinów wyzerowania układów czasowych, przez co układy te generują niski sygnał wyjściowy. Sygnały te sprawiają, że diody LED nie świecą. Niski potencjał jest również przyłożony do bramki OR1. Do wejść bramki przyłożone są niskie potencjały, a więc potencjał na wyjściu tej bramki jest również niski. Bramki OR2 i OR3 ignorują to, ponieważ jeden z sygnałów przyłożonych do każdej z bramek charakteryzuje się wysokim potencjałem dzięki działaniu rezystorów podciągających umieszczonych obok przycisków. Bramka OR ma dodatnie wyjście, jeśli którykolwiek z jej wejść jest w stanie wysokim. Piny wyzwalające układów czasowych 555 są utrzymywane w stanie wysokim. Układy nie zmienią stanu sygnału wejściowego, dopóki ich wejścia będą utrzymywane w stanie wysokim. Obwód jest stabilny.



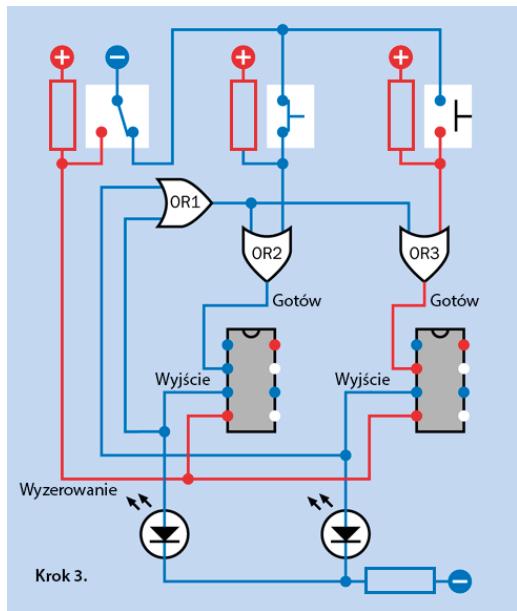
**Rysunek 4.113.** Ilustracja pracy obwodu — krok numer 1 — tryb wyzerowania



**Rysunek 4.114.** Ilustracja pracy obwodu — krok numer 2 — przyciski graczy są aktywne, ale żaden z graczy nie wcisnął jeszcze przycisku

W drugim kroku prowadzący quiz zadał pytanie i przełączył swój przełącznik w prawo, dostarczając (ujemne) napięcie przyciskom graczy. Dopuski ich przyciski pozostają nienaciśnięte, rezystory podciągające dostarczają dodatnie napięcie. Dzięki temu układy czasowe generują niski sygnał wyjściowy, a cały obwód jest stabilny.

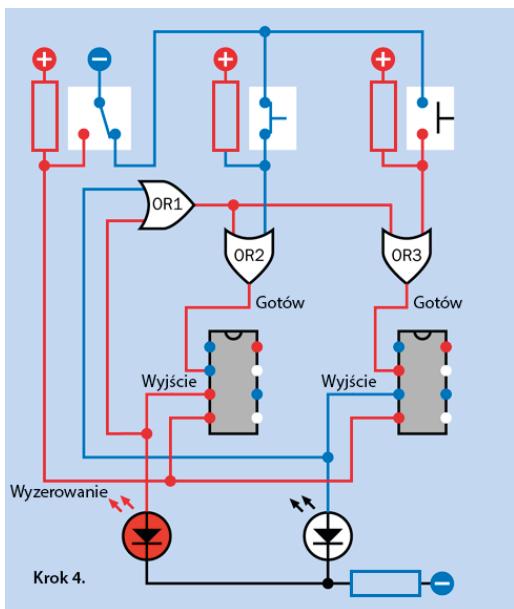
W trzecim kroku gracz numer 1 wcisnął przycisk znajdujący się po lewej stronie. Powoduje to wygenerowanie niskiego impulsu skierowanego do bramki OR2. Teraz do obu wejść bramki OR2 przyłożone są niskie potencjały, a więc bramka generuje niski sygnał wyjściowy. Powoduje to pojawienie się niskiego potencjału na pinie uruchamiającym układ czasowy znajdujący się po lewej stronie. Komponenty nie reagują w sposób natychmiastowy — układ czasowy jeszcze nie zareagował.



Rysunek 4.115. Ilustracja pracy obwodu — krok numer 3 — gracz wcisnął przycisk widoczny po lewej stronie, ale układ czasowy 555 nie zdążył jeszcze na to zareagować

W czwartym kroku, kilka mikrosekund później, układ czasowy wykrył niski stan na swoim wejściu wyzwalającym. Jego wyjście (pin numer 3) przeszło ze stanu niskiego do wysokiego, oświetlając diodę LED. W tym samym czasie jego wysoki stan wyjściowy

zasila bramkę OR1. Ponieważ OR1 jest bramką typu OR, wystarczy, że jedno z jej wejść będzie miało stan wysoki, aby wygenerować dodatni sygnał wyjściowy. Ten sygnał trafia do bramek OR2 i OR3. Mając wysokie stany na wejściu, obie generują wysoki stan na wyjściu i pozostają w takim stanie niezależnie od kolejnych naciśnień przycisków, ponieważ bramka OR1 utrzymuje przepływ dodatniego potencjału w obwodzie.



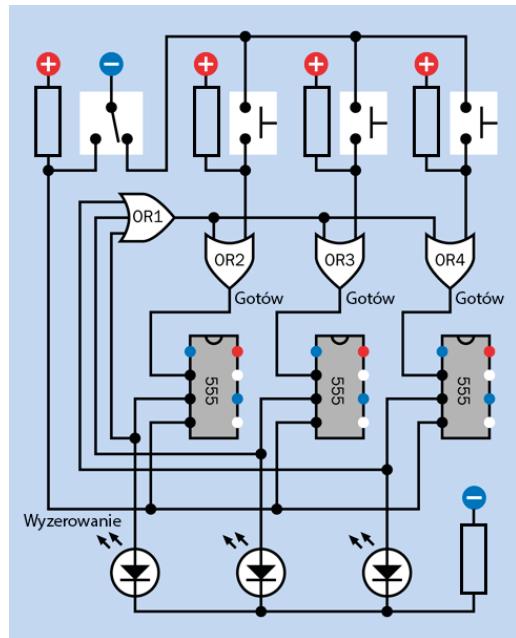
Rysunek 4.116. Ilustracja pracy obwodu — krok numer 4 — gracz wcisnął przycisk widoczny po lewej stronie, ale układ czasowy 555 nie zdążył jeszcze na to zareagować

- Układ czasowy 555 działa w trybie przerutnika. Niski sygnał skierowany do jego pinu wyzwalającego spowoduje wygenerowanie wysokiego sygnału wyjściowego. Sygnał wyjściowy nie zmieni swojego stanu nawet wtedy, gdy do pinu wyzwalającego zostanie skierowany ponownie wysoki sygnał.
- Generowanie wysokiego sygnału przez układ czasowy 555 może zostać przerwane tylko przez skierowanie niskiego potencjału do złącza wyzerującego układ. Dojdzie do tego tylko wtedy, gdy osoba prowadząca quiz przestawi swój przełącznik w pozycję wyzerowania.

Nie rozważyłem jednej sytuacji: co się stanie, jeśli obaj gracze nacisną swoje przyciski dokładnie w tym samym czasie? W świecie elektroniki takie zdarzenie jest wysoce nieprawdopodobne. Zaledwie jedna mikrosekunda wystarczy, aby obwód zareagował i zablokował drugi przycisk. Gdyby jednak oba przyciski zostały naciśnięte równocześnie, oba układy czasowe powinny zareagować, zapalając obie diody świecące i sygnalizując remis.

W teleturnieju nigdy nie dochodzi do remisu. Nigdy! Zastanawia mnie, jak obwód zastosowany w programie telewizyjnym obsługuje jednoczesne wcisnięcie przycisków przez dwóch graczy. Być może zaimplementowano w nim funkcję losowania zwycięzcy spośród graczy, którzy zareagowali w tym samym czasie. Oczywiście to tylko moje domysły.

Jeżeli nie jesteś pewien, w jaki sposób obwód przeznaczony dla dwóch osób może zostać rozszerzony na więcej graczy, przyjrzyj się rysunkowi 4.117. Przedstawia on uproszczony schemat obwodu przeznaczonego dla trzech osób, ale można go

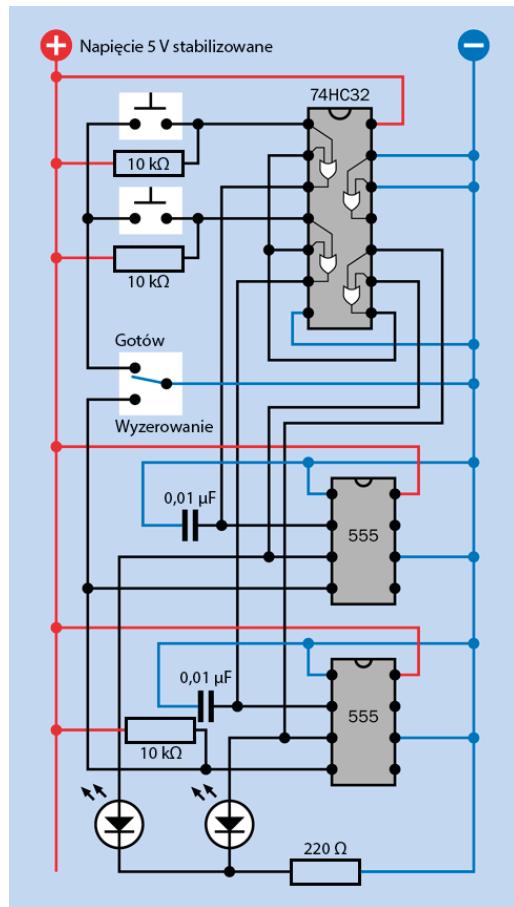


**Rysunek 4.117.** Schemat układu dla dwóch osób może być z łatwością rozszerzony do wersji trzyosobowej przez zmianę pierwszej bramki na 3-wejściową

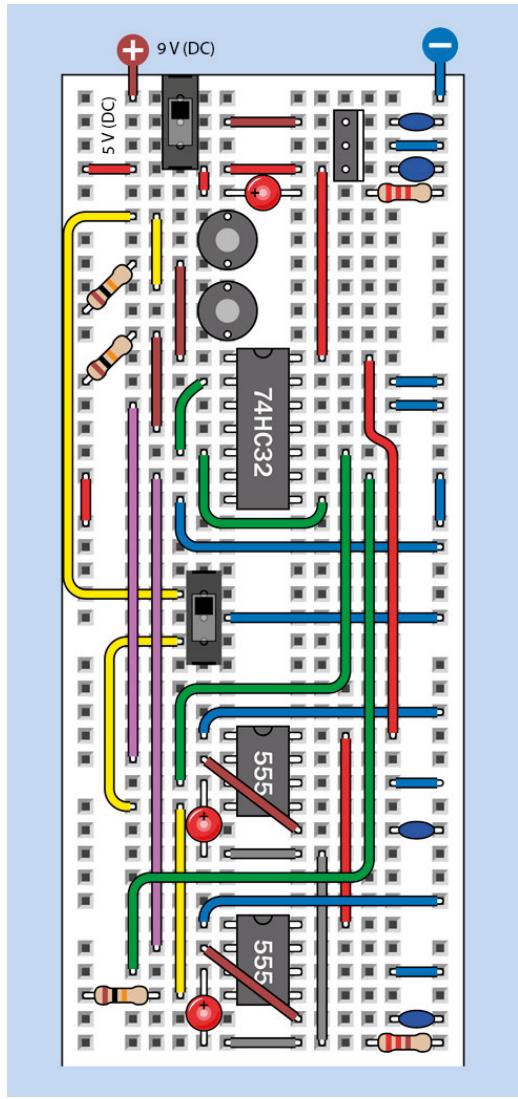
rozbudowywać dalej w celu implementacji obsługi większej liczby graczy. Jedynym ograniczeniem jest liczba wejść bramki OR1.

## **Montaż na płytce prototypowej**

Nadeszła pora, aby stworzyć schemat jak najbardziej zbliżony do układu ścieżek z płytki prototypowej, co ułatwi budowę całego urządzenia. Schemat taki pokazuje rysunek 4.118, natomiast rzeczywisty wygląd płytki z umieszczonymi na niej komponentami przedstawia rysunek 4.119. Na rysunku 4.120 przedstawiono wartości charakteryzujące poszczególne komponenty.

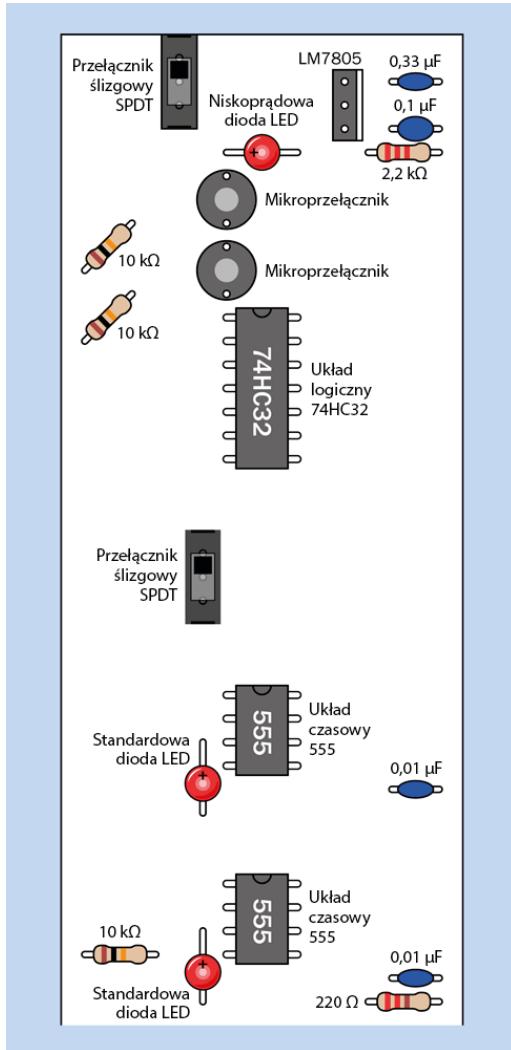


**Rysunek 4.118.** Schemat ideowy obwodu przeznaczonego dla dwóch graczy. Na schemacie umieszczono układ zawierający cztery 2-weiściowe bramki OR



Rysunek 4.119. Schemat wykonawczy obwodu

W tym obwodzie potrzebujemy trzech bramek OR. W związku z tym zastosowałem układ 74HC32 zawierający cztery 2-wejściowe bramki OR (wejścia czwartej bramki zostały połączone z masą). Dwie bramki OR znajdujące się po lewej stronie tej kości pełnią te same funkcje co bramki OR2 i OR3 widoczne na uproszczonym schemacie. Bramka OR znajdująca się w dolnym prawym rogu kości pełni funkcję bramki OR1 — do jej wejścia podłączony jest pin numer 3 układu czasowego 555. Mając do



Rysunek 4.120. Wymiary charakteryzujące komponenty zainstalowane na płytce prototypowej

dyspozycji wszystkie komponenty, bardzo szybko połączysz ten obwód i będziesz mógł przystąpić do testowania.

Być może zauważyleś drobną modyfikację poprzedniego schematu. Pomiędzy pinem numer 2 każdego układu czasowego 555 i masą została dodały kondensator 0,01 µF. Dlaczego? Ponieważ kiedy testowałem obwód bez kondensatorów, czasem jeden z układów 555 wzbiudzał się przez zwykłą zmianę pozycji przełącznika znajdującego się w rękach osoby prowadzącej quiz przy braku zdarzeń pochodzących z przycisków graczy.

W pierwszej chwili byłem zaskoczony takim zachowaniem. Co powoduje wyzwalanie układu czasowego przy braku graczy naciskających przyciski? Być może jest to reakcja na odbicia pochodzące z przełącznika kontrolującego quiz. Ta teza okazała się słuszna, a dotoxiczenie kondensatorów rozwiązało problem. Ich obecność może minimalnie spowolnić reakcję układów czasowych 555, ale nie na tyle, aby mieć wpływ na stosunkowo długi czas reakcji człowieka.

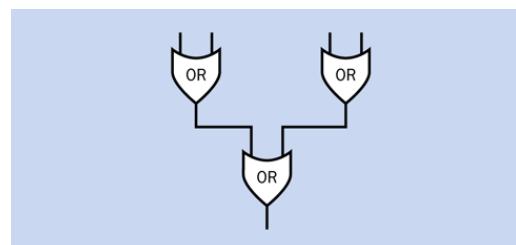
Jeśli chodzi o same przyciski, ich odbicia nie mają znaczenia, ponieważ każdy układ czasowy blokuje się już po pierwszym impulsie i ignoruje dalsze wahania napięcia.

Możesz poeksperymentować podczas budowy układu — odłącz kondensatory  $0,01 \mu\text{F}$  i przełącznik kilkakrotnie przełącznik osoby prowadzącej quiz. Jeżeli przełącznik jest dobrej jakości, być może nie zaobserwujesz tego problemu. Przełącznik z dolnej półki doprowadzi do wielu „fałszywych” impulsów o dodatnim potencjale. Więcej na temat odbić oraz sposobów ich eliminacji powiem przy okazji następnego eksperymentu.

## Udoskonalanie

Kiedy przystąpisz do budowy wersji ostatecznej, po przetestowaniu całości na płytce prototypowej, sugeruję, abyś rozszerzył układ do pracy z minimum czterema graczami. Do tego będziesz potrzebował bramki OR z czterema wejściami. Odpowiednią kością będzie 74HC4078 — ma 8 wejść (nieużywane podłącz do masy).

Ewentualnie, jeśli posiadasz już kilka kości 74HC32 i nie chcesz zamawiać specjalnie 74HC4078, możesz połączyć trzy bramki wewnętrzkości 74HC32 tak, aby funkcjonowały jako 4-wejściowa bramka OR. Schemat połączeń tych trzech bramek pokazuje rysunek 4.121. Pamiętaj, że wyjście każdej bramki OR zmienia stan na wysoki, jeśli przynajmniej jedno z jej wejść ma taki stan.



Rysunek 4.121. Trzy 2-wejściowe bramki OR mogą działać jak jedna 4-wejściowa bramka OR

Kiedy już będziesz zajmował się tym problemem, zastanów się, czy wiesz, w jaki sposób zbudować 4-wejściową bramkę AND złożoną z trzech bramek 2-wejściowych.

Oczywiście, do gry z czterema zawodnikami będziesz potrzebował dodatkowo dwóch układów czasowych, dwóch diod LED i dwóch przycisków.

Stworzenie schematu dla gry z czterema uczestnikami pozostawiam Tobie. Zacznij od naszkicowania uproszczonej wersji, pokazującej jedynie symbole logiczne. Następnie przekonwertuj ją na układ pasujący do płytki prototypowej. Tutaj mała podpowiedź: czasem szybciej rysuje się przy użyciu papieru, ołówka i gumki niż z pomocą programów graficznych lub przeznaczonych do projektowania układów elektronicznych.

## Eksperyment 23: Przełączanie i odbijanie

Układy czasowe 555 pracowały w trybie bistabilnym w trzech projektach opisanych w tej książce. Tym razem zobaczysz, jak stosuje się w obwodzie „prawdziwe” przerzutniki. Poza wyjaśnieniem sposobu, w jaki przerzutniki te pracują, opiszę, jak można je zastosować do wyeliminowania problemu, o którym wspomniałem w poprzednim eksperymencie: **odbijania styków przełącznika**.

Styki przełącznika drgają przez chwilę, gdy przełącznik jest przestawiany w inne położenie. Przyczynia się to do powstawania wspomnianych przeze mnie „odbici”, które mogą być problematyczne w obwodach zawierających układy cyfrowe działające

tak szybko, że odbierają każde małe odbicie jako oddzielny sygnał wejściowy. Jeżeli podłączysz przycisk np. do kości licznika, to pojedyncze wciśnięcie przycisku może spowodować zarejestrowanie przez licznik dziesięciu lub więcej impulsów. Na rysunku 4.122 przedstawiono wykres ilustrujący odbicie prawdziwego przełącznika.



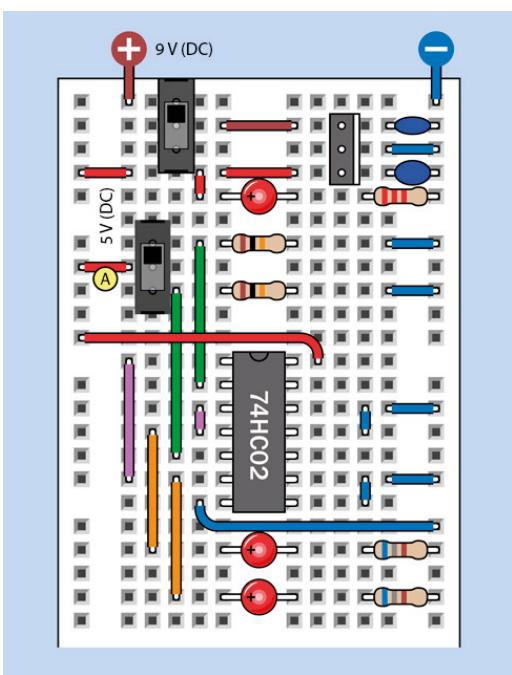
Rysunek 4.122. Fluktuacje sygnału wywołane drganiem styków zamkniętego przełącznika (źródło: dokumentacja firmy Maxim Integrated)

Istnieje wiele sposobów na rozwiązywanie tego problemu, ale najprostszym sposobem jest zastosowanie przerzutnika.

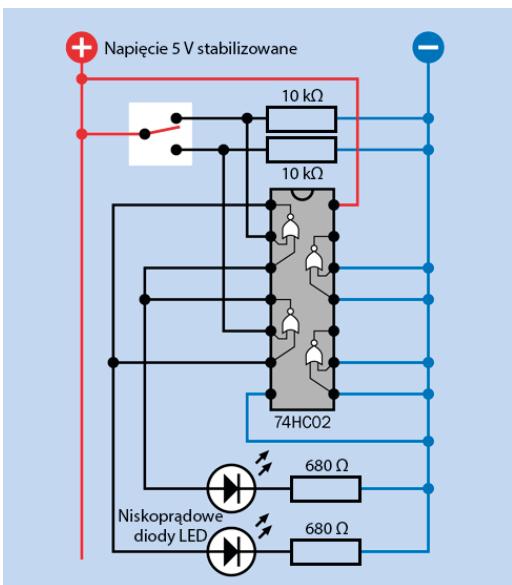
### Potrzebne będą:

- płytka prototypowa, drut połączeniowy, szczypce do cięcia drutu, przyrząd do zdejmowania izolacji i multimeter,
- źródło prądu o napięciu 9 V (bateria lub zasilacz),
- kość 74HC02, kość 74HC00, liczba: po jednej każdego typu,
- przełączniki ślizgowe SPDT, liczba: 2,
- niskoprądowe diody LED, liczba: 3,
- rezystory:  $680 \Omega$  (liczba: 2),  $10 \text{ k}\Omega$  (liczba: 2),  $2,2 \text{ k}\Omega$  (liczba: 1),
- kondensatory:  $0,1 \mu\text{F}$  (liczba: 1),  $0,33 \mu\text{F}$  (liczba: 1),
- regulator napięcia LM7805, liczba: 1.

Złoż komponenty na swojej płytce prototypowej zgodnie z schematem przedstawionym na rysunku 4.123. Ten sam obwód przedstawiono również na rysunkach 4.124 i 4.125. Kiedy podłączysz

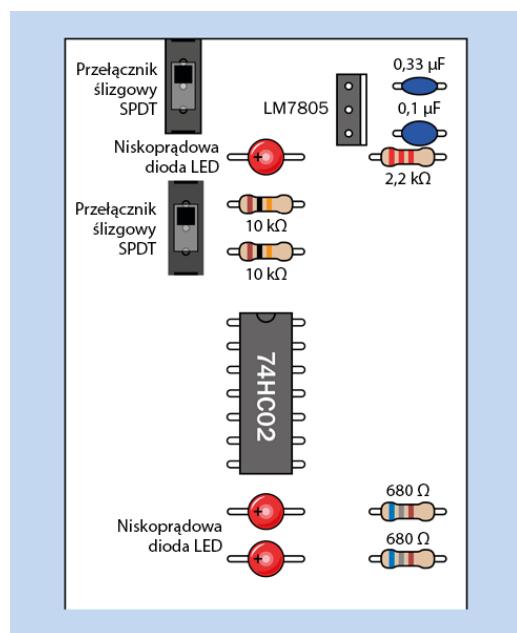


Rysunek 4.123. Schemat wykonawczy obwodu przerzutnika opartego na bramkach NOR



Rysunek 4.124. Obwód przerzutnika wykonańego na bazie bramek NOR

zasilanie, jedna z zainstalowanych u dołu diod LED powinna się świecić.



Rysunek 4.125. Wartości charakteryzujące komponenty wchodzące w skład obwodu przerutnika wykonanego na bazie bramek NOR

Teraz chcę, abyś zrobił coś dziwnego. Odlacz, proszę, przewód oznaczony na rysunku 4.123 literą A. Po prostu wyciągnij go z płytka. Spójrz na rysunek 4.124. Usunąłeś z płytka przewód łączący dodatnie napięcie zasilania z biegunem przełącznika. Do dwóch bramek NOR podłączone są teraz tylko rezystory ściągające.

Kiedy to zrobisz, być może zaskoczy Cię widok wciąż zapalonej diody LED.

Wstaw przewód z powrotem w miejsce, gdzie powinien się znajdować, i zmień pozycję przełącznika. Pierwsza dioda LED powinna zgasnąć, a druga zapalić się. Ponownie usuń przewód, a przekonasz się, że druga z diod pozostaje zapalona.

Oto co powinieneś zapamiętać z tej lekcji:

- Przerutnik wymaga jedynie jednego impulsu startowego wygenerowanego np. za pomocą przełącznika.
- Po wystąpieniu takiego impulsu ignoruje swoje wejście.

## Zasada działania

Dwie bramki NOR lub dwie bramki NAND mogą funkcjonować jako przerutnik.

- Jeżeli przełącznik dwupozycyjny dostarcza dodatnie napięcie, użyj bramek NOR.
- Jeżeli przełącznik dwupozycyjny dostarcza ujemne napięcie, użyj bramek NAND.

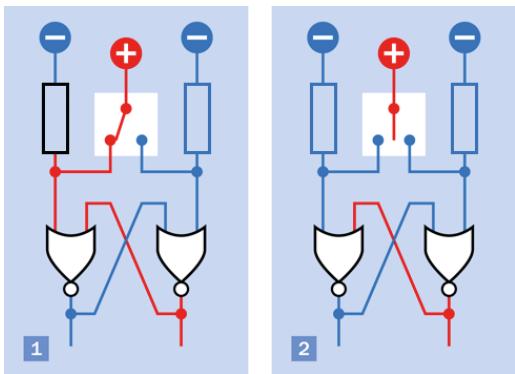
Tak czy inaczej, musisz użyć przełącznika dwupozycyjnego.

Wspomniałem trzy razy o przełączniku dwupozycyjnym (cztery, licząc to zdanie!), ponieważ z nieznanej mi powodu większość książek wprowadzających do elektroniki nie podkreśla, że chodzi właśnie o niego. Kiedy sam zaczynałem uczyć się elektroniki, starałem się z całych sił zrozumieć, jakim sposobem dwie bramki NOR lub NAND mogą pozbawić odbić prosty przycisk typu SPST — w końcu zrozumiałem, że jest to niemożliwe. Wynika to stąd, że po zasileniu obwodu bramki NOR (lub NAND) muszą zostać wprowadzone w stan początkowy. Ten stan początkowy jest tworzony przez przełącznik dwupozycyjny ustawiony w jednej z jego dwóch pozycji. (Teraz wspomniałem go już pięć razy).

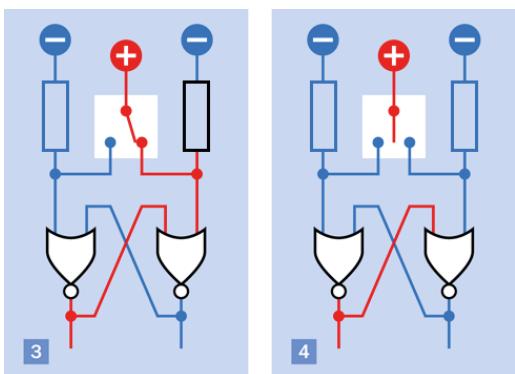
## Niwelowanie odbić za pomocą bramek NOR

Na rysunkach 4.126 i 4.127 pokazano zmiany zachodzące podczas przełączania przełącznika z dwoma bramkami NOR. W celu odświeżenia pamięci dotrzyłem również tabelę prawdy, pokazującą stan wyjścia bramki NOR dla wszystkich kombinacji stanów wejściowych (patrz rysunek 4.128).

Spójrz na rysunek 4.126. W pierwszym kroku przełącznik dostarcza wysoki potencjał do lewej części obwodu, który podnosi niski potencjał utrzymywany do tej pory przez rezistor zwierający do masy. Mamy pewność, że do jednego z wejść bramki NOR po lewej stronie dostarczany jest stan wysoki. Każdy stan wysoki na wejściu bramki NOR (zgodnie z tabelą prawdy przedstawioną na rysunku 4.128) powoduje stan niski na wyjściu. Ten stan trafia do bramki

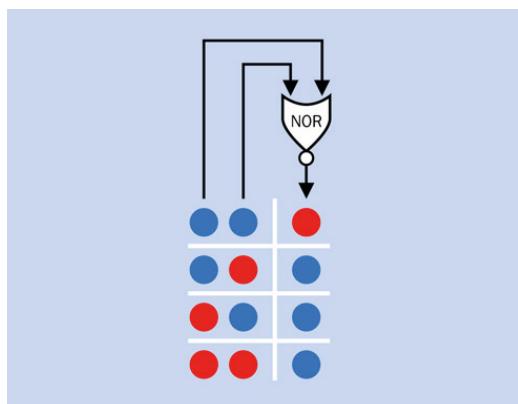


Rysunek 4.126. Stan układu bramek NOR nie zmienia się po przestawieniu przełącznika z powrotem w położenie neutralne



Rysunek 4.127. Po odwróceniu stanu układu bramek NOR i przestawieniu przełącznika z powrotem w położenie neutralne stan ten nadal się nie zmienia

NOR po prawej stronie; w ten sposób ma ona teraz dwa niskie stany wejściowe i jej wyjście przechodzi



Rysunek 4.128. Tabela prawdy ilustrująca pracę bramki NOR (przypomnienie)

w stan wysoki. Ta wartość trafia do bramki NOR po lewej stronie. Układ ustabilizował się.

Teraz pora na sedno sprawy. W drugim kroku przełącznik zostaje ustawiony w pozycji, w której żadne z kontaktów nie stykają się ze sobą. Możesz również przyjąć, że kontakty odbijają się od siebie, nie mogąc utworzyć dobrego połączenia, lub że całkowicie odłączyłeś przełącznik. Bez dodatniego źródła zasilania z przełącznika lewe wejście bramki NOR po lewej stronie przechodzi ze stanu dodatniego w ujemny (powoduje to rezystor podłączony do masy), ale prawe wejście bramki pozostaje w stanie wysokim i to wystarczy, aby bramka NOR utrzymywała stan niski na wyjściu. To sprawia, że ostatecznie nic się nie zmienia — obwód „tkwi” w swoim stanie.

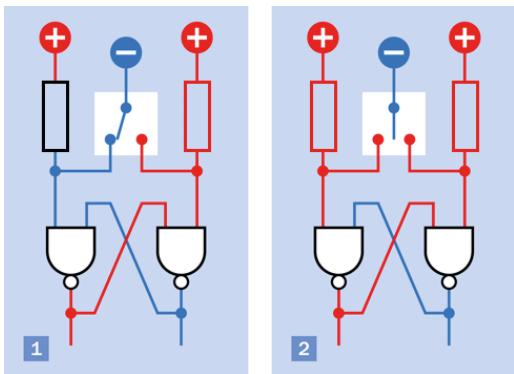
Spójrz na rysunek 4.128. Jeśli teraz przełącznik zmieni pozycję na prawą i zasili prawy pin prawej bramki NOR, pojawi się na niej dodatni sygnał wejściowy, czyli wyjście przejdzie w stan niski, który trafi do drugiej bramki NOR. Ta ma teraz dwa niskie stany wejściowe — jej wyjście przechodzi w stan wysoki, który trafia z powrotem do bramki NOR po prawej stronie.

W ten sposób stany wyjściowe obu bramek NOR zamieniły się miejscami. Przeskoczyły i pozostały w nowym stanie, nawet jeśli kontakt między stykami przełącznika został ponownie przerwany (patrz czwarty krok).

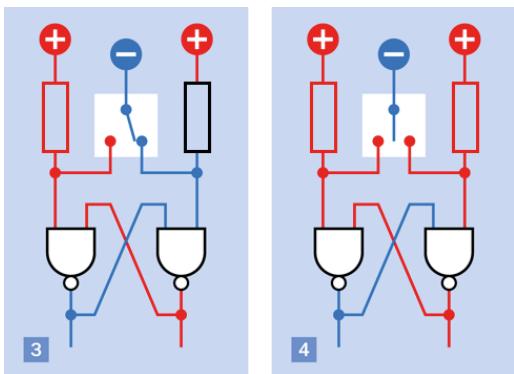
Obwód ten nie będzie działał poprawnie, jeżeli styki przełącznika charakteryzują się taką bezwładnością, że biegum jest łączony naprzemiennie ze stykami znajdującymi się po przeciwnych stronach. Przedstawiona technika sprawdza się tylko wtedy, gdy przełącznik wała się pomiędzy jednym połączeniem a brakiem połączenia — problem ten dotyczy większości przełączników SPDT.

## Niwelowanie odbić za pomocą bramek NAND

Na rysunkach 4.129 i 4.130 przedstawiono podobną sekwencję. Tym razem przeanalizowano pracę przełącznika zasilonego ujemnie i połączonego z dwoma

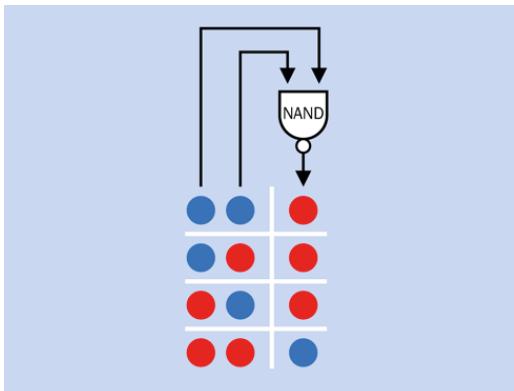


Rysunek 4.129. Dwie bramki NAND mogą pełnić funkcję przerzutnika w obwodzie przełącznika zasilanego ujemnie z dwoma rezystorami podciągającymi



Rysunek 4.130. Stany bramek nie zmieniają się nawet wtedy, gdy nie dochodzi do przepływu prądu przez przełącznik

bramkami NAND. Dla przypomnienia działania bramki NAND na rysunku 4.131 umieściłem tabelę prawdy opisującą pracę tej bramki.



Rysunek 4.131. Tabela prawdy ilustrująca pracę bramki NAND (przypomnienie)

Możesz przetestować ten wariant przy użyciu kości 74HC00 wymienionej na liście zakupów dla tego eksperymentu. Zachowaj ostrożność — bramki znajdujące się wewnętrzko kości NOR są zainstalowane odwrotnie niż bramki znajdujące się wewnętrzko kości NAND. Poza wymianą układu scalonego konieczne też będzie przełączenie niektórych przewodów zainstalowanych na płytce prototypowej. Opis funkcji pinów tych układów przedstawiono na rysunkach 4.81 i 4.90.

## Przerzutniki zatrząskowe i przerzutniki z wejściem zegarowym

Obie przedstawione powyżej konfiguracje są przykładami **przerzutnika zatrząskowego**, nazywanego tak ze względu na wymuszenie przez przełącznik natychmiastowej odpowiedzi i zatrzaśnięcie nowego stanu. Tego typu obwodu możesz użyć za każdym razem, kiedy będziesz chciał pozbyć się odbić z przełącznika (pod warunkiem, że jest to przełącznik dwupozycyjny).

Istnieją jeszcze bardziej zaawansowane **przerzutniki z wejściem zegarowym**, które wymagają ustawienia w pierwszej kolejności stanu wejściowego, a następnie dostarczenia impulsu zegarowego, który spowoduje reakcję przerzutnika. Impuls musi być czysty i mieć ścisłe określone parametry, co oznacza, że jeśli chcesz go dostarczyć z przełącznika, ten musi być pozbawiony odbić — prawdopodobnie poprzez użycie kolejnego przerzutnika zatrząskowego! Tego typu obostrzenia sprawiły, że powstrzymałem się od użycia w tej książce przerzutników sterowanych zegarem. Wprowadzają one dodatkowy stopień złożoności, którego wolałbym uniknąć w tekście stanowiącym jedynie wprowadzenie. Więcej informacji na temat przerzutników znajdziesz w napisanej przeze mnie książce *Elektronika. Od praktyki do teorii. Kolejne eksperymenty*. Przerzutniki to dość obszerne zagadnienie.

A co, jeśli chcesz pozbyć się odbić w przycisku lub przełączniku jednopozycyjnym? Mówiąc najprościej:

masz problem! Jednym z możliwych rozwiązań jest zakup specjalnego układu scalonego, takiego jak 4490, przeznaczonego do usuwania odbić, który zawiera cyfrowy układ opóźniający. Może to być kość o numerze części MC14490PG produkowana przez On Semiconductor (dostępna na przykład w sklepie [www.elfaelektronika.pl](http://www.elfaelektronika.pl)). Zawiera ona sześć obwodów przeznaczonych dla sześciu niezależnych wejść, z których każde posiada własny wewnętrzny rezystor podciągający. Jest to jednak część w miarę droga — niemal dziesięciokrotnie droższa w porównaniu do ceny kości 74HC02 zawierającej bramki NOR. W praktyce prostsze może okazać się zastosowanie przełączników dwupozyycyjnych, w przypadku których można łatwo pozbyć się odbić sposobem przedstawionym powyżej.

Możesz również zastosować układ czasowy 555 podłączony do obwodu tak, aby pracował w trybie przerzutnika. Takie rozwiązanie wydaje się mieć wiele zalet. Teraz już wiesz, dlaczego z niego korzystałem.

## Eksperyment 24: Rzucanie kośćmi

Symulatory jednej lub dwóch kości do gry są dostępne od dawna, ale wciąż powstają nowe wersje. Nasz układ będzie robił coś więcej: będzie demonstrował zasady działania układów logicznych. Ponadto pracując nad tym projektem, poznasz kod binarny — uniwersalny język komunikacji układów cyfrowych.

### Potrzebne będą:

- płytka prototypowa, drut połączeniowy, szczypce do cięcia drutu, przyrząd do zdejmowania izolacji i multimetru,
- źródło prądu o napięciu 9 V (bateria lub zasilacz),
- układ czasowy 555, liczba: 1,

- układ logiczny 74HC08 (liczba: 1), układ logiczny 74HC27 (liczba: 1), układ logiczny 74HC32 (liczba: 1),
- licznik binarny 74HC393, liczba: 1,
- mikroprzełącznik, liczba: 1,
- przełączniki ślizgowe SPDT, liczba: 2,
- rezystory: 100  $\Omega$  (liczba: 6), 150  $\Omega$  (liczba: 6), 220  $\Omega$  (liczba: 7), 330  $\Omega$  (liczba: 2), 680  $\Omega$  (liczba: 4), 2,2 k $\Omega$  (liczba: 1), 10 k $\Omega$  (liczba: 2), 1 M $\Omega$  (liczba: 1),
- kondensatory: 0,01  $\mu\text{F}$  (liczba: 2), 0,1  $\mu\text{F}$  (liczba: 2), 0,33  $\mu\text{F}$  (liczba: 1), 1  $\mu\text{F}$  (liczba: 1), 22  $\mu\text{F}$  (liczba: 1),
- niskoprądowe diody LED (liczba: 15),
- standardowe diody LED (liczba: 1).

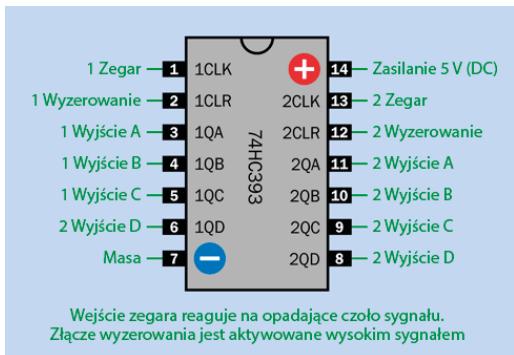
## Licznik binarny

W centrum każdego obwodu symulującego działanie kości do gry, który widziałem, znajdował się jakiś układ liczący. Zwykle był to **licznik dziesiętny** generujący niekodowany sygnał wyjściowy — komponent ten jest wyposażony w dziesięć złącz aktywowanych sekwencyjnie. Kostka ma tylko sześć oczek, ale jeżeli podłączysz siódmy pin licznika do pinu wyzerowania tego licznika, to po doliczeniu do 6 licznik zacznie ponownie liczyć od 1.

Zawsze lubiłem nietuzinkowe rozwiązania, więc postanowiłem nie korzystać z licznika dziesiętnego. Kolejnym powodem zastosowania licznika binarnego była chęć zademonstrowania użycia kodu binarnego. Skomplikowało to nieco obwód, ale z pewnością zabieg ten pozwoli Ci zdobyć nowe wiadomości. Ponadto na koniec będziesz dysponował obwodem symulującym pracę dwóch kostek, a nie tylko jednej. Obwód ten nie będzie się składał z dużej liczby układów scalonych i można go zmieścić na płytce prototypowej.

Zdecydowałem się na zastosowanie licznika w postaci popularnego układu 74HC393. Układ ten tak naprawdę zawiera dwa liczniki, ale na razie będziemy

korzystać tylko z jednego. Konfigurację złączy tej kości pokazano na rysunku 4.132.



Rysunek 4.132. Schemat wyprowadzeń licznika binarnego 74HC393

Producenci zwykle używają dziwnych oznaczeń do identyfikacji pinów cyfrowych układów scalonych (etykiety złączy są tworzone tak, aby zawierały jak najmniej liter). Te tajemnicze skróty są czasem trudne do zrozumienia. Przykłady takich oznaczeń przedstawiono po wewnętrznej stronie kości widocznej na rysunku 4.132. Oznaczenia te pochodzą z oficjalnej dokumentacji firmy Texas Instruments. (Żeby było ciekawej, każdy producent stosuje opracowane przez siebie skróty. Nie są one standaryzowane).

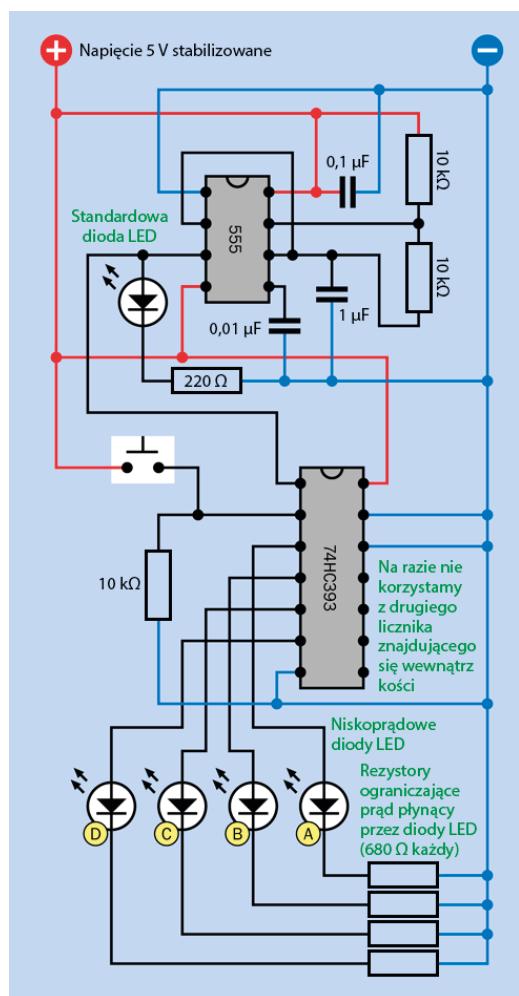
Po zewnętrznej stronie kości umieściłem etykiety (zielona czcionka), które są o wiele bardziej zrozumiałe. Cyfra poprzedzająca każdą etykietę jest numerem licznika, do którego przypisane jest dane złącze (kość zawiera dwa liczniki).

## Testowanie licznika

Działanie licznika najprościej jest zrozumieć, obserwując jego pracę. Na rysunku 4.133 przedstawiono schemat ideowy obwodu przeznaczonego do testowania licznika. Na rysunku 4.134 przedstawiono schemat wykonawczy tego obwodu, a na rysunku 4.135 przedstawiono wartości charakteryzujące komponenty widoczne na schemacie wykonawczym.

Uwaga:

- Licznik jest układem logicznym wymagającym napięcia 5 V. W związku z tym na płytce

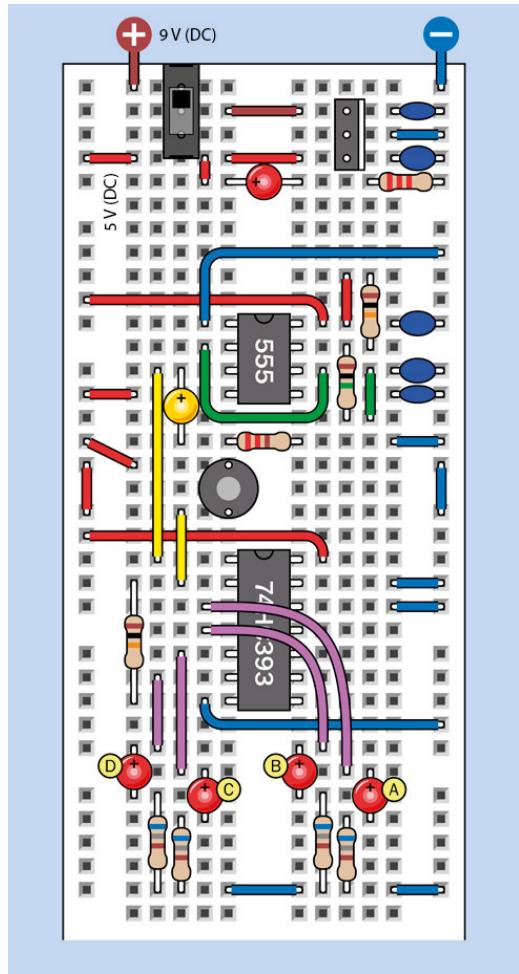


Rysunek 4.133. Schemat obwodu przeznaczonego do analizy funkcji wyjść i złącza wyzerowania licznika 74HC393

będziesz musiał zamontować regulator napięcia.

- Do pinu zasilającego układ czasowy podłączono kondensator 0,1 μF. Ma to na celu stymulowanie wahania napięcia generowanych przez ten układ. Mogą one wywołać nieprawidłową pracę licznika.

Zastosowane przeze mnie rezystory i kondensator sprawią, że układ czasowy będzie działał z częstotliwością 0,75 Hz — początek jednego impulsu i początek drugiego impulsu będzie dzielił czas nieco ponad sekundę. Możesz to zaobserwować, patrząc

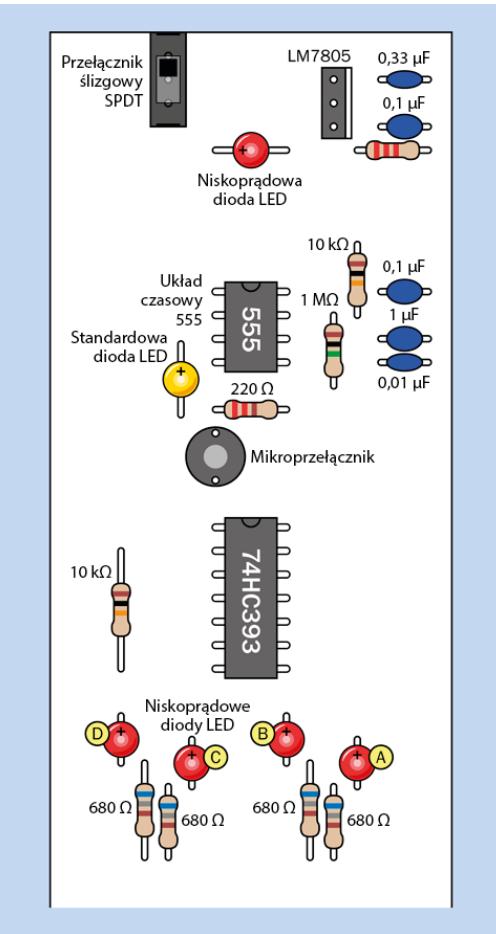


Rysunek 4.134. Schemat wykonawczy obwodu testowego

na żółtą diodę LED podłączoną do wyjścia układu czasowego. (Jeżeli dioda ta nie migła z taką częstotliwością, to znaczy, że popełniłeś błąd podczas łączenia ze sobą komponentów).

Cztery czerwone diody LED oznaczone etykietami A, B, C i D będą sygnalizować stan wyjść licznika. Jeżeli podczas łączenia obwodu połączysz wszystko poprawnie, to będą one zapalone zgodnie z sekwencją przedstawioną na rysunku 4.136, na którym czarnym kolorem oznaczono te diody, które nie emittują światła, a czerwonym te, które emitują światło.

Teraz chciałbym przedstawić Ci różnice pomiędzy systemem dwójkowym i binarnym. Czy wiedza ta



Rysunek 4.135. Wartości charakteryzujące komponenty widoczne na schemacie wykonawczym

przyda Ci się? Tak, z pewnością będziesz z niej korzystać. Wiele kości — takich jak dekodery, kodery, multipleksery i rejesty przesuwne — posługuje się arytmetyką binarną. Oczywiście wszystkie komputery są oparte na systemach dwójkowych.

## PODSTAWY: Kod binarny

Przejrzymy się rysunkowi 4.136. Za każdym razem, gdy dioda A gaśnie, stan diody B jest odwracany. Za każdym razem, gdy gaśnie dioda B, dochodzi do odwrócenia stanu diody C i tak dalej. W związkach z tym każda dioda LED uruchamiana jest dwa razy częściej od diody znajdującej się po jej lewej stronie.

	D	C	B	A
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1
10	1	0	1	0
11	1	0	1	1
12	1	1	0	0
13	1	1	0	1
14	1	1	1	0
15	1	1	1	1

Rysunek 4.136. Pełna sekwencja sygnałów wyjściowych generowanych przez licznik binarny

Każdy rząd diod LED reprezentuje **liczbę binarną** — liczbę zapisaną za pomocą dwóch cyfr: 0 i 1 (cyfry te zapisano białą czcionką na rysunku 4.136). Po lewej stronie czarną czcionką zapisano ich odpowiedniki w systemie dziesiętnym.

Diody mogą reprezentować **cyfry zapisane w systemie binarnym** określone mianem **bitów**.

Zasady liczenia w systemie dwójkowym są bardzo proste. Zaczynamy od 0 na skrajnie prawej pozycji i liczymy do 1. Ponieważ 1 jest naszym limitem, aby móc kontynuować liczenie, przenosimy 1 na miejsce po lewej stronie i zaczynamy ponownie od 0 na pozycji skrajnie prawej. Liczymy do 1, następnie dodajemy 1 do pozycji po lewej stronie.

A co, jeżeli w kolejnej kolumnie jest już 1? Należy zamienić tę cyfrę na 0 i przenieść 1 z tamtej pozycji na jedną pozycję dalej itd.

Dioda LED znajdująca się na skrajnej prawej pozycji reprezentuje **najmniej znaczący bit** czterobitowej liczby, a dioda LED znajdująca się po jej lewej stronie reprezentuje **najbardziej znaczący bit**.

## Narastające i opadające zbocze impulsu

Po uruchomieniu obwodu zauważysz, że do zmiany stanu czerwonej diody LED znajdującej się w skrajnej prawej pozycji (jej włączenia lub wyłączenia) dochodzi tylko wtedy, gdy żółta dioda LED gaśnie. Dlaczego?

Większość liczników jest **wyzwalana zboczem sygnału** — licznik przechodzi do kolejnej wartości pod wpływem narastającego lub opadającego zbocza impulsu kierowanego do pinu wejścia zegara. Obserwując pracę diod LED, możemy stwierdzić, że układ 74HC393 jest wyzwalany opadającym zboczem impulsu. W eksperymencie numer 19 korzystaliśmy z licznika wyzwalanego narastającym zboczem impulsu. Wybór typu komponentu zależy od wymagań projektu, nad którym pracujesz.

Układ 74HC393, podobnie jak kość 4026B użyta w eksperymencie numer 19, posiada złącze wyzerowania.

- W niektórych notach katalogowych pin wyzerowania określany jest mianem „głównego wyzerowania”. Często oznacza się go skrótem MR.
- Niektórzy producenci pin wyzerowania określają mianem pinu „wyczyść” i oznaczają skrótem CLR.

Niezależnie od nazwy pin wyzerowania zawsze będzie działał w ten sam sposób — zmusi licznik do powrotu do stanu początkowego (w naszym przypadku będzie to binarna liczba 0000).

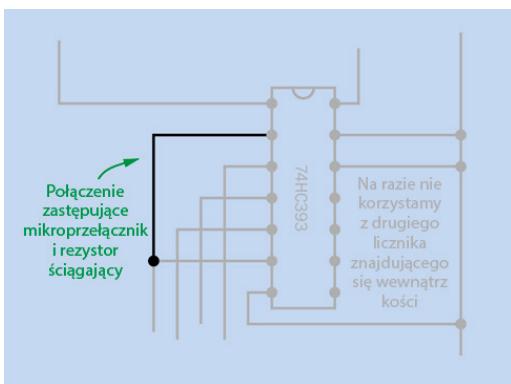
Pin wyzerowania wymaga oddzielnego impulsu. Czy wyzerowanie następuje na początku, czy na końcu tego impulsu?

Sprawdźmy to. Do pinu wyzerowania poprzez rezystor  $10\text{ k}\Omega$  dopływa niski potencjał. Pin ten można połączyć bezpośrednio z dodatnią szyną zasilającą za pomocą przycisku, który po wciśnięciu niweluje działanie rezystora  $10\text{ k}\Omega$ . Do pinu wyzerowania dopływa wtedy wysoki potencjał.

Gdy tylko wciśniesz przycisk, wszystkie diody zgasną. Nie będą świecić aż do momentu, gdy zwolnisz przycisk. Wynika z tego, że pin wyzerowania układu 74HC393 jest aktywowany wysokim sygnałem.

## Moduł

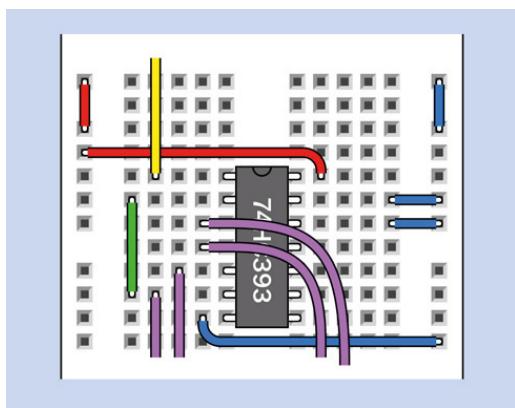
Wyłącz zasilanie, odłącz rezystor podciągający i mikroprzełącznik od pinu wyzerowania (pin numer 2). W miejsce tych komponentów wstaw przewód (patrz rysunek 4.137). Wszystkie wykonane wcześniej połączenia zostały oznaczone kolorem szarym. Nowy przewód oznaczony kolorem czarnym łączy czwartą cyfrę (wyjście D) z pinem wyzerowania. Na rysunku 4.138 przedstawiono zmodyfikowaną płytę (nowe połączenia oznaczono kolorem zielonym).



Rysunek 4.137. Dodawanie funkcji automatycznego wyzerowywania licznika

Jak myślisz, co się stanie?

Uruchom ponownie licznik. Teraz będzie on liczył od 0000 do 0111. Kolejną liczbą powinna być liczba 1000, ale gdy tylko czwarta cyfra zmieni się z 0 na 1, do pinu wyzerowania dopływa wysoki sygnał, w wyniku czego licznik ponownie rozpoczyna pracę od 0000.



Rysunek 4.138. Fragment płytki ze zmodyfikowanym obwodem. Z obwodu usunięto rezystor ściągający, mikroprzełącznik i przewodniki związane z tymi komponentami. Zastąpiono je zielonym przewodem

Czy widzisz miganie diody LED znajdującej się na lewej skrajnej pozycji? Wątpię, abyś je zobaczył, ponieważ układ scalony reaguje w czasie krótszym od jednej milionowej sekundy.

Liczniak liczy teraz od 0000 do 0111, a następnie rozpoczyna proces od początku. Jest to odpowiednik liczenia od 0 do 7 w systemie dziesiętnym. Poprzednio licznik obsługiwał 16 liczb, teraz obsługuje ich **tylko osiem**.

Przełączając przewód wyzerowujący z czwartej cyfry na trzecią cyfrę, uzyskasz licznik dzielący przez cztery.

- Każdy 4-bitowy licznik może być zmodyfikowany tak, aby wyzerowywał się po wygenerowaniu 2, 4 lub 8 impulsów.

Liczba unikalnych stanów wyjść licznika określamy mianem **modułu**. Licznik o module równym 8 powtarza cykl pracy po wygenerowaniu 8 impulsów reprezentujących liczby od 0 do 7.

## Tworzenie modułu 6

Pracujemy nad projektem, w którym tworzymy elektroniczny odpowiednik kostki do gry. Jak możemy wygenerować wzory symbolizujące liczby oczek? Kostka do gry jest sześcianem. W związku z tym

musimy zmodyfikować obwód tak, aby sekwencja liczb była powtarzana po sześciu stanach.

Sekwencja ta zapisana w kodzie binarnym będzie wyglądała następująco: 000, 001, 010, 011, 100, 101 (możemy zignorować najbardziej znaczący bit — kolumnę D — ponieważ nie jest on nam potrzebny podczas pracy z zaledwie sześcioma stanami). Licznik powinien zostać wyzerowany po liczbie binarnej 101 (5 w systemie dziesiętnym).

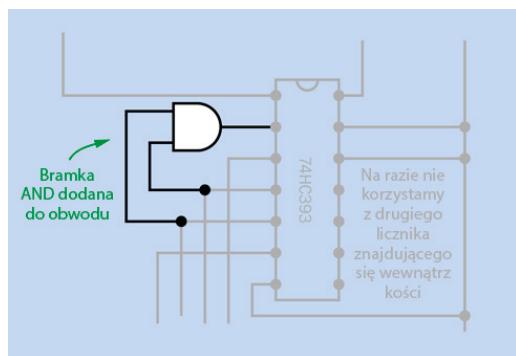
Dlaczego licznik należy wyzerować po liczbie 5, a nie 6? Liczymy od 0. Praca nad projektem byłaby wygodniejsza, gdyby licznik liczył od 1, ale licznik rozpoczyna pracę od 0.

Jaka jest kolejna liczba binarna po 101? Jest to liczba 110.

Co wyróżnia liczbę 110? Jeżeli przyjrzysz się sekwencji, to zobaczyś, że jest to pierwsza liczba, która rozpoczyna się od dwóch wysokich bitów.

Jak można wyzerować licznik po pojawienniu się cyfry 1 w kolumnie B i cyfry 1 w kolumnie C? Kluczowym słowem jest tu spójnik „i”. Bramka AND generuje wysoki sygnał tylko wtedy, gdy do jej obu złącz przyłożony jest wysoki sygnał. Bramka ta rozwiązuje nasz problem.

Czy możemy ją wstawić bezpośrednio do obwodu? Oczywiście, wszystkie układy z rodziny 74HCxx są zaprojektowane tak, aby mogły komunikować się ze sobą w sposób bezpośredni. Na rysunku 4.139 pokazano bramkę AND podłączoną do obwodu. Oczywiście zastosowanie bramki AND wymaga zainstalowania na płytce zawierającej ją układu scalonego 74HC08. Czip ten zawiera cztery bramki AND. Będziemy korzystać tylko z jednej z tych czterech bramek. Poza podłączeniem tej kości do zasilania będziesz musiał podłączyć wszystkie wejścia tego układu do szyny masy. Jest to nieco kłopotliwe, ale z pewnością podołasz temu zadaniu. Pokażę Ci, jak to zrobić, gdy już opiszę kilka kolejnych modyfikacji. (Nieużywane wyjścia układu 74HC08 powinny pozostać niepodłączone do obwodu).



Rysunek 4.139. Dodanie bramki AND sprawi, że licznik będzie generował sekwencję 6 sygnałów wyjściowych zamiast standardowych 16

Zapamiętaj poniższą zasadę:

- Sekwencję sygnałów wyjściowych generowanych przez licznik możesz skracić za pomocą układów logicznych. Musisz w tym celu przeanalizować te sygnały, a następnie za pomocą bramek logicznych stworzyć na ich podstawie wysoki sygnał, który należy skierować do pinu wyzerowania.

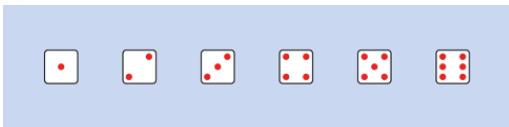
## Rozwiążanie inne niż wyświetlacz siedmiosegmentowy

Wylosowaną liczbę oczek (liczby od 1 do 6) można wyświetlać za pomocą wyświetlacza siedmiosegmentowego, ale to problematyczne, ponieważ licznik liczy od 0 do 5. Nie mogę wymyślić prostego sposobu na zmianę liczby binarnej 000 na liczbę 1 obsługiwany przez wyświetlacz siedmiosegmentowy. Zamiana binarnej liczby 001 na liczbę 2 obsługiwany przez wyświetlacz jest również kłopotliwa itd.

Czy moglibyśmy jakoś zmusić licznik do rozpoczęcia pracy od liczby większej od 000? Być może tak. Prawdopodobnie można by to było zrobić za pomocą 3-wejściowej bramki OR zmuszającej licznik do przejścia w kolejny stan, ale rozwiązanie to stwarzałoby konflikt ze standardowymi sygnałami zegara i wydaje się dość kłopotliwe.

Tak czy inaczej, nie chcę korzystać w tym projekcie z wyświetlacza siedmiosegmentowego, ponieważ

nie wygląda on odpowiednio. Układ oczek na kostce (patrz rysunek 4.140) chcę emulować za pomocą diod LED.



Rysunek 4.140. Wzory, które chce wyświetlać za pomocą diod LED

Czy masz jakiś pomysł na zamianę binarnych sygnałów wyjściowych licznika na sygnały pozwalające na zapalenie odpowiednich kombinacji diod LED?

## Wybór bramek

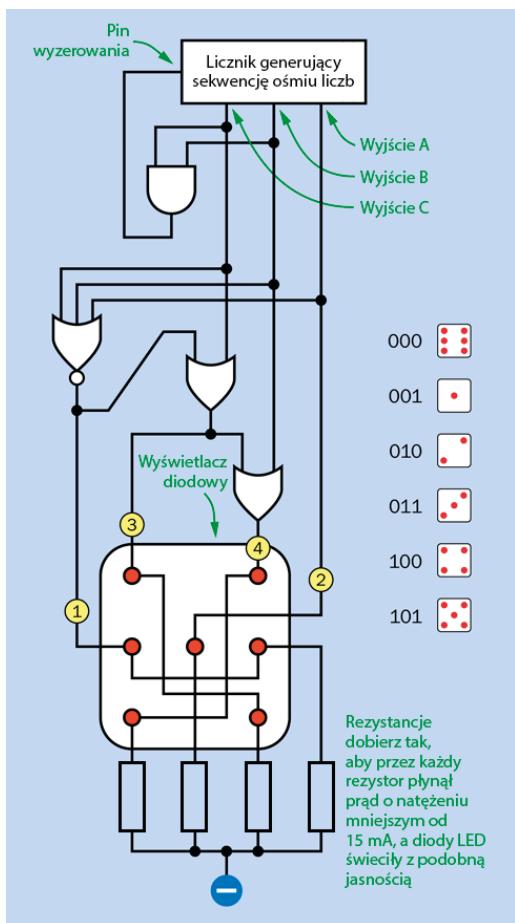
Zacznę od najprostszego rozwiązania. Jeżeli podłączę wyjście A licznika (patrz rysunek 4.133) do diody reprezentującej środkowe oczko kostki, to będzie to poprawne rozwiązanie, ponieważ dioda ta będzie zapalała się tylko wtedy, gdy wylosowane zostaną liczby 1, 3 i 5 (gaśnie po wylosowaniu liczb 2, 4 i 6). Wyjście A działa dokładnie w taki sposób.

Teraz wszystko zaczyna się komplikować. Jedna para diod LED umieszczonych po przekątnej musi zostać zapalona po wylosowaniu liczb 4, 5 i 6, a druga para diod LED umieszczonych po drugiej przekątnej musi zostać zapalona po wylosowaniu liczb 2, 3, 4, 5 i 6. Jak to zrobić?

Rozwiązanie przedstawiłem na rysunku 4.141. Do obwodu dodałem kilka kolejnych bramek logicznych: 3-wejściową bramkę NOR i 2-wejściową bramkę OR. Obok pokazałem sekwencję liczb i wzory oczek odpowiadające poszczególnym liczbom.

W celu przygotowania obwodu do pracy rozpoczęłem od wyświetlenia sześciu oczek, gdy licznik rozpoczyna pracę od wygenerowania wartości binarnej 000. Nie ma znaczenia, w jakiej sekwencji wyświetlane będą liczby. Liczby i tak będą losowane.

Na rysunku 4.142 pokazano, jak różne stany wyjść licznika powodują wyświetlenie różnych wzorów. Gdybyś nadal nie mógł zrozumieć tego rozwiązania, to przyjrzyj się sekwencji wysokich i niskich

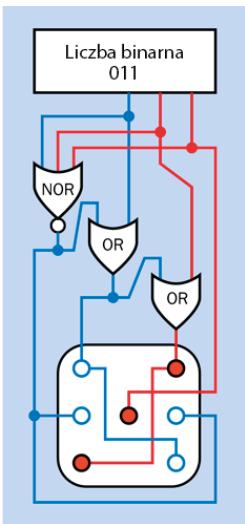
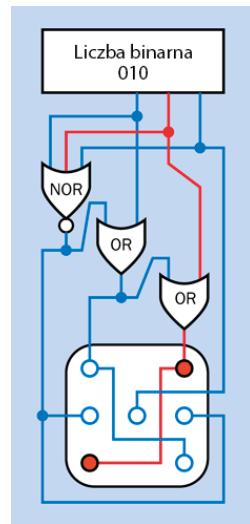
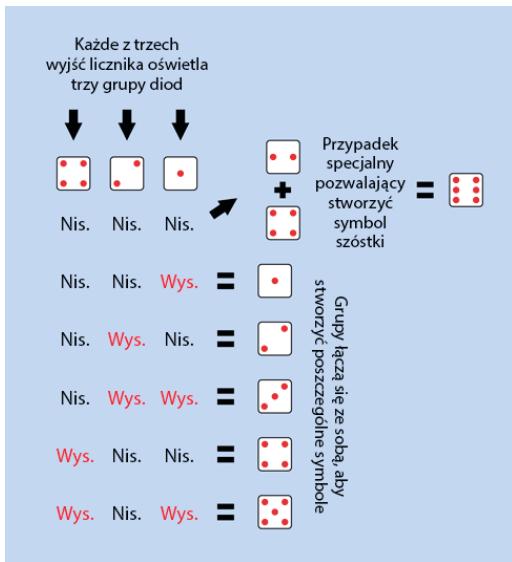


Rysunek 4.141. Schemat logiczny obwodu wyświetlającego odpowiednie wzory

sygnałów generowanych na wyjściach licznika liczącego od 000 do 101 (patrz rysunki od 4.143 do 4.145).

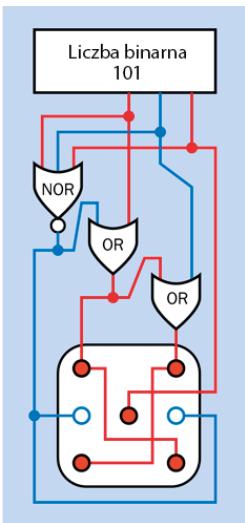
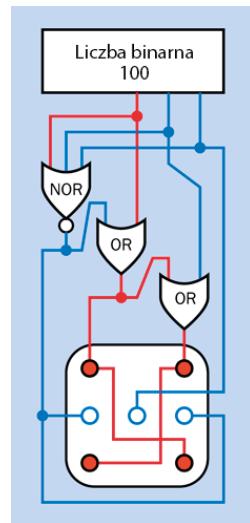
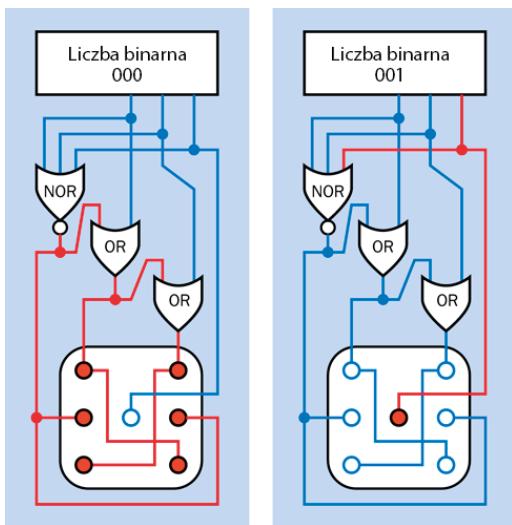
Schemat pomniejszyłem tak, aby na każdym rysunku zmieściły się dwie liczby. Na rysunkach pojawiłem bramkę AND, ponieważ podczas liczenia od 000 do 101 nie wykonuje ona żadnych operacji. Bramka ta reaguje dopiero na liczbę 110. Dojście licznika do tej liczby powoduje wyzerowanie go przez bramkę AND.

Jeżeli ciekawi Cię, jak wpadłem na takie rozwiązanie pozwalające na wyświetlanie określonych wzorów za pomocą odpowiedniej sekwencji wyjść licznika binarnego, to nie mogę Ci udzielić konkretnej



Rysunek 4.144. Układ generujący wzory dwójki i trójkę

Rysunek 4.142. Sygnały wyjściowe licznika binarnego mogą posłużyć do wyświetlania wzorów



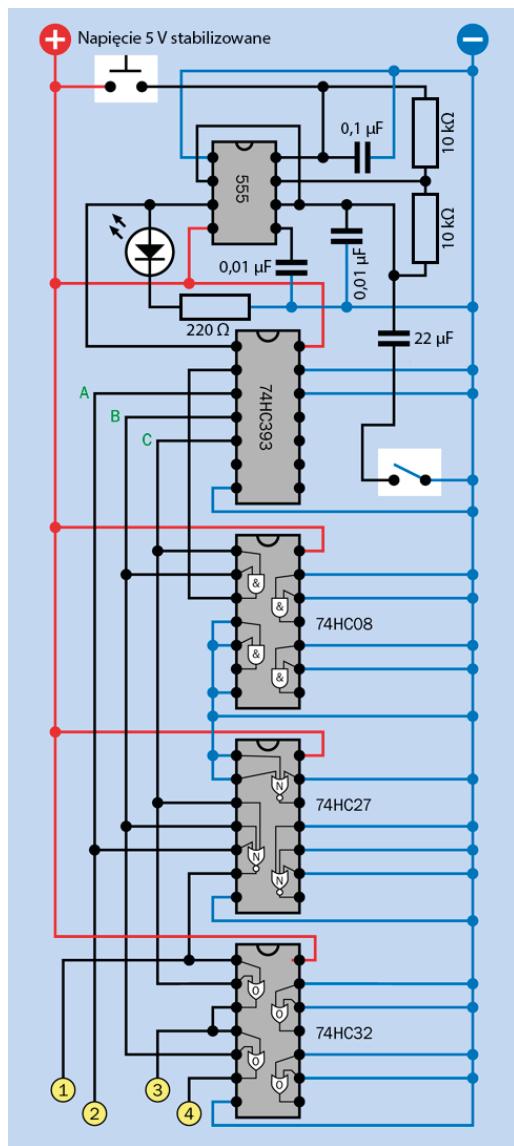
Rysunek 4.145. Układ generujący wzory czwórki i piątki

Rysunek 4.143. Układ generujący wzory szóstki i jedynki

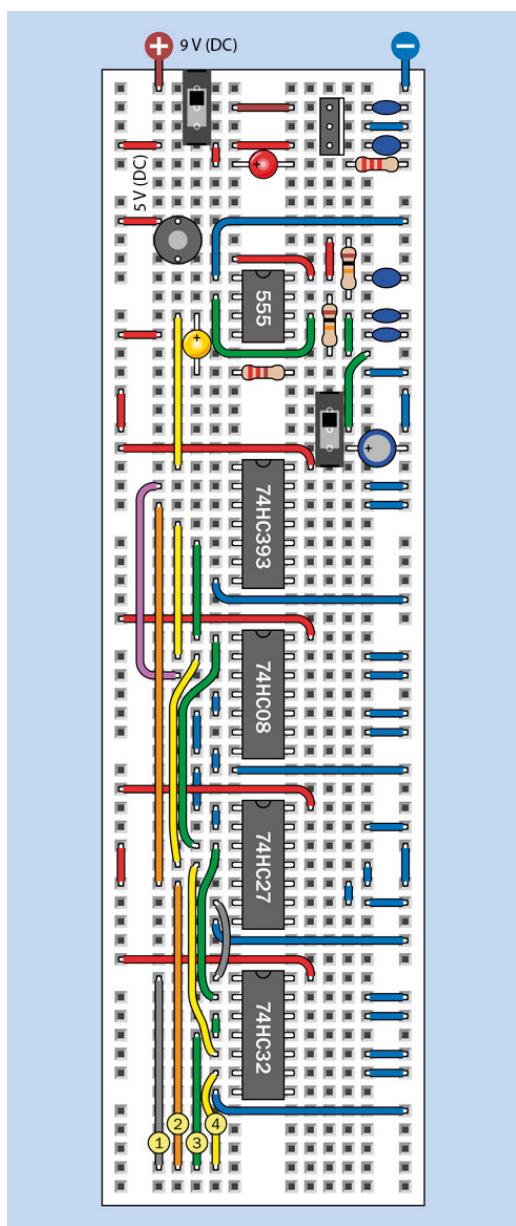
odpowiedzi. Pracowałem metodą prób i błędów, myślałem i tworzyłem schematy logiczne. Pracowałem w ten sposób. Są bardziej formalne sposoby rozwiązywania takich problemów, ale nie lubię z nich korzystać.

## Ostateczna wersja obwodu

Na rysunku 4.146 przedstawiono schemat ideowy oparty na zaprezentowanym wcześniej schemacie logicznym. Schemat wykonawczy tego obwodu przedstawiono na rysunku 4.147.

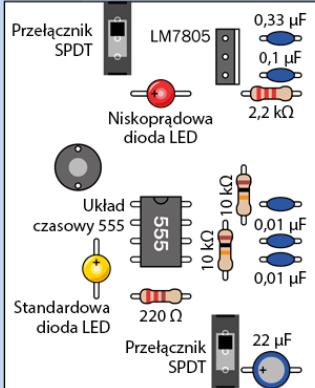


Rysunek 4.146. Gotowy obwód symulujący rzut jedną kostką



Rysunek 4.147. Schemat wykonawczy obwodu symulującego rzut jedną kostką

Wartości charakteryzujące komponenty pokazane na rysunku 4.148. Zauważ, że zmieniłem rezistor czaszący i kondensator czaszący. Teraz układ czasowy 555 będzie działał z częstotliwością około 5 kHz. Zanim wciśniesz przycisk zatrzymujący



Rysunek 4.148. Wartości komponentów znajdujących się w sekcji sterującej pracą symulatora kostki do gry

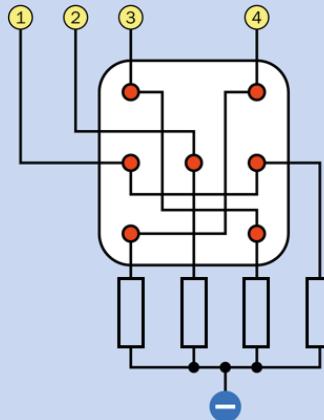
losowanie, układ przejdzie przez kilkaset cykli pracy. Pozwoli to na losowe generowanie liczb.

Dodałem również możliwość dołączenia do obwodu kondensatora  $22\ \mu F$ , który zmniejszy częstotliwość pracy układu czasowego do 2 Hz. Pozwoli to na zademonstrowanie procesu liczenia osobom sceptycznie nastawionym do wykonanego przez Ciebie urządzenia.

Na rysunku 4.148 pokazałem tylko górną część płytka, ponieważ w jej dolnej części znajdują się jedynie układy scalone. Jedną z zalet pracy z układami logicznymi jest to, że nie musisz instalować dodatkowych rezystorów i kondensatorów. Większość obwodu stanowią przewody i czipy.

Wyjścia widoczne w dolnej części rysunków 4.146 i 4.147 oznaczono takimi samymi numerami jak wejścia diod LED widocznych na rysunku 4.149. Diod nie da się zainstalować na tej samej płytce prototypowej. Możesz je zainstalować na drugiej płytce lub równie dobrze możesz wywiercić otwory w jakiejkolwiek płytce lub kawałku sklejki i zainstalować diody LED w tych otworach.

Diody są łączone szeregowo w pary, ponieważ czip dostarcza zbyt niski prąd, aby zasilić parę diod LED połączonych równolegle. Połączenie szeregowe



Rysunek 4.149. Podłączanie siedmiu diod LED do obwodu (sześć należy połączyć w równolegle pary składające się z dwóch diod połączonych szeregowo). Diody będą mogły wyświetlać wzory oczek jednej kostki do gry

wymaga zastosowania niższej niż zazwyczaj rezystancji ograniczającej. W celu określenia tej rezystancji połącz diody szeregowo z miernikiem mierzącym natężenie prądu. Pomiarzy zacznij od wyłączenia w ten obwód rezystancji  $220\ \Omega$ . Staraj się osiągnąć maksymalne natężenie prądu na poziomie 15 mA (jest to wartość maksymalna dopuszczana w specyfikacji układów z rodziny HC). W zależności od zastosowanych diod być może będziesz musiał zastosować rezistor  $150\ \Omega$  lub  $100\ \Omega$ .

Na koniec połącz prąd o napięciu 5 V do środkowej diody za pośrednictwem rezystora  $330\ \Omega$ . Porównaj jasność tej diody z jasnością diod połączonych w pary. Aby dioda ta świeciła z podobną jasnością jak pozostałe, konieczne może okazać się zastosowanie większego rezystora.

Podłącz diody do układu logicznego, wciśnij przycisk, a następnie go zwolnij. Gratuluję, właśnie rzuścileś wirtualną kością i wylosowałeś po raz pierwszy liczbę oczek.

Skąd masz mieć pewność, że otrzymana liczba jest naprawdę losowa? Tak naprawdę można to sprawdzić, tylko wykonując wiele losowań i zapisując efekt każdego z nich. W celu uzyskania dokładnej weryfikacji konieczne może okazać się przeprowadzenie

nawet 1000 losowań. Działanie obwodu zależy od reakcji użytkownika, a więc procesu tego nie można zautomatyzować. Projekt powinien pracować w sposób losowy.

## Dobre wieści

Aż tylu układów scalonych nie stosowaliśmy w opisanych wcześniej obwodach, ale cytując profesora Farnswortha — bohatera jednego z moich ulubionych programów telewizyjnych, serialu *Futurama* — „mam dla wszystkich dobre wieści”.

Dobrą wiadomością jest to, że możesz zmodyfikować ten obwód tak, aby symułował rzut dwiema kostkami, a nie jedną. Wystarczy dodać kilka przewodów i diod LED. Nie będziesz musiał dodawać żadnych nowych układów scalonych.

W układach scalonych zainstalowanych na płytce znajduje się wiele nieużywanych bramek AND, NOR i OR. Mamy do dyspozycji trzy bramki AND, dwie NOR i dwie OR. Ponadto w układzie 74HC393 znajduje się drugi, niezależny licznik. To wszystko, czego potrzebujemy.

Jak możemy stworzyć drugą serię liczb losowych inną od pierwszej? Być może da się to zrobić przez dodanie drugiego układu czasowego 555 działającego z inną częstotliwością.

Nie podoba mi się ten pomysł, ponieważ dwa układy czasowe nie będą cały czas zsynchronizowane i niektóre pary liczb mogą wypadać częściej od innych. Lepszym rozwiązaniem byłoby, aby pierwszy układ liczył od 000 do 101, a następnie włączał drugi układ, który przechodziłby ze stanu 000 do 001. Pierwszy licznik liczyłby wtedy ponownie od 000 do 101, uruchamiał drugi licznik, a ten przechodziłby do wartości 010 itd.

Drugi licznik będzie działał sześć razy wolniej od pierwszego, ale jeżeli pierwszy będzie działał odpowiednio szybko, to i tak nie da się go zatrzymać w wybranym momencie. Zaletą takiego rozwiązania jest to, że wszystkie możliwe kombinacje będą wyświetlane tyle samo razy, a więc prawdopodobieństwo

ich wylosowania będzie niemal takie samo jak przy korzystaniu z prawdziwych kości.

Dlaczego napisałem „niemal takie samo”? Pamiętaj o tym, że przechodząc pomiędzy liczbami binarnymi 101 i 000, układ wyzerowuje się, co powoduje chwilowe opóźnienie w procesie liczenia. Jeżeli lewy licznik pracuje z częstotliwością około 5 kHz, to opóźnienie to będzie krótsze od jednej milionowej sekundy, a więc jest w praktyce nieistotne.

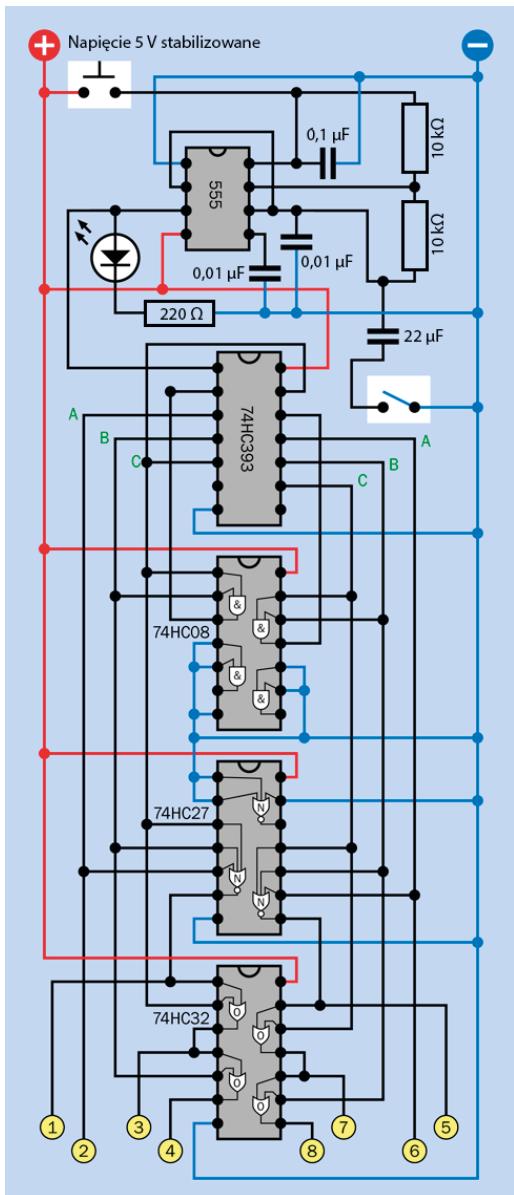
## Liczniki tworzące łańcuch

Ostatni problem, jaki należy rozwiązać, stanowi to, w jaki sposób licznik ma aktywować drugi licznik, gdy ten dojdzie do liczby 101 i zostanie wyzerowany.

To nic trudnego. Przyjrzyj się temu, co się dzieje, gdy sygnał wyjściowy pierwszego licznika przechodzi od 011 przez 101 do 110. Ostatni stan jest aktywny przez bardzo krótką chwilę, zanim licznik zostanie wyzerowany. Wyjście C po wygenerowaniu wysokiego sygnału dostarcza niski sygnał.

Czego potrzebuje wejście zegara drugiego licznika, aby przejść do kolejnej liczby? Już wiesz! Potrzebuje wysokiego stanu, który przechodzi w niski. Wystarczy, że podłączysz wyjście C pierwszego licznika do wejścia zegara drugiego licznika. Tak naprawdę układ scalony jest zaprojektowany właśnie do takiej pracy — opadający sygnał z jednego licznika może przełączać drugi licznik.

Na rysunku 4.150 pokazano obwód symulujący rzut dwiema kostkami do gry. Nie dotaczam schematu wykonawczego tego obwodu, ponieważ powinieneś umieć wykonać nowe połączenia samodzielnie. Nowe połączenia są prawie lustrzanym odbiciem wykonanych wcześniej połączeń — są przesunięte o jeden rząd w dół (pamiętaj o tym). Przesunięcie to pozwala na połączenie każdego układu scalonego z dodatkową szyną zasilającą.



Rysunek 4.150. Gotowy obwód symulujący rzut dwiema kostkami

## Udoskonalanie

Czy obwód można uprościć? Na początku pisałem, że licznik dziesiętny wymagałby zastosowania układu logicznego prostszego od licznika binarnego. Nie wymagałby on zastosowania bramki AND w celu ograniczenia liczby stanów wyjść do sześciu,

ponieważ siódme wyjście takiego układu mogłoby zostać podłączone do jego złącza wyzerowania.

Jednak w celu przeprowadzenia symulacji rzutu dwoma kości mi potrzebały dwóch liczników dekadowych, a to oznaczałoby konieczność zastosowania dwóch niezależnych kości. Ponadto obsługa dwóch wyświetlaczy wymagałaby dalej zastosowania dwóch kości. Jeżeli nie wiesz dlaczego, to poszukaj w internecie informacji na temat cyfrowych kości do gry. Powinieneś już umieć czytać schematy wyświetlane przez wyszukiwarkę.

Jedynie uproszczenie, jakie przychodzi mi do głowy, to zastąpienie dwóch bramek OR dwiema diodami. Rozwiązań takie zobaczyś w wielu schematach znalezionych w internecie, ale przepuszczanie sygnału kolejno przez dwie diody może doprowadzić do spadku napięcia, który moim zdaniem jest nie do zaakceptowania.

## Problem zwalniania

W wersji tego projektu, którą przedstawiłem w pierwszym wydaniu tej książki, zaimplementowałem ciekawą funkcję dodatkową. Po zwolnieniu przez użytkownika przycisku aktywującego losowanie kolejne liczby były wyświetlane coraz wolniej, a następnie zatrzymywały się. Dzięki temu rozwiązaniu wprowadzono element napięcia związanego z oczekiwaniem przez graczy na koniec losowania.

Funkcję tę zaimplementowano, dzieląc linię zasilającą układ czasowy 555. Układ był „zawsze włączony”, ale odcinane było napięcie zasilające obwód RC podłączony do tego układu. Częstotliwość pracy układu czasowego malała wraz z powolnym rozładowywaniem dużego kondensatora.

Jasmin Patry — czytelnik poprzedniego wydania — wysłał do mnie wiadomość, w której poinformował mnie, że projekt zbyt często wybiera liczbę 1. Po dejrzewać, że ma to związek z implementacją funkcji spowalniającej koniec procesu losowania.

Jasmin był twórcą gier komputerowych, który dysponował o wiele większą wiedzą na temat losowości

ode mnie. Napisana przez niego wiadomość była uprzejma. Brzmiała tak, jakby jej autor doskonale wiedział, o czym pisze. Jasmin chciał pomóc mi w rozwiązyaniu wykrytego przez siebie problemu.

Przesłał mi ilustracje przedstawiające wzgólną częstotliwość wypadania każdej liczby w wyniku symulacji. Z danych tych wyraźnie wynikało, że opisany przez niego problem nie jest zmyślony. Zasugerowałem wiele moim zdaniem prawdopodobnych przyczyn tego problemu, ale wszystkie moje sugestie okazały się błędne. Jasmin wykazał, że pojedyncza dioda LED pobierała mniej prądu od pozostałych diod LED połączonych w pary, a więc przy niskim napięciu pojedyncza dioda świeciła nieco dłużej od pozostałych kombinacji diod, co zwiększało prawdopodobieństwo zatrzymania się losowania na pojedynczej diodzie.

Jasmin zaproponował modyfikację układu — dodanie kolejnego układu czasowego 555 i skierowanie sygnałów wyjściowych dwóch układów do bramki XOR. Udowodnił, że koncepcja ta rozwiązuje wykryty wcześniej problem. Cieszę się, że ten czytelnik wykazał tak wiele z lektury mojej książki — był w stanie zidentyfikować źródło problemu i zaproponować jego rozwiązanie.

W drugim wydaniu pominąłem kłopotliwy kondensator spowalniający. Nie zasugerowałem jednak koncepcji opisanej przez czytelnika, ponieważ układ ten był dość skomplikowany. Symulator rzutu jedną kostką wymagałby zastosowania pary układów czasowych 555 oraz bramki XOR. Ponadto Jasmin korzystał z diod, które zastąpiłem bramkami OR, a jego rozwiązanie (którego schematu z przyczyn technicznych niestety nie mogę tutaj opublikować) prawie nie mieściło się na płytce prototypowej.

## Alternatywna koncepcja spowalniania pracy obwodu

Wydawać by się mogło, że musi istnieć jakiś prostszy sposób implementacji spowalniania, który nie będzie wpływał na losowość. Szukając tego typu pomysłów w internecie, natknąłem się na projekt,

w którym zastosowano tranzystor NPN, którego emiter podłączono do pinu numer 7 układu czasowego, a pomiędzy bazę i kolektor tranzystora włączono kondensator. Dzięki temu po odłączeniu tranzystora od prądu jego moc powoli maleje. Rozwiążanie to zostało zastosowane przez kilku konstruktörów, ale wydaje mi się, że może ono być narażone na problem opisany przez Jasmina.

Znalazłem wiele rozwiązań (między innymi w serwisie Doctrronics), w których zastosowano kondensator w taki sam sposób, w jaki zrobiłem to w poprzednim wydaniu tej książki. Układów tych z pewnością będzie dotyczyć opisany wcześniej problem.

Być może zawiedziesz się, ale nie potrafię wymyślić sposobu implementacji zwalniania losowania, który nie wpływałby na jego wynik oraz nie wymagałby dodania kolejnych komponentów zwiększających w dużym stopniu skomplikowanie obwodu.

Na krótko przed skończeniem pracy nad tą książką mój przyjaciel Fredrik Jansson podsunął mi pewien pomysł: układ czasowy 555 powinien być zasilany z oddzielnego regulatora napięcia, dzięki czemu byłby on odizolowany od fluktuacji napięć wywoływanych przez inne komponenty. Koncepcja ta przypadła mi do gustu, ale nie miałem czasu na zaimplementowanie jej w praktyce, ponieważ musiałem skończyć pracę nad tą książką.

Zbudowałem zupełnie inny obwód symulujący rzut kostką, oparty na mikrokontrolerze PICAXE, ale niestety on również miał pewne wady — generator liczb losowych wbudowany w ten układ nie był najlepszy.

W eksperymencie numer 34 (ostatni eksperyment przedstawiony w tej książce) opisałem budowę kolejnego symulatora kostki do gry. Tym razem układ oparty został na mikrokontrolerze Arduino. Niestety w przypadku tego mikrokontrolera musiałem ponownie polegać na wbudowanym mechanizmie generowania liczb losowych i mam pewne wątpliwości co do równego rozkładu losowanych liczb.

Implementowanie losowości wcale nie jest czymś łatwym. Tematem tym zainteresował mnie Jasmin

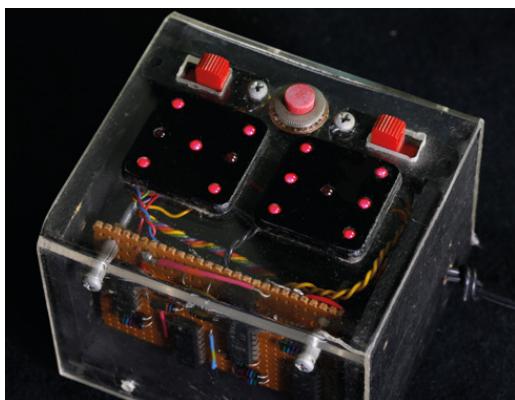
Patry. Problematykę związaną z losowością opisałem szerzej w książce *Elektronika. Od praktyki do teorii. Kolejne eksperymenty*. Alan Logue (konstruktor publikujący swoje projekty na własnej stronie internetowej) pomógł mi w napisaniu artykułu dotyczącego tego problemu. Artykuł ten został opublikowany w 45. numerze czasopisma „Make”. Alan przedstawił koncepcję zastosowania tranzystora spalarzyzowanego zaporowo do generowania losowego szumu, który może zostać przetworzony za pomocą sprytnego algorytmu stworzonego przez pioniera komputeryzacji Johna von Neumanna. W ten sposób możliwe jest uzyskanie prawie idealnego generatora liczb losowych. Niestety rozwiążanie to wymaga zastosowania wielu układów scalonych.

Wszystkie te rozwiązania wykraczają poza zakres książki dotyczącej podstaw elektroniki. Gdybyś wpadł na pomysł naprawdę prostego sposobu na modyfikację zaprezentowanego projektu w celu dodań efektu spowolnienia kończącego się losowania, to możesz powiadomić mnie o tym e-mailem. Naprawdę czytam wiadomości wysyłane przez czytelników.

Na koniec chciałbym pokazać kilka zdjęć ukończonych projektów elektronicznych kostek do gry. Zdjęcie widoczne na rysunku 4.151 było opublikowane w pierwszym wydaniu tej książki (2009 r.). Na rysunku 4.152 pokazałem projekt zbudowany przeze mnie około 1975 r. po lekturze książki *TTL Cookbook* napisanej przez Dona Lancastera. Dzięki tej lekturze dowiedziałem się, jak można korzystać z układów logicznych z rodziną 74xx. Pomimo upływu 40 lat diody LED nadal zapalają się w sposób losowy, a przynajmniej tak mi się wydaje.



Rysunek 4.151. Elektroniczna kostka wyposażona w diody LED o średnicy 10 mm. Projekt został zamontowany w obudowie wykonanej z matowego tworzywa sztucznego (poliwęglanu)



Rysunek 4.152. Elektroniczna kostka zbudowana około 1975 r. Projekt został zamontowany w obudowie wykonanej z przezroczystego akrylu oraz pomalowanej na czarno sklejki



# 5

## Co dalej?

W tym miejscu możemy skierować naszą uwagę na szereg różnych zagadnień. Oto kilka możliwości:

**Elektronika audio:** to zagadnienie samo w sobie, obejmujące takie projekty, jak proste wzmacniacze czy podłogowe efekty służące do modyfikowania dźwięku gitary.

**Elektromagnetyzm:** wcześniej nawet nie wspomniałem o tym zagadnieniu, ale elektromagnetyzm charakteryzuje się fascynującymi zastosowaniami.

**Urządzenia radiowe:** wszystko, co odbiera lub nadaje fale radioowe, poczynając od bardzo prostych odbiorników AM, po zdalne sterowanie urządzeniami.

**Mikrokontrolery programowalne:** są to miniaturowe komputery umieszczone we wnętrzu pojedynczej kości układu scalonego. Twoje zadanie polega na napisaniu przy użyciu swojego komputera programu, który przekaże układowi serię rozkazów, takich jak odebranie stanu wejściowego z jakiegoś czujnika, oczekanie określonej ilości czasu i wysłanie sygnału wyjściowego do silnika. Gotowy program wpisuje się do nieulotnej pamięci układu. Do popularnych mikrokontrolerów można zaliczyć Arduino, PICAXE, BASIC Stamp i wiele innych.

Oczywiście, nie jestem w stanie w pełni rozwinać tutaj powyższych zagadnień, dlatego ograniczę się jedynie do ich wprowadzenia przez opisanie jednego lub dwóch projektów z każdej kategorii. Sam zdecyduj, która dziedzina interesuje Cię najbardziej, i zacznij zgłębiać ją, czytając inne książki poświęcone wyłącznie jej.

Przekażę Ci również kilka sugestii odnośnie przygotowania miejsca pracy sprzyjającego produktywności,

czytania odpowiednich książek, katalogów i innej literatury, a także ogólnych uwag na temat Twojej dalszej działalności jako elektronika hobbysty.

### Narzędzia, wyposażenie, podzespoły i zaopatrzenie

W tym rozdziale nie będziesz potrzebował żadnych nowych narzędzi. Na rysunku 6.8 przedstawiono wszystkie niezbędne podzespoły. W sekcji „Zasoby” znajdującej się w rozdziale 6. znajdziesz listę dodatkowych komponentów (powinieneś Cię zainteresować głównie drut, który umożliwi Ci tworzenie cewek w eksperymentach numer 25, 26, 28, 29 i 31).

### Przystosowanie Twojego miejsca pracy

Jeżeli połknąłeś bakcyla tworzenia urządzeń elektronicznych, ale nie stworzyłeś sobie jeszcze własnego kąta do pracy, oto kilka sugestii, jak go urządzić. Po wypróbowaniu przez lata wielu różnych opcji moja najważniejsza rada brzmi: nie buduj stołu warsztatowego!

Wiele książek poświęconych elektronice zaleca zakup drewnianych kantówek i płyt wiórowych, tak jakby stół warsztatowy musiał być zrobiony na zamówienie, żeby spełniał ściśle określone kryteria odnośnie kształtu i rozmiaru. Uważam to za swoego rodzaju dziwactwo. Dla mnie dokładny rozmiar i kształt stołu nie ma większego znaczenia. Ważniejszym problemem jest magazynowanie.

Chcę, aby narzędzia i części były łatwo dostępne, niezależnie od tego, czy są to malutkie tranzystorki,

czy wielkie szpule drutu. Zdecydowanie nie mam ochoty wstawać od stołu i szukać na półkach potrzebnych mi rzeczy.

To prowadzi mnie do dwóch konkluzji:

- Potrzebujesz magazynku nad stołem roboczym.
- Potrzebujesz magazynku pod stołem roboczym.

Wiele projektów stołów typu „zrób to sam” uwzględnia bardzo mało przestrzeni magazynowej pod blatem lub realizuje tę przestrzeń w formie zwykłych półek, na których z łatwością zbiera się kurz. Moje minimum to para szafek na dokumenty z ułożonym na nich blatem z 2-centymetrowej sklejki lub plastiku do zastosowań kuchennych. Szafki na dokumenty nadają się do przechowywania różnego rodzaju przedmiotów — nie tylko dokumentów<sup>1</sup>.

Spośród wszystkich stolów roboczych, jakich używałem, moim ulubionym było metalowe biurko starego typu używane w biurach — ogromne, pochodzące z lat pięćdziesiątych ubiegłego wieku. Biurka tego typu są bardzo trudne do przesunięcia (ze względu na swoją wagę) i nie wyglądają zbyt ładnie, ale można je kupić za bezcen od firm handlujących starym sprzętem biurowym. Oferują dużo miejsca, wytrzymają prace, do których nie były normalnie przeznaczone. Są nieznioczalne. Szuflady są głębokie i zazwyczaj wysuwają się z dużą łatwością, jak przystało na dobre szafki na dokumenty. Ponieważ masa stali, z której wykonane są elementu biurka jest tak duża, że możesz używać go do uziemiania swojego ciała przed dotknięciem komponentów czułych na ładunek elektrostatyczny. Jeśli nosisz na nadgarstku bransoletkę do odprowadzania ładunku,

możesz przymocować ją metalowym wkrętem do jednego z rogów takiego biurka<sup>2</sup>.

Co włożyć do głębokich szuflad biurka lub szafki na dokumenty? Z pewnością będzie to dobre miejsce na wszelką dokumentację w formie papierowej:

- karty katalogowe,
- katalogi części,
- schematy i szkice, które stworzyłeś samodzielnie.

Pozostałą przestrzeń można wypełnić plastikowymi pudełkami, w których miejsce znajdą narzędzia używane jedynie od czasu do czasu (na przykład opałarka lub lutownica o dużej mocy) i większe części (głośniki, zasilacze, obudowy i płytki). Szukaj pudełek o wymiarach  $11 \times 8 \times 5$  cali, z prostymi ścianami. Zazwyczaj pudełka tego typu można kupić taniej w zwykłych supermarketach, ale ich zwężające się ściany boczne sprawiają, że nie są one zbyt wydajne pod względem przestrzeni magazynowej.

Ja lubię najbardziej pudełka Akro-Grid produkowane przez firmę Akro-Mills (patrz rysunki 5.1 i 5.2)<sup>3</sup>. Są one wykonane z grubego plastiku i mają proste ściany z opcjonalną przezroczystą przykrywką. Na stronie firmy Akro-Mills znajdziesz internetowy katalog jej produktów — przekonasz się, że istnieje cały asortyment pudełek otwartych i zamkanych (osobiście wolę zamkane, ponieważ chronią one przechowywaną zawartość przed kurzem i brudem).

Części średniego rozmiaru, takie jak potencjometry, wtyczki i gniazda, pokrętła i przełączniki, lubię przechowywać w pudełkach o wymiarach  $11 \times 8 \times 2$  cala z licznymi przegródkami w środku. Dostaniesz je w każdym większym supermarketie budowlanym.

1 Opisywane przez autora szafki na dokumenty oraz pasujące do nich modele pudełek na części (wymienione dalej) odnoszą się do rynku amerykańskiego. Tworzą własne miejsce do pracy, będziesz musiał samodzielnie dobrać rozmiary pudełek pasujące do szuflad i szafek w Twoim biurku lub stole roboczym — przyp. tłum.

2 Opisywane biurka dostępne są wyłącznie na rynku amerykańskim. Jeżeli chcesz znaleźć metalowe biurko lub stół roboczy, szukaj w serwisie [www.allegro.pl](http://www.allegro.pl) — przyp. tłum.

3 Produkty tej firmy są niedostępne w Polsce. Podobne produkty na naszym rynku oferuje firma Curver ([www.curver.pl](http://www.curver.pl)). Szukaj ich w dużych marketach budowlanych — przyp. tłum.



**Rysunek 5.1.** Pudełka Akro-Grid posiadają specjalne krawędzie w ścianach, które umożliwiają dzielenie ich na mniejsze sekcje, w których łatwiej przechowuje się części; w typowej szufladzie szafki na dokumenty zmieszcza się trzy takie pudełka



**Rysunek 5.3.** To pudełko firmy Plano nie posiada przegródek, co pozwala na przechowywanie w środku szpulek z drutem lub narzędzi średniego rozmiaru. Ustawione pionowo pasuje idealnie do szuflady szafki na dokumenty



**Rysunek 5.2.** Pokrywy do pudełek Akro-Grid sprzedawane są oddzielnie; w typowej szufladzie szafki na dokumenty zmieszcza się dwa pudełka widoczne na tym rysunku

Bogaty wybór organizatorów tego typu znajdziesz również na [www.allegro.pl](http://www.allegro.pl).

Pudełkiem bez przegródek, które pasuje idealnie do szafki na dokumenty, jest Prolatch 23600-00. Solidne zatrzaski tego typu pudełka pozwalają ustawić je pionowo na szerszym boku. Patrz rysunek 5.3.

Firma Plano sprzedaje również bardzo dobrze zaprojektowane skrzynki na narzędzia. Jedeną z takich skrzynek mógłbyś umieścić na swoim biurku. Ma ona małe szufladki pozwalające na szybki dostęp do śrubokrętów i innych narzędzi. Do wykonywania projektów elektronicznych wystarczy Ci powierzchnia o boku zaledwie 1 metra, dlatego nic się nie

stanie, jeśli poświęcisz część swojego biurka na skrzynkę z narzędziami.

Jeżeli masz metalowe biurko z płytymi szufladami, jedną z nich możesz poświęcić na papierowe katalogi części. Nie pomniejszaj ich roli wyłącznie dlatego, że wszystko można obecnie kupić w internecie. Dla przykładu katalog firmy Mouser posiada indeks, który pod pewnymi względami przewyższa funkcję wyszukiwarki dostępną na stronie internetowej [pl.mouser.com](http://pl.mouser.com) i jest dodatkowo podzielony na kategorie ułatwiające poszukiwanie. Wiele razy znalazłem użyteczne części, o których nie wiedziałem wcześniej, przez zwykłe przeglądanie katalogu — poszukiwania przebiegały znacznie szybciej w porównaniu do przeglądania kolejnych dokumentów PDF w sieci, nawet przy bardzo szybkim połączeniu z internetem. W chwili pisania tej książki Mouser jest nadal szczodry pod względem rozsyłania swoich katalogów liczących ponad 2000 stron<sup>4</sup>. Firma McMasterCarr również rozsyła swoje katalogi, ale robi to raz na rok i wysyła je tylko osobom, które wcześniej składały zamówienia. Jest to chyba najlepszy i najbardziej obszerny katalog narzędzi i sprzętu.

Jak przechowywać te wszystkie małe części: rezystory, kondensatory i kości układów scalonych?

4 Katalogi części możesz również zamówić w serwisach takich jak [www.tme.eu](http://www.tme.eu) czy [pl.farnell.com](http://pl.farnell.com) — przyp. tłum.

Próbowałem wielu rozwiązań. Najbardziej oczywistym jest zakup szafki z małymi szufladami, z których każdą można wyjąć i położyć na biurku, uzyskując w ten sposób dostęp do wybranego komponentu. Ten system nie podoba mi się z dwóch powodów. Po pierwsze, dla bardzo małych komponentów szufladki trzeba dzielić na mniejsze sekcje, a wstawione podziałki są zazwyczaj mało stabilne. Po drugie, podczas wyjmowania szuflady można nieopatrznie wysypać całą zawartość na podłogę. Być może Ty jesteś na tyle ostrożny, że taka rzecz nigdy Ci się nie przydarzy, ale mnie tak. Raz przez przypadek wywróciłem na podłogę wszystkie szuflady, które znajdowały się w mojej szafce.

Wolę małe pudełka z przegródkami pokazane na rysunku 5.4. Kilka sztuk kupisz bez problemu w każdym większym markecie budowlanym. Możesz również poszukać w sieci sprzedawców oferujących większe ilości po cenach hurtowych. Niebieskie pudełko jest podzielone na pięć przegródek nadających się idealnie do przechowywania rezystorów. Żółte pudełko ma dziesięć przegródek, w których zmieszczą się półprzewodniki. Fioletowe pudełka nie posiadają w ogóle przegródek, a czerwone występują w różnych odmianach. Wszystkie pudełka oznaczono tym samym numerem katalogowym: 2505-12<sup>5</sup>.

Przegródki stanowią część pudełka i skutecznie uniemożliwiają mieszanie się ze sobą różnych komponentów. Pokrywa pudełka ma dobre zamocowanie, które nie powinno się otworzyć nawet w przypadku upuszczenia go na podłogę. Pudełko zaopatrzone jest w metalowe zawiąsy oraz specjalny plastikowy grzbiet, który pozwala układać je w stos.

Udało mi się znaleźć tanie plastikowe pojemniki z pokrywami o wymiarach  $8 \times 13 \times 5$  cali. W jednym takim pojemniku mieści się dziewięć pudełek na komponenty firmy Darice. Pojemniki można opisać etykietami, a następnie ustawić na półce.

5 Kolory pudełek dotyczą jednego producenta wybranego przez autora. W sklepach można znaleźć pudełka o podobnym układzie przegródek, ale w innych kolorach — *przyp. tłum.*



**Rysunek 5.4.** Małe pudełka z przegródkami nadają się idealnie do przechowywania rezystorów, kondensatorów i elementów półprzewodnikowych. Pudełka można układać w stosy i przechowywać na półkach po oznaczeniu odpowiednimi etykietkami. Naklejkę producenta można zdjąć po wcześniejszym podgrzaniu opalką

## Opisywanie pudełek

Niezależnie od tego, jaki sposób przechowywania części wybierzesz, najważniejsze będzie ich dobre opisanie. Do wyprodukowania elegancko wyglądających etykiet wystarczy dowolna drukarka atramentowa. W przypadku rezystorów stosuję etykietki z kolorowym oznaczeniem paskowym. W ten sposób mogę porównać kolory na obudowie rezystora z kolorami na etykiecie i szybko stwierdzić, że dany rezistor został schowany w złym miejscu. Patrz rysunek 5.5.



**Rysunek 5.5.** Dla rezystorów wydrukuj etykiety z kolorowym oznaczeniem paskowym rezystorów. W ten sposób łatwo sprawdzisz, czy dana część nie leży w złym miejscu

Drugą etykietkę (bez kleju) powinieneś umieścić wewnętrz przegródek z komponentami. Ta powinna

zawierać nazwę producenta, numer części i źródło pochodzenia, pozwalając na szybką identyfikację tych informacji. Kupuję dużo części w firmie Mouser i za każdym razem, kiedy otwieram nadestane malutkie plastikowe paczuszk z częściami, wycinam z nich etykiety opisujące zawartość, a następnie umieszczam je w przegródkach pudełka i na nich układam komponenty. Taka procedura pozwala zaoszczędzić sobie niepotrzebnej frustracji w przyszłości.

Gdybym był **naprawdę** dobrze zorganizowany, utrzymywałbym również bazę danych części na swoim komputerze, która zawierałaby dane wszystkiego, co kiedykolwiek kupilem, łącznie z datą, źródłem pochodzenia, typem komponentu i ilością. Przyznaję jednak, że nie jestem aż tak dobrze zorganizowany.

## Co na biurku?

Niektóre narzędzia i urządzenia są tak niezbędne, że powinny mieć swoje stałe miejsce na biurku lub stole, przy którym pracujesz. Są to między innymi lutownica (jedna lub więcej), statyw lutowniczy ze szkłem powiększającym, lampka, płytka prototypowa, listwa gniazd zasilających i zasilacz. Preferuję lampkę wyposażoną w emiter będący diodą LED (powody mojego wyboru wyjaśniam w eksperymencie numer 14).

Źródło zasilania jest kwestią własnych preferencji. Jeśli myślisz poważnie o elektronice, możesz kupić jednostkę, która dostarcza odpowiednio wygładzonego prądu i napięcia o regulowanej wartości. Twój malutki zasilacz uniwersalny nie jest w stanie zrealizować takich funkcji, a jego parametry wyjściowe mogą ulegać zmianie w zależności od tego, jak mocno go obciążysz. Jak jednak mogłeś się przekonać, nadaje się on do prostych eksperymentów, a kiedy pracujesz z układami logicznymi, i tak musisz zamontować w płytce 5-woltowy regulator napięcia. Podsumowując, lepszy zasilacz można uznać za wyposażenie opcjonalne.

Innym opcjonalnym urządzeniem jest oscyloskop. Z jego pomocą będziesz mógł zobaczyć graficzną reprezentację zmian prądu w przewodach

i komponentach. Umieszczając sondy pomiarowe w różnych miejscach, będziesz mógł szukać błędów w swoich układach. Jest to urządzenie warte posiadania, ale jego koszt to minimum kilkaset złotych. W naszych dotychczasowych eksperymentach oscyloskop był niepotrzebny. Jeśli jednak zamierzasz na serio zająć się elektroniką audio, posiadanie oscyloskopu okaże się niezbędne, gdyż z pewnością będziesz chciał zobaczyć kształt generowanych przez siebie fal.

Mözesz spróbować podejścia ekonomicznego i kupić oscyloskop podpinany do portu USB, który używa monitora komputerowego do wyświetlania sygnału. Wypróbowałem jeden z takich modeli i nie byłem zbyt zadowolony z otrzymanych wyników. Urządzenie działało, ale wydawało się mało precyzyjne dla sygnałów o małej częstotliwości. Być może nie miałem szczęścia przy wyborze, ale zdecydowałem nie podejmować kolejnych prób.

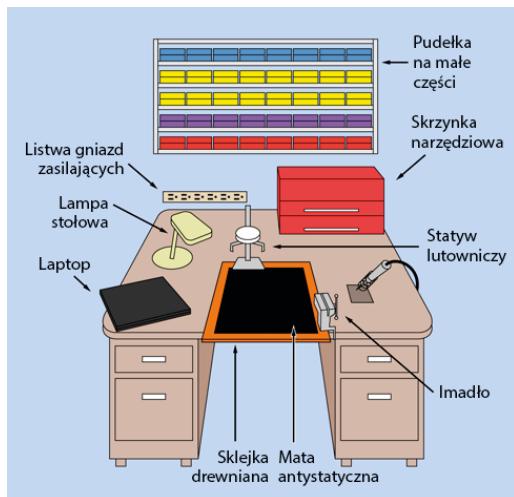
Powierzchnia Twojego biurka lub stołu roboczego bez wątpienia pokryje się znakami po cięciu przedmiotów i kroplami zastygłej cyny. Do ochrony blatu stosuję drewnianą sklejkę o grubości około jednego centymetra i boku mniej więcej 0,6 metra. Unieruchamiam ją, przykręcając na jednym z końców miniaturowe imadło. Sklejkę pokrywam pianką przewodzącą, co zmniejsza ryzyko uszkodzenia czułych układów scalonych ładunkiem elektrostatycznym. Po latach pracy zauważałem, że kombinacja posiadanych przeze mnie butów, dywanu i krzesła nie powoduje powstawania ładunków elektrostatycznych. Występowanie ładunków elektrostatycznych musisz stwierdzić na podstawie własnych doświadczeń. Jeżeli czasami, gdy dotykasz metalowych przedmiotów, widzisz przeskakującą iskrę i czujesz uszczypnięcie, to znaczy, że powinieneś pomyśleć o uziemieniu siebie i zakupie maty antystatycznej lub o pokryciu stołu, na którym pracujesz, metalową płytą.

W trakcie pracy nie da się uniknąć bałaganu. Małe kawałki obciętych przewodów, porozrzucane śruby i resztki zdjętej izolacji mogą doprowadzić do nieprzyjemnych niespodzianek. Jeżeli metalowe

odpadki dostaną się do budowanego właśnie układu, może dojść do zwarcia. Potrzebujesz łatwego w użyciu kosza na śmieci. Ja używam kosza o tak dużym rozmiarze, że zawsze trafiam, rzucając coś w jego kierunku. Jego rozmiar nie pozwala mi również zapomnieć, że jest na miejscu i czeka na życie.

Ostatnia rzecz, co wcale nie znaczy, że najmniej ważna: komputer. Teraz, kiedy wszelkie możliwe karty katalogowe są dostępne w sieci i tą samą drogą można zamawiać komponenty, a także przeglądać schematy publikowane przez innych hobbystów i nauczycieli, nie wyobrażam sobie, aby ktokolwiek mógł pracować w sposób wydajny bez szybkiego dostępu do internetu. W celu zaoszczędzenia miejsca na biurku proponuję ustawić komputer stacjonarny na podłodze, a podłączony do niego monitor zawiesić na ścianie. Możesz również zaopatrzyć się w mały, tani laptop o minimalnej konfiguracji.

Przykładową organizację miejsca pracy z metalowym biurkiem pokazuje rysunek 5.6. Na rysunku 5.7 pokazano organizację jeszcze oszczędnej korzystającą z wolnej przestrzeni.



Rysunek 5.6. Stare metalowe biurka używane w biurze może okazać się równie dobrze do wykonywania prac elektronicznych, co tradycyjny stół roboczy. Dostarcza dużej powierzchni roboczej i magazynowej, a jego masa w zupełności wystarczy do uziemienia swojego ciała przed dotknięciem komponentów czułych na ładunek elektrostatyczny



Rysunek 5.7. Otoczenie się regałami pozwala na zminimalizowanie powierzchni zajmowanej przez stanowisko pracy

## Źródła informacji w sieci

Moją ulubioną witryną edukacyjną i dostarczającą informacji na temat elektroniki jest Doctrronics ([www.doctrronics.co.uk](http://www.doctrronics.co.uk)).

Podoba mi się ich sposób przedstawiania schematów, a także duża liczba ilustracji gotowych obwodów na płytach prototypowych. Sprzedają również gotowe zestawy, o ile jesteś gotowy zapłacić i czechać na przesyłkę z Wielkiej Brytanii.

Moją kolejną ulubioną witryną hobbystyczną jest angielska witryna o nazwie Electronics Club (<http://www.electronicsclub.info/>). Nie jest tak wyczerpująca, jak Doctrronics, ale bardzo przyjazna i przystępna.

Jeżeli chcesz podejść do tematu z punktu widzenia teorii, odwiedź [www.electronics-tutorials.ws](http://www.electronics-tutorials.ws).

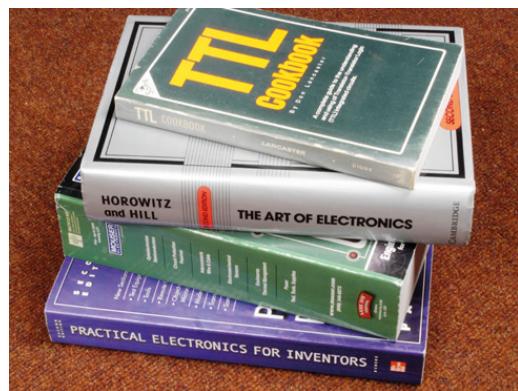
Zawarte tam informacje sięgają głębiej niż sekcje poświęcone teorii w tej książce.

Nietypową stronę elektroniki odkryjesz, odwiedzając na przykład witrynę zatytułowaną Don Lancaster's Guru's Lair ([www.tinaja.com](http://www.tinaja.com)).

Don Lancaster ponad 30 lat temu napisał książkę zatytułowaną *The TTL Cookbook*, która umożliwiła zabawę z elektroniką dwóm pokoleniom hobbystów i eksperymentatorów. Ten człowiek wie, o czym mówi, i nie boi się zagłębiać w ambitne projekty, takie jak napisanie własnych sterowników języka PostScript czy stworzenie własnych połączeń przy użyciu portów szeregowych. Na tej witrynie znajdziesz wiele pomysłów.

## Książki

Tak, będziesz potrzebował książek. Część przydatnych pozycji znajduje się w stosie pokazanym na rysunku 5.8.



**Rysunek 5.8.** Na szczycie pozycji, do których sięgam, znajduje się wypluwale od słońca klasyczne wprowadzenie do układów TTL napisane przez Dona Lancastera. Wydanie tej książki ponad 40 lat temu otworzyło nową erę elektroniki hobbistycznej. Większość zawartych w niej informacji jest wciąż aktualna, a używany egzemplarz tej książki można kupić za pośrednictwem internetowych serwisów aukcyjnych

Skoro czytasz już tę pozycję, nie będę polecał innych podręczników dla początkujących elektroników. Zamiast tego, trzymając się tematyki tego rozdziału, zaproponuję kilka tytułów, które pozwolą Ci pójść dalej w różnych kierunkach i będą stanowić dobre źródło odniesienia.

### ***Elektronika. Od praktyki do teorii. Kolejne eksperymenty* (Helion, 2014)**

Jest to kontynuacja tej książki. Przedstawitem w niej zagadnienia, takie jak wzmacniacze

operacyjne, dla których zabrakło miejsca w tej książce. Zaprezentowałem w niej nieco ambitniejsze obwody. Po przeczytaniu obu moich książek poznasz większość zagadnień związanych z elektroniką dostępną dla hobbysty dysponującego umiarkowanym budżetem.

### ***The Encyclopedia of Electronic Components***

Zacząłem pracować nad encyklopedią podzespołów elektronicznych, ale podczas pracy zdałem sobie sprawę, że stworzenie takiej książki jest bardzo trudne. W związku z tym wydanie trzytomowego dzieła było ciągle opóźniane. Obecnie drukowane są dwa pierwsze tomy. Być może w chwili, gdy czytasz te słowa, dostępny jest również ostatni tom. Encyklopedia ta ma być źródłem, w którym szybko znajdziesz informacje dotyczące danego komponentu — dzięki niej będziesz mógł sobie coś przypomnieć lub poznać jakieś szczegółowe dane. Dla porównania: książka, którą teraz czytasz, jest podręcznikiem pełnym porad i instrukcji, w którym staram się nie zagłębiać w zbędne szczegóły.

Oto lista książek napisanych przez innych autorów, które moim zdaniem są ważne:

### ***Practical Electronics for Inventors, Paul Scherzer i Simon Monk (McGraw-Hill, Second Edition, 2007)***

Jest to obszerna i wyczerpująca książka warta swojej ceny. Wbrew temu, co mówi tytuł, nie będziesz musiał niczego wymyślać, aby uznać ją za użytkenną. Opisuje szeroki zakres pojęć, od podstawowych właściwości rezystorów i kondensatorów, aż po zaawansowane zagadnienia matematyczne. Stanowi moje główne źródło odniesienia.

### ***Wprowadzenie do Arduino, Massimo Banzi i Michael Shiloh (Make, 2014)***

Książka ta stanowi najprostsze wprowadzenie do mikrokontrolera Arduino dostępne na rynku i pomoże Ci poznąć używany w nim język Processing (jest on podobny do C, jeżeli coś Ci to mówi).

## **Spraw, by rzeczy przemówły. Programowanie urządzeń elektronicznych z wykorzystaniem Arduino, Tom Igoe (Helion, 2013)**

Ta ambitna i obszerna książka pokazuje, jak wykorzystać większość możliwości Arduino do komunikacji z otoczeniem, łącznie z dostępem do konkretnych lokalizacji w internecie.

## **TTL Cookbook, Don Lancaster (Howard W. Sams & Co, 1974)**

1974 to nie błąd w druku! Być może uda Ci się znaleźć późniejsze wydania, ale ktorakolwiek wersję kupisz, będzie to oferta z drugiej ręki i do tego dosyć droga, ponieważ ten tytuł ma już swoją wartość kolekcjonerską. Lancaster napisał swój przewodnik, zanim rodzina układów 7400 doczekała się odpowiedników ze zgodnym układem pinów w technologii CMOS, ale mimo to jest to nadal dobre źródło odniesienia — prezentowane koncepcje oraz numery części nie uległy zmianie, a zagadnienia opisywane są dokładnie i zwięźle. Czytając tę książkę, pamiętaj o tym, że informacje o wysokich i niskich napięciach stanów logicznych nie są już aktualne.

## **CMOS Sourcebook, Netwon C. Braga (Sams Technical Publishing, 2001)**

Ta książka jest w całości poświęcona rodzinie układów CMOS z serii 4000 (nie jest to seria 74HC00, której używalem w większości eksperymentów). Kości z serii 4000 są starsze i trzeba się z nimi obchodzić ostrożniej, ponieważ są bardziej podatne na uszkodzenia ładunkiem elektrostatycznym od generacji, które pojawiły się później. Układy tej serii są jednak nadal dostępne, a ich wielką zaletą jest zdolność do tolerowania szerokiego zakresu napięć — typowo od 5 do 15 V. Oznacza to na przykład, że możesz stworzyć obwód zasilający układ czasowy 555 napięciem 12 V i użyć sygnału wyjściowego bezpośrednio w kościach CMOS. Książka jest podzielona na trzy części: podstawy CMOS, diagramy funkcjonalne (opisujące układ pinów wszystkich podstawowych kości) i proste obwody, pokazujące sposób użycia kości do wykonania podstawowych funkcji.

## **The Encyclopedia of Electronic Circuits, Rudolf F. Graf (Tab Books, 1985)**

Kolekcja różnorodnych schematów z minimalną liczbą wyjaśnień. Ta książka przydaje się, jeśli masz pewien pomysł i chcesz zobaczyć, jak inni podezrli do tego problemu. Przykłady są często cenniejsze od ogólnych wyjaśnień, a ta książka zawiera ich bardzo dużo. Opublikowano wiele książek z tej serii, ale zacznij od tej. Być może okaże się, że zawiera wszystko, czego potrzebujesz.

## **The Circuit Designer's Companion, Tim Williams (Newnes, Second Edition, 2005)**

Sporo użytecznych rad odnośnie uruchamiania projektów, ale styl książki jest bardzo „suchy” i techniczny. Ta pozycja może okazać się przydatna, jeśli jesteś zainteresowany praktycznym wykorzystaniem swoich projektów.

## **Sztuka elektroniki (tom I i II), Paul Horowitz i Winfield Hill (Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, 1992)**

Dwadzieścia wznowień tej książki oznacza dwie rzeczy: (1) wiele osób uważa ją za podstawowe źródło wiedzy, (2) nie powinno być problemu z dostaniem używanego egzemplarza. Została napisana przez dwóch pracowników naukowych i ma bardziej techniczne podejście w porównaniu z *Practical Electronics for Inventors*. Uważam ją za użyteczne źródło informacji, zwłaszcza wtedy, gdy szukam potwierdzenia swojej wiedzy.

## **Getting Started in Electronics, Forrest M. Mims III (Master Publishing, Fourth Edition, 2007)**

Chociaż ta książka pochodzi z roku 1983, nadal uważam ją za bardzo przyjazną pozycję. Wiele z przedstawionych w niej tematów powtórzyłem tutaj. Być może przydatne dla Ciebie będzie przeczytanie wyjaśnień i rad pochodzących z zupełnie innego źródła. Omawia ona dogłębniej pewne aspekty teorii elektryczności w sposób bardzo przystępny i z dobrymi ilustracjami. Uprzedzam jednak, że książka mówi o wielu rzeczach przekrojowo, w sposób powierzchowny — nie oczekuj, że znajdziesz w niej wszystkie odpowiedzi.

# Eksperiment 25: Magnetyzm

Po zapoznaniu się z listą lektur, do których będziesz mógł zająć w przyszłości, czas zająć się bardzo ważnym tematem, którego nie opisałem wcześniej: zależnością pomiędzy elektrycznością a magnetyzmem. Po krótkim wprowadzeniu przejdę do tematyki związanej z reprodukcją dźwięku i radiofonią. Opiszę podstawy induktancji własnej, która jest trzecią i ostatnią właściwością komponentów pasywnych (pozostałymi właściwościami są rezystancja i pojemność elektryczna). Induktancję własną opisuję na końcu, ponieważ ma ona ograniczone zastosowanie w obwodach prądu stałego, ale gdy zaczniemy pracować z sygnałami analogowymi charakteryzującymi się zmiennym napięciem, to induktancja własna będzie jednym z podstawowych parametrów.

## PODSTAWY: Związek dwustronny

Przepływ prądu może wytworzyć pole magnetyczne:

- Prąd płynący przez przewód elektryczny tworzy wokół niego pole magnetyczne.

Na tej zasadzie oparte jest działanie prawie wszystkich silników elektrycznych.

Pole magnetyczne może wytworzyć prąd elektryczny:

- W przewodzie poruszającym się w polu magnetycznym powstaje prąd elektryczny.

Druga z reguł jest wykorzystywana w generatorach prądu. Silnik Diesla, turbina napędzana parą, turbina wodna lub inne urządzenie obraca zwoje przewodu we wnętrzu mocnego pola magnetycznego lub obraca magnesy w otoczeniu zwojów przewodu. W zwojach indukowany jest prąd elektryczny. Wszystkie praktyczne źródła energii elektrycznej (z wyjątkiem paneli fotowoltaicznych) są oparte na magnesach i zwojach drutu.

Miniaturowy przykład takiego zjawiska będziesz miał okazję zobaczyć w trakcie następnego eksperymentu. Eksperiment ten powinieneś zobaczyć w szkole

podczas zajęć z fizyki lub techniki. Nawet jeśli tak było, proponuję, abyś powtórzył go teraz jeszcze raz. Przygotowanie go zajmie dosłownie chwilę.

## Potrzebne będą:

- duży śrubokręt,
- drut 0,32 mm<sup>2</sup> (lub cieńszy), ilość: 2 metry,
- bateria 9 V,
- spinacz do dokumentów.

## Procedura

To, co musisz zrobić, jest banalnie proste. Nawiń drut na metalową część śrubokręta w pobliżu jego czubka. Zwoje powinny być ciasne i ułożone blisko siebie. Będziesz musiał wykonać ich około 100 na odcinku mniej więcej 5 cm. Żeby zmieścić je na tak małym odcinku, będziesz musiał nawijać nowe zwoje na już istniejących. Jeśli ostatnia warstwa zwojów ma tendencję do rozwijania się, to zabezpiecz ją przy użyciu kawałka taśmy klejącej.

Teraz do drutu podłącz baterię. Na pierwszy rzut oka wygląda to na bardzo zły pomysł, ponieważ zewrzesz baterię niemal identycznie jak podczas eksperymentu numer 2. Przepuszczając jednak prąd przez drut nawinięty spiralnie, uda nam się wykonać z jego pomocą pewną pracę (wyjaśnię to wkrótce). Praca ta może polegać np. na przesunięciu spinacza.

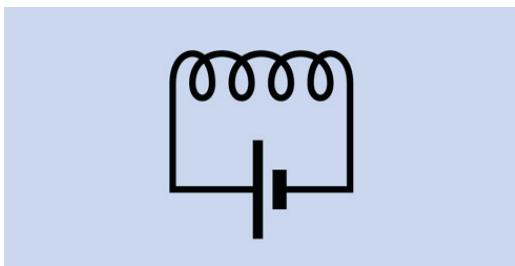
Obok końcówki śrubokręta położź mały spinacz (patrz rysunek 5.9).

Spinacz powinien leżeć na gładkiej powierzchni, która nie będzie stanowić oporu podczas przesuwania. Ponieważ wiele śrubokrętów ma namagnesowaną końcówkę, może okazać się, że to ona przyciąga spinacz. W takim przypadku przesuń spinacz w miejsce poza strefą przyciągania śrubokręta. Po podłączaniu do obwodu baterii dostarczającej prąd o napięciu 9 V spinacz powinien przeskoczyć do czubka śrubokręta.



**Rysunek 5.9.** Ten najprostszy elektromagnes jest wystarczająco silny, aby przyciągnąć metalowy spinacz

Gratulacje, właśnie stworzyłeś elektromagnes. Schemat stworzonego przez Ciebie obwodu pokazano na rysunku 5.10.



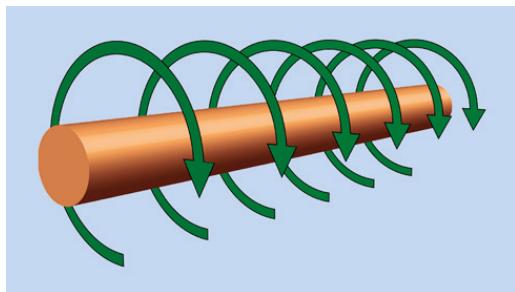
**Rysunek 5.10.** Trudno o prostszy schemat

## TEORIA: Indukcyjność

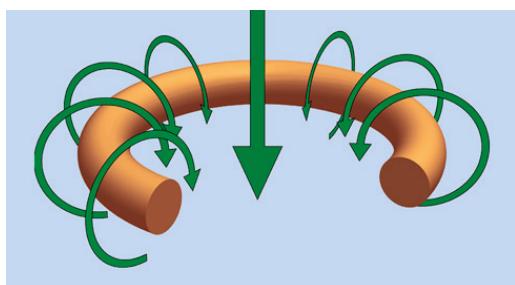
Prąd płynący przez drut powoduje powstanie wokół niego pola magnetycznego. Ponieważ prąd „indukuje” to zjawisko, określa się je mianem **indukcyjności**. Zjawisko indukcyjności ilustruje rysunek 5.11.

Pole magnetyczne wokół prostego przewodu jest bardzo słabe, ale jeśli wygniemy go w okrąg, siła magnetyczna zacznie się kumulować w jego środku. Pokazuje to rysunek 5.12. Jeśli dodamy więcej takich okręgów, tworzących cewkę, siła skupi się jeszcze bardziej. Dalszą poprawę siły uzyskamy przez umieszczenie w środku obiektu przewodzącego pole magnetyczne (takiego jak śrubokręt).

Na rysunku 5.13 przedstawiono wykres oraz wzór określany mianem „przybliżeniem Wheelera”, dzięki



**Rysunek 5.11.** Prąd płynący od lewej do prawej strony pokazanego przewodnika indukuje siłę magnetyczną przedstawioną w formie zielonych strzałek

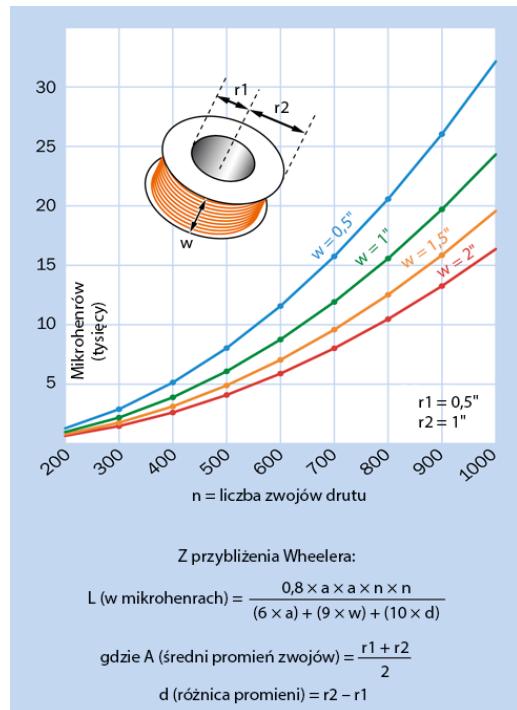


**Rysunek 5.12.** Po wygięciu przewodnika w okrąg siła magnetyczna skupia się w jego środku. Pokazuje to duża zielona strzałka

któremu można obliczyć przybliżoną indukcję cewki na podstawie jej wewnętrznej średnicy, wewnętrznej średnicy, szerokości i liczby zwojów. Do wzoru należy podstawać wielkości wyrażone w calach — nie można ich wyrażać w jednostkach systemu metrycznego. Jednostką, w której mierzona jest inducyjność jest henr — nazwa tej jednostki pochodzi od nazwiska amerykańskiego pioniera w dziedzinie elektryczności Josepha Henry'ego. Jednostka ta jest duża (podobnie jak farad), a więc korzystając ze wzoru otrzymasz wartości wyrażone w mikrohenrach.

Z wykresu wynika, że jeżeli podwoimy liczbę zwojów, zachowując takie same wymiary cewki (cewkę wykonamy z cieńszego drutu lub drutu o cieńszej izolacji), to nastąpi czterokrotny wzrost rezystancji cewki. Dzieje się tak, ponieważ w górnej części wzoru występuje iloczyn  $n \times n$ . Zapamiętaj następujące prawidłowości:

- Indukcyjność cewki rośnie wraz ze wzrostem jej średnicy.

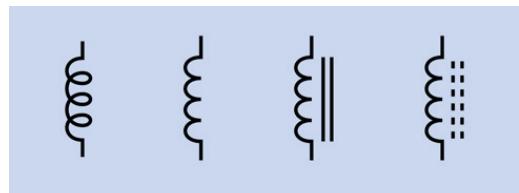


Rysunek 5.13. Obliczanie przybliżonej wartości indukcyjności na podstawie wymiarów i liczby zwojów cewki

- Indukcyjność rośnie wprost proporcjonalnie do kwadratu liczby zwojów (inaczej mówiąc, trzykrotnie więcej zwojów tworzy dziewięciokrotnie większą indukcyjność).
- Przy takiej samej liczbie zwojów indukcyjność maleje przy rozciąganiu cewki i rośnie przy jej zbijaniu w ciasną przestrzeń.

## PODSTAWY: Cewki i ich symbole na schematach

Symbole używane do przedstawiania cewek na schematach zostały pokazane na rysunku 5.14. Po lewej stronie rysunku pokazano dwa symbole cewek o rdzeniach powietrznych (pierwszy z tych symboli jest starszy). Trzeci symbol od lewej służy do oznaczania cewek o rdzeniach wykonanych z metalu. Symbol widoczny po prawej stronie rysunku służy do oznaczania cewek o rdzeniach ferrytowych.



Rysunek 5.14. Symbole cewek używane na schematach (opis symboli znajdziesz w akapicie poprzedzającym rysunek)

Metalowy rdzeń podnosi indukcyjność dzięki zwiększonemu efektowi przewodzenia magnetycznego.

Pole magnetyczne cewki ulega odwróceniu w wyniku zmiany polaryzacji źródła prądu, do którego podłączona jest cewka.

Najbardziej znanym zastosowaniem cewek są transformatory, w których prąd zmienny płynący przez jedno z uwojenień indukuje prąd w drugim uwojeniu. Oba uwojenia (cewki) nawinięte są na wspólnym rdzeniu. Jeśli uwojenie pierwotne (wejściowe) ma o połowę mniej zwojów w porównaniu do uwojenia wtórnego (wyjściowego), napięcie zostanie podwojone przy o połowę mniejszym prądzie — przy czysto hipotetycznym założeniu, że transformator posiada 100-procentową sprawność.

## TEORIA: Joseph Henry

Urodzony w roku 1797 Joseph Henry jako pierwszy stworzył i zademonstrował działanie potężnych elektromagnesów. On również przedstawił koncepcję samoindukcji w znaczeniu „ineracji elektrycznej” będącej właściwością uwojenienia.

Pochodzący z Albany w stanie Nowy Jork Henry był synem robotnika. Pracował w sklepie, ucząc się jednocześnie zawodu zegarmistrza. Jego marzeniem było zostać aktorem. Przyjaciele namówili go, aby zapisał się do Akademii Albany. Tam ujawnił się jego talent do nauk ścisłych. Pomimo braku ukończonych studiów w roku 1826 otrzymał tytuł profesora matematyki i filozofii naturalnej. Sam określił się mianem samouka. Prace z tej samej dziedziny prowadził w tym samym czasie Michael Faraday w Anglii, ale Henry nie wiedział o tym.

W roku 1832 Henry został zaproszony do pracy w Princeton. Otrzymywał tam wynagrodzenie 1000 dolarów rocznie plus darmowe mieszkanie. Kiedy Samuel Morse usiłował opatentować telegraf, Henry zeznał, że już wcześniej znał koncepcję jego działania, a nawet stworzył urządzenie działające na podobnej zasadzie i używał go do komunikacji ze swoją żoną w domu, kiedy on pracował w swoim laboratorium.

Oprócz fizyki Henry uczył również chemii, astronomii i architektury. W tamtych czasach nie istniał ścisły podział specjalności wśród nauk ścisłych, dlatego też Henry zajmował się również takimi zjawiskami, jak fotoforescencja, dźwięk, zjawisko kapilarne czy balistyka. W roku 1846 przewodniczył w roli sekretarza nowo powstałemu Instytutowi Smithsona. Jego sylwetkę przedstawiono na rysunku 5.15.



**Rysunek 5.15.** Joseph Henry był amerykańskim eksperymentatorem i pionierem w dziedzinie elektromagnetyzmu. Źródło: Wikimedia Commons

## Eksperiment 26: Generowanie prądu na własnym biurku

Wykonując eksperiment numer 5 dowiedziałeś się, że elektryczność może powstawać w wyniku reakcji chemicznej. W tym eksperymencie będziesz obserwować prąd z użyciem pola magnetycznego.

### Potrzebne będą:

- szczypce do cięcia drutu, ściągacz izolacji, multimeter z przewodami probierczymi
- cylindryczny magnes neodymowy o średnicy około 4,7 mm, długości 3,8 cm, namagnetyzowany osiowo, liczba: 1 (dostaniesz go na przykład w sklepie internetowym [www.magnesy.eu](http://www.magnesy.eu)),
- szpula drutu o polu przekroju 0,129, 0,205 lub 0,326 mm<sup>2</sup> o długości 60 metrów,
- zwykła dioda LED, liczba: 1,
- kondensator 1000 µF, liczba: 1,
- dioda przełącznikowa 1N4001 lub podobna, liczba: 1.

Dodatkowe materiały:

- cylindryczny magnes neodymowy o średnicy około 2 mm, długości 2,5 cm, namagnetyzowany osiowo, liczba: 1,
- drewniany kołek ustalający o średnicy 1,27 cm i długości przynajmniej 15 cm,
- stalowa śruba M3 z ibem płaskim,
- rura wykonana z PVC oewnętrznej średnicy  $\frac{3}{4}$  cala i długości przynajmniej 15 cm,
- dwa kwadratowe kawałki klejki o grubości 6 mm i wymiarach około  $10 \times 10$  cm (będziesz potrzebował otwornicy do wykonania otworu o średnicy 2,54 cm),
- szpula drutu nawojowego, 0,13 mm<sup>2</sup>, około 100 m, liczba: 1 (szukaj w sieci hasła „drut nawojowy”).

### Procedura

Po pierwsze, potrzebujesz magnesu. Magnesy neodymowe są najsilniejszymi dostępnymi magnesami. Egzemplarze mające formę małych walców są tanie. Do przeprowadzenia eksperimentu wystarczy magnes o średnicy zaledwie 4,7 mm i długości 3,8 cm. Na magnes nawiń dokładnie około 10 zwojów drutu o średnicy 0,64 mm (patrz rysunek 5.17). Teraz



Rysunek 5.16. Zaledwie dziesięć zwojów drutu wystarczy do wytworzenia potencjału elektrycznego przez magnes poruszający się wewnątrz zwojów



Rysunek 5.17. Dodanie większej liczby zwojów zwiększy napięcie prądu płynącego przez cewkę w wyniku poruszania magnesem

poluzuj nieco zwoje — tak aby magnes mógł się w nich poruszać.

Włącz multymetr i ustawi go w tryb pomiaru napięcia prądu przemiennego (miernik działający w trybie pomiaru prądu stałego nie będzie działał prawidłowo — pracujemy z impulsami prądu zmiennego). Miernik powinien być ustawiony w zakresie pozwalającym na pomiar napięcia wyrażonego w miliwoltach. Zdejmij izolację z obu końców cewki, a następnie podłącz do nich przewody pomiarowe wyposażone w zaciiski typu krokodyl. Zlap magnes za pomocą kciuka i palca wskazującego, a następnie poruszaj szybko magnesem znajdującym się wewnątrz cewki. Twój miernik wykryje napięcie prądu na poziomie około 3 – 5 mV. Dziesięć zwojów drutu i mały magnes mogą wygenerować prąd o napięciu kilku miliwoltów.

Spróbuj nawinąć większą cewkę składającą się z kilku nałożonych na siebie warstw zwojów (patrz rysunek 5.17). Ponownie szybko poruszaj magnesem. Napięcie generowane przez cewkę powinno wzrosnąć.

Przypomnij sobie wzór przedstawiony w poprzednim eksperymencie, z którego wynikało, że przepływ prądu przez większą liczbę zwojów drutu powoduje powstanie silniejszego pola magnetycznego. Odwrotność tej zasady jest również prawdziwa:

- Zwiększenie liczby zwojów drutu, w których porusza się magnes, powoduje wzrost napięcia indukowanego prądu.

Czy gdybyśmy dysponowali większym, silniejszym magnesem i **wieloma** zwojami drutu, to moglibyśmy wygenerować prąd wystarczający do zasilenia diody LED?

## Zasilanie diody LED

Będę korzystał z drutu o średnicy 0,64 mm, ponieważ korzystamy z niego również w innych eksperymentach. Kłopot w tym, że jest on dość gruby, a ponadto otoczony dość grubą warstwą izolacji. Dwieście zwojów tego drutu to naprawdę dość duża konstrukcja. W związku z tym powinniśmy korzystać z **drutu nawojowego**, którego rdzeń jest wykonany z czystej miedzi, a izolacja jest bardzo cienką warstwą żywicy lub tworzywa sztucznego. Drut nawojowy umożliwia nawijanie gęstych uwojeń.

Jednak możesz nie chcieć wydawać pieniędzy na szpulę drutu nawojowego, wiedząc, że nie będzie on przydatny do innych eksperymentów. W związku z tym postanowiłem sprawdzić, czy opisywany eksperyment można wykonać za pomocą standar-dowego drutu o średnicy 0,64 mm. Tak, da się go wykonać, ale nie idealnie.

Potrzebujesz 60 m drutu, a więc nie jest to mały wydatek, ale pamiętaj o tym, że będziesz mógł później zastosować ten drut w kolejnych eksperymentach, na przykład będziesz mógł wykonać z niego przewody łączące komponenty zainstalowane na płytce prototypowej.

Nawijając kolejne zwoje drutu, możesz łączyć ze sobą różne druty — wystarczy, że zdejmiesz z ich końców izolację i ściśniesz je ze sobą — nie musisz ich łączyć lutowniczo.

Do wykonania tego eksperymentu potrzebujesz również silniejszego magnesu. Najmniejszym magnesem, z jakim udało mi się go wykonać, był magnes o długości 2,5 cm i średnicy 2 cm. Magnes ten powinien być namagnesowany osiowo — biegunki magnetyczne powinny znajdować się po przeciwnych stronach osi magnesu (oś magnesu mającego kształt walca można wyobrazić sobie jako linię biegnącą przez jego środek, równoległą do jego zaokrąglonych boków).

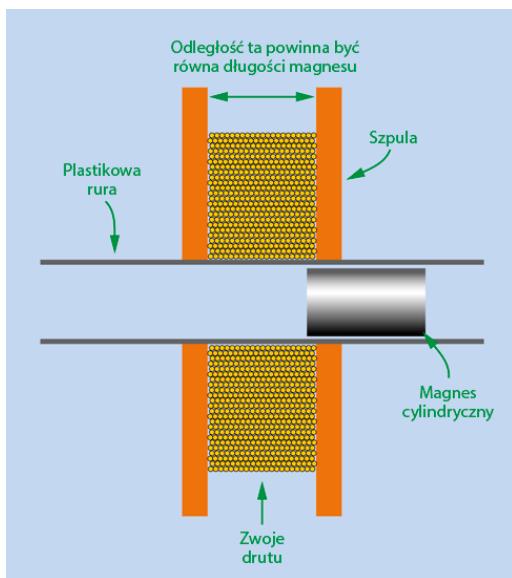
Stworzyłem konstrukcję pokazaną na rysunku 5.18. Magnes znajduje się po prawej stronie. Szpula została wykonana ze sklejki o grubości 6 mm. Okręgi wykonane z tej sklejki mają średnicę nieco ponad 10 cm. Przez ich środek przebiega fragment rury wykonanej z PVC o średnicy  $\frac{3}{4}$  cala. Wewnętrzna średnica rury powinna być niewiele większa od średnicy magnesu — magnes powinien swobodnie poruszać się wewnątrz cewki.



Rysunek 5.18. Dwieście zwojów drutu o średnicy 0,64 mm nawinięte na szpulę; magnes przyczepia się do śrub umieszczonej w drewnianym kołku

Dwa koła wycięte ze sklejki nasuń na rurę — w ten sposób stworzysz szpulę. Teraz nawiń 60 metrów drutu na szpulę — aby mieć dostęp do wewnętrznego końca drutu, wywierć w pobliżu środka szpuli otwór w jednym z drewnianych okręgów, a następnie przełóż przez niego drut.

Szerokość cewki powinna być zbliżona do długości magnesu — magnes powinien całkowicie chować się wewnątrz cewki. Widać to na przekroju pokazanym na rysunku 5.19.



Rysunek 5.19. Układ generujący prąd zasilający diodę LED

Aby wygodnie chwycić magnes, wywierciłem otwór w jednym z końców drewnianego kołka o średnicy 12 mm, a następnie umieściłem w nim śrubę M3 z ibem płaskim o długości 2,5 cm. Magnes trzymał się stalowej śruby dzięki sile przyciągania, a ja mogłem posługiwać się kołkiem tak, jakby był on uchwytem.

Teraz czas na ważną chwilę. Probówki wyposażone w zaciski typu krokodyl przyczep do końców cewki. Podłącz je tak jak wcześniej do multimetru mierzącego napięcie prądu przemiennego. Tym razem wybierz zakres pomiarowy do 2 V.

Magnes przyczepiony do drewnianego kołka może być bardzo szybko wsuwany do cewki i wysuwaný z niej. Magnes możesz również odczepić od drewnianego kołka, wrzucić go do środka rury, a następnie popchnąć go palcami pomiędzy krańcami rury. Jeżeli będziesz poruszać magnesem dostatecznie szybko, to miernik powinien wskazać napięcie około 0,8 V.

Tyle wysiłku, a napięcie nadal jest niższe od 1 V?

Tak, ale pamiętaj o tym, że Twój miernik **uśrednia** mierzone wartości. Szczytowe napięcie impulsów napięcia jest większe.

Odlacz przewody próbników od multymetru i podłącz je do diody LED o niskiej mocy. Unieruchom diodę. Dioda powinna migać, gdy będziesz żywiołowo poruszał magnesem wewnętrz ręce cewki. Jeżeli dioda nie migra, to odwróć magnes i spróbuj ponownie. Pamiętaj o tym, że dioda LED zastosowana w tym eksperymencie powinna wymagać prądu o naprawdę niskim natężeniu.

## Opcjonalna rozbudowa projektu

Dysponując nieco większym budżetem, można osiągnąć o wiele lepsze efekty.

Po pierwsze, zastosuj większy magnes. Doskonałe rezultaty udało mi się uzyskać za pomocą magnesu o długości 5 cm i średnicy 1,58 cm. Aby zastosować taki magnes, musisz oczywiście wykonać cewkę na bazie grubszej rury PVC.

Po drugie, kup szpulę właściwego drutu nawojowego. Cewkę wykonatem z około 150 metrów drutu o średnicy 0,40 mm. Drut taki znajdziesz w ofercie wielu dystrybutorów.

Jeżeli masz szczęście, to kupiony przez Ciebie drut będzie nawinięty na plastikową szpulę z otworem nieco większym od średnicy magnesu. Najlepiej byłoby, gdyby szpula umożliwiała dostęp do wewnętrznego końca drutu — drut może wystawać ze środka szpuli tak, jak pokazano na rysunku 5.20.

Cienką izolację możesz usunąć z drutu nawojowego za pomocą noża lub papieru ściernego. Skorzystaj z lupy i sprawdź, czy usunąłeś całość izolacji. Usunięcie izolacji możesz również sprawdzić za pomocą multymetru — powinien on wskazywać rezystancję mniejszą od  $100 \Omega$ .

Do obu końców przewodu na szpuli przyłącz diodę LED, a następnie przesuwaj magnes wewnętrz szpuli, aby wygenerować napięcie (patrz rysunek 5.21).



Rysunek 5.20. Szpula drutu nawojowego umożliwiająca dostęp do wewnętrznego końca drutu (zakreślono go kolorem czerwonym)



Rysunek 5.21. Mały generator prądu gotowy do pracy

Jeżeli szpula jest zbyt mała lub niedostępny jest drugi koniec drutu, to musisz przewinąć drut na inną szpulę. Jeżeli drut ma długość 150 m, to będziesz musiał nawinąć około 2000 zwojów. Wykonując cztery zwoje w ciągu sekundy, poświecisz na to 500 sekund, czyli mniej niż dziesięć minut. Czynność ta nie zajmuje dużo czasu.

Na rysunku 5.22 przedstawiono nieco większe urządzenie, które zbudowałem w celach demonstracyjnych. Drut nawojowy został unieruchomiony za pomocą kleju epoksydowego, a rura została przyklejona do plastikowej bryły unieruchamiającej konstrukcję. Magnes neodymowy przyczepiony do stalowej śruby wkręcanej w aluminiowy drut wiadoczyń na fotografii.



Rysunek 5.22. Demonstracja urządzenia generującego jasne światło

Do cewki podłączyłem dwie diody LED generujące światło o dużej intensywności. Diody podłączone do cewki charakteryzują się przeciwną polaryzacją. Magnes poruszany wewnątrz cewki powoduje wygenerowanie prądu pozwalającego diodom LED na oświetlenie całego pokoju. Przeciwna polaryzacja diod sprawia, że widoczne jest to, iż prąd płynie w jednym kierunku, gdy magnes przemieszcza się ku górze, a gdy magnes przemieszcza się w dół, to kierunek przepływu prądu jest przeciwny (patrz rysunek 5.23).

## UWAGA! Magnesy neodymowe są niebezpieczne!

Zachowaj ostrożność, pracując z magnesami neodymowymi.

**Magnesy neodymowe są kruche** i w chwili uderzenia spowodowanego przyciąganiem przez inny metal lub magnes mogą rozbić się na kawałki. Z tego powodu wielu producentów zaleca noszenie okularów ochronnych.



Rysunek 5.23. Działający generator prądu zasilający diody LED

Ponieważ siła oddziaływania między magnesem a innym obiektem rośnie wraz z zmniejszaniem się odległości między nimi, zetknięcie obu następuje gwałtownie i z dużą siłą. Trzymając magnes w ręku, bardzo łatwo można doprowadzić do przycięcia skóry i powstania siniaka lub otwartej rany.

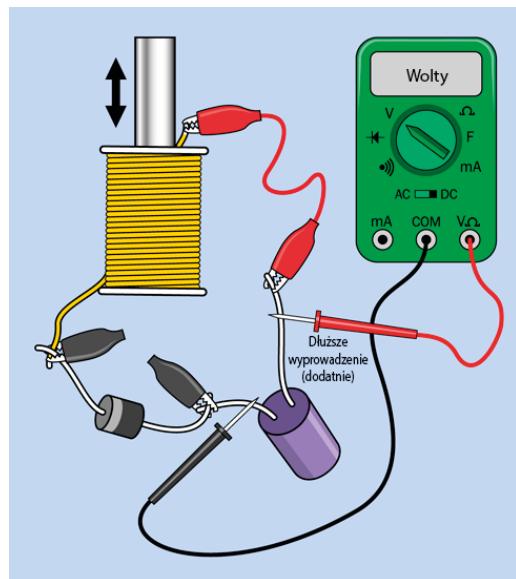
**Magnesy nigdy nie śpią.** Zajmując się elektroniką zwykle zakładamy, że jeżeli coś jest wyłączone, to jest to bezpieczne. Nie dotyczy to magnesów. Magnesy zawsze „przyglądają się” otoczeniu i w razie wykrycia magnetycznego obiektu w okolicy, będą natychmiast dążyć do zbliżenia się do niego. Wynik takiego działania może nie być przyjemny szczególnie, jeśli przyciągany przedmiot ma ostre krawędzie, a na torze jego lotu znajdzie się Twoja dłoń. Używając magnesu, zadbaj o stworzenie pustej przestrzeni z pasywnym magnetycznie podłożem. Zwróć uwagę na metalowe przedmioty znajdujące się pod miejscem pracy. Mój magnes „wykrył” metalową śrubę znajdującą się pod blatem kuchennym i niespodziewanie wbił się w niego.

Trudno traktować te ostrzeżenia poważnie dopóki samemu się o tym nie przekona. Zachowaj ostrożność podczas pracy z magnesami neodymowymi.

Pamiętaj, że **magnesy mogą przekształcać inne obiekty w magnesy**. Stalowe lub żelazne obiekty poddane działaniu pola magnetycznego mają tendencję do namagnesowywania się. Uważaj, aby nie namagnesować swojego zegarka! Nie używaj magnesów w pobliżu smartfonu, komputera, dysków twardych, kart kredytowych z paskami magnetycznymi, wszelkiego typu taśm audio i wideo oraz innych nośników danych. Trzymaj je również z dala od ekranów telewizyjnych i monitorów komputerowych (szczególnie w przypadku urządzeń z kineskopem). Silne magnesy mogą wpływać na pracę rozruszników serca!

## Ładowanie kondensatora

Oto kolejna rzecz, której możesz spróbować. Odłącz diodę LED i w jej miejsce wstaw kondensator elektrolityczny  $1000\ \mu F$  połączony szeregowo z diodą sygnalową 1N4001 (patrz rysunek 5.24). Do kondensatora podłącz końcówki pomiarowe miernika i włacz pomiar napięcia prądu stałego.



Rysunek 5.24. Dioda pozwala na magazynowanie prądu wygenerowanego przez cewkę w kondensatorze

Jeżeli Twój miernik posiada ręczną nastawę zakresów, ustaw go na 20 V DC. Dodatnia (nieoznaczona) strona diody powinna być podłączona do ujemnej (oznaczonej) strony kondensatora. W ten sposób dodatnie napięcie będzie przedostawać się przez kondensator, a następnie diodę.

Poruszaj energicznie magnesem we wnętrzu zwoju. Miernik powinien wykazać, że kondensator akumuluje ładunek. Kiedy przestaniesz poruszać magnesem, napięcie zacznie stopniowo spadać, najprawdopodobniej ze względu na rozładowywanie się kondensatora poprzez rezystancję wewnętrzną Twojego miernika.

Cały eksperyment wygląda na bardzo prosty, ale ma duże znaczenie. Pamiętaj, że kiedy wpuchasz magnes do wnętrza zwoju, prąd generowany jest w jednym kierunku, a kiedy go wyciągasz, indukowany prąd ma kierunek przeciwny. Generujesz prąd zmienny.

Dioda pozwala, aby prąd płynął wyłącznie w jednym kierunku przez obwód. Blokuje przepływ w kierunku przeciwnym i dzięki temu kondensator akumuluje ładunek. Jeśli doszedłeś do wniosku, że diody mogą być użyte do przekształcania prądu zmiennego w stały, masz absolutną rację. Mówimy, że dioda „prostuje” prąd zmienny.

## Następny eksperyment: Audio

Eksperyment numer 25 pokazał, że napięcie może posłużyć do stworzenia magnesu, natomiast eksperyment numer 26, że magnes może wytworzyć napięcie. Teraz możemy zastosować te koncepcje do wykrycia oraz wyprodukowania dźwięku.

## Eksperyment 27: Destrukcja głośnika

Zaobserwowałeś już, że prąd płynący przez cewkę może wytworzyć siłę magnetyczną zdolną do przyciągania małych metalowych przedmiotów. Co się stanie, jeżeli cewka będzie bardzo lekka, a przedmiot o wiele cięższy? W takim przypadku cewka może

zostać przyciągnięta do obiektu. Głośnik działa właśnie na takiej zasadzie.

Nie ma lepszego sposobu na zrozumienie sposobu pracy głośnika niż rozebranie go. Być może wolałbyś nie wydawać kilkunastu złotych na ten destrukcyjny eksperyment naukowy. W takim przypadku możesz poszukać używanego, uszkodzonego sprzętu audio i wymontować z niego głośnik. Możesz również poszukać zdjęć przedstawiających proces demontażu elementów składowych głośnika krok po kroku.

### Potrzebne będą:

- możliwe najtańszy głośnik o średnicy przy najmniej 5 cm, liczba: 1,
- nóż wielofunkcyjny, liczba: 1.

### Procedura

Na rysunku 5.25 pokazano mały głośnik widziany od tyłu. Magnes jest ukryty w zamkniętej sekcji mającej kształt cylindra.



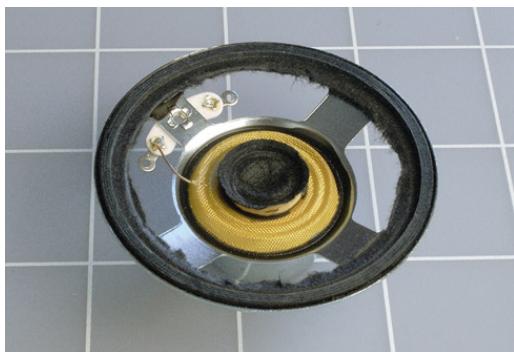
Rysunek 5.25. Tył małego głośnika

Ustaw głośnik tak, jak pokazuje to rysunek 5.26, i zrób cięcie ostrym nożem lub skalpelem wokół jego brzegu. Następnie zrób drugie cięcie wokół środka i usuń powstały w ten sposób czarny papierowy pierścieniu.

Na rysunku 5.27 pokazano głośnik po usunięciu membrany. Powinieneś widzieć teraz przed sobą giętki resor głośnika, wykonany zwykle w formie żółtej plecionki. Resor pozwala na ruch membrany



Rysunek 5.26. Głośnik przed rozpoczęciem kreatywnej destrukcji



Rysunek 5.27. Głośnik po usunięciu membrany

do tyłu i w bok jednocześnie uniemożliwiając ruch membrany na boki.

Jeśli zrobisz w resorze wycięcie, to powinieneś być w stanie wyjąć ukryty papierowy cylinder z cewką nawiniętą na jego zewnętrznej stronie. Odwrócony cylinder z cewką (w celu zwiększenia czytelności rysunku) przedstawiłem na rysunku 5.28.

Dwa końce miedzianej cewki otrzymują zasilanie przez dwie końcówki umieszczone na spodzie głośnika. Cewka umieszczona w zagłębieniu wykonanym w magnesie reaguje na zmieniające się napięcie, wywierając siłę skierowaną ku górze lub ku dołowi. To powoduje wibrowanie membrany i wytwarzanie przez głośnik fal dźwiękowych.

W taki sam sposób działają duże głośniki umieszczone w Twojej wieży audio. Mają one jedynie większe magnesy i cewki, które są w stanie znieść większą moc (zwykle rzędu 100 W).



Rysunek 5.28. Miedziana cewka jest zwykle schowana wewnętrz zagłębieniu wykonanego w magnesie

Za każdym razem, kiedy dostanę się do wnętrza tak małego komponentu, zadziwia mnie jego precyzja i delikatność części składowych, a także fakt, że są one produkowane na masową skalę przy bardzo niskim koszcie. Wyobrażam sobie, jak zdziwieni byliby pionierzy teorii elektryczności (tacy jak Faraday i Henry), widząc części i urządzenia, które dla nas są czymś oczywistym. Henry spędzał dni, a nawet tygodnie, nawijając ręcznie cewki, aby wytworzyć elektromagnesy o wiele mniej wydajne niż mały, tani głośnik z naszych czasów.

## TEORIA: Początki głośników

Na początku tego eksperymentu napisałem, że cewka będzie poruszać się, jeżeli wytwarzane przez nią pole magnetyczne będzie wchodziło w interakcję z ciężkim lub nieruchomym obiektem. Jeżeli obiektem takim jest magnes stały, to interakcja ta będzie jeszcze silniejsza — doprowadzi do bardziej widocznego ruchu. Działanie głośnika opiera się właśnie na takiej koncepcji.

Koncepcja ta została ogłoszona w roku 1874 przez pomysłowego niemieckiego wynalazcę Ernsta Siemensa. (On również jako pierwszy zbudował w roku 1880 pierwszą na świecie windę zasilaną elektrycznie). Obecnie Siemens AG jest jedną z największych na świecie firm elektronicznych.

Kiedy Alexander Graham Bell opatentował telefon w roku 1876, wykorzystał koncepcję Siemensa do

wygenerowania słyszalnych częstotliwości w słuchawce przykładanej do ucha. Od tego momentu urządzenie służące do odtwarzania dźwięków zaczęły się rozwijać pod względem jakości i mocy. W roku 1925 Chester Rice i Edward Kellogg z General Electric opublikowali pracę opisującą podstawowe zasady projektowania głośników, które wykorzystywane są do dziś.

Pod adresem (Radiola Guy) <http://www.radiolaguy.com>Showcase/Speakers/speakers.htm> znajdziesz zdjęcia pierwszych, bardzo ładnych głośników, wyposażonych w tuby w celu poprawienia efektywności (patrz rysunek 5.29). Wydajność głośników stopniowo traciła na znaczeniu wraz z powstawaniem coraz lepszych wzmacniaczy, natomiast istotniejsze stawały się jakość generowanego dźwięku i niskie koszty produkcji. Współczesne głośniki przekształcają zaledwie 1% energii elektrycznej w fale dźwiękowe.

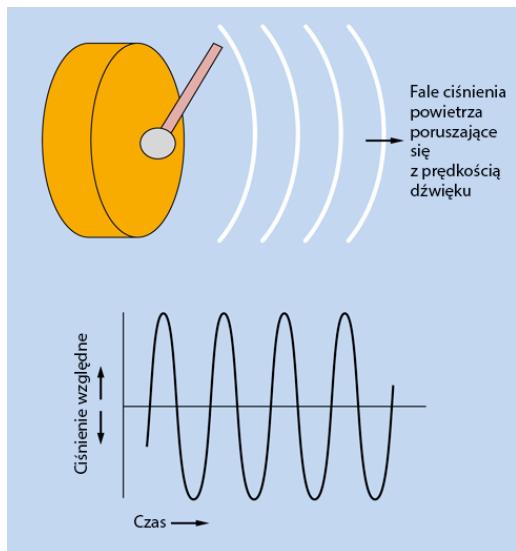


Rysunek 5.29. Ten piękny głośnik Amplion AR-114x pozwala dostrzec wysiłki pierwszych projektantów mające na celu zmaksymalizowanie siły dźwięku w czasach, kiedy moce dostarczane przez wzmacniacze były bardzo ograniczone. Źródło: „Sonny, the RadiolaGuy”. Na stronie radiolaguy.com znaleźć można wiele zdjęć starych głośników. Niektóre z nich są na sprzedaż

## TEORIA: Dźwięk, prąd i znów dźwięk

Nadeszła pora, aby wyjaśnić, w jaki sposób dźwięk jest przekształcany na prąd, a następnie z powrotem na dźwięk.

Założymy, że ktoś uderza patykiem w gong (patrz rysunek 5.30). Płaska powierzchnia gongu wibruje, przemieszczając się do środka oraz na zewnątrz, i w ten sposób wytwarza fale dźwiękowe. Fala dźwiękowa to nic innego jak przemieszczające się wysokie ciśnienie powietrza, za którym następuje ciśnienie o niższej wartości. Długość fali dźwiękowej odpowiada dystansowi (zwykle w przedziale od milimetrów do metrów) pomiędzy pierwszym i kolejnym szczytem ciśnienia.

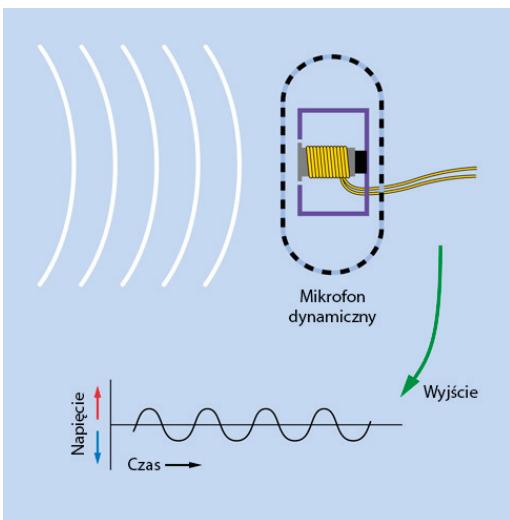


Rysunek 5.30. Kiedy palka uderza w gong, jego powierzchnia zaczyna wibrować, wytwarzając fale zmieniającego się ciśnienia, które przemieszczają się w powietrzu

Częstotliwość dźwięku to liczba tych fal występujących w ciągu sekundy, wyrażana zazwyczaj w hercach.

Założymy, że na drodze zmian ciśnienia umieścimy małą, bardzo czulą plastikową membranę. Plastik zacznie drgać w odpowiedzi na pojawiające się fale, podobnie do liści drzew poruszających się pod wpływem wiatru. Założymy, że do tylnej ściany

membrany przytrzymujemy cewkę wykonaną z bardzo cienkiego drutu, tak aby poruszała się wraz z nią. Wewnątrz cewki umieścimy jeszcze magnes. Takie połączenie przypomina malutki, bardzo czuły głośnik, z tą różnicą, że tutaj to nie prąd produkuje dźwięk, ale dźwięk wytwarza prąd. Fale ciśnienia powietrza sprawiają, że membrana porusza się wzduł osi magnesu, a zmieniające się pole magnetyczne wytwarza w przewodzie wahania napięcia. Konцепcję tę przedstawiono na rysunku 5.31.

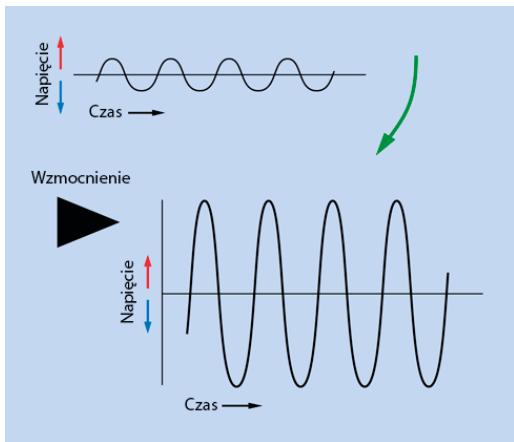


Rysunek 5.31. Fale ciśnienia powodują wibrowanie umieszczonej w środku membrany. Ta posiada przytwierdzoną do siebie cewkę zamontowaną w ręce wokół magnesu. Ruch cewki prowadzi do indukcji małych prądów

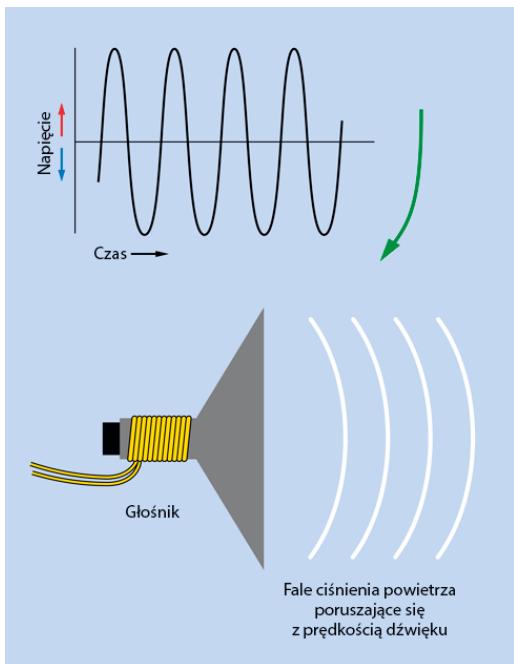
Jest to tzw. mikrofon **dynamiczny**. Istnieją również inne rozwiązania mikrofonów, ale ten jest najprostszy do zrozumienia. Wytwarzane napięcie jest bardzo małe, ale można je wzmacnić przy pomocy jednego lub więcej tranzystorów, co zasugerowano na rysunku 5.32.

Taki sygnał możemy wprowadzić do cewki w rdzeniu głośnika i w ten sposób odtworzyć fale zmieniające się ciśnienia w powietrzu (patrz rysunek 5.33).

Chcielibyśmy również móc nagrać dźwięk gdzieś po drodze, a następnie odtworzyć go, ale w obu przypadkach obowiązują nadal te same zasady. Najtrudniejszą rzeczą pozostaje zaprojektowanie mikrofonu,



**Rysunek 5.32.** Bardzo słaby sygnał z mikrofonu przechodzi przez wzmacniacz, który podnosi jego amplitudę, ale nie zmienia częstotliwości i kształtu fal



**Rysunek 5.33.** Wzmocniony sygnał elektryczny przechodzi przez cewkę w rdzeniu głośnika. Pole magnetyczne wytworzone przez przepływający prąd wprowadza konus w wibracje, a te kolejne prowadzą do powstania oryginalnych fal dźwiękowych

wzmacniacza oraz głośnika w taki sposób, aby mogły one **prawidłowo** reprezentować fale dźwiękowe na każdym kroku. Jest to spore wyzwanie, dlatego też dokładna reprodukcja dźwięków jest nie lada sztuką.

## Eksperyment 28: Zabawa z cewką

Już wiesz, że prąd płynący przez cewkę tworzy pole magnetyczne. Co dzieje się z polem, gdy cewka zostanie odłączona od prądu?

Energia pola jest przetwarzana z powrotem na krótki impuls elektryczny. Dochodzi do tego, gdy pole magnetyczne **zanika**.

Wykonując ten eksperyment zaobserwujesz właśnie to zjawisko.

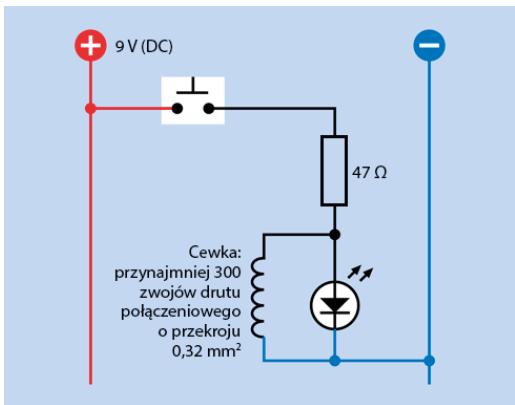
### Potrzebne będą:

- płytka prototypowa, drut połączeniowy, szczypce do cięcia drutu, przyrząd do zdejmowania izolacji z drutu, multymetr,
- niskoprądowe diody LED, liczba: 2,
- szpula zwykłego drutu o przekroju 0,32 mm<sup>2</sup> (preferowany jest drut o grubości 0,13 mm<sup>2</sup>) o długości 30 metrów, liczba: 1,
- rezystor 47 Ω, liczba 1,
- kondensator elektrolityczny 1000 µF lub większy, liczba: 1,
- mikroprzełącznik SPST, liczba: 1.

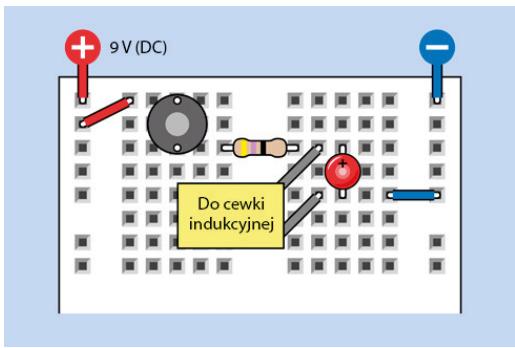
### Procedura

Przyjrzyj się schematowi ideowemu na rysunku 5.34. Schemat wykonawczy tego obwodu przedstawiono na rysunku 5.35. Cewkę możesz wykonać ze szpuli drutu o przekroju 0,32 mm<sup>2</sup> i długości 30 m. Cewkę możesz również stworzyć, korzystając z 60 m drutu, którego używaliśmy podczas wykonywania eksperymentu numer 26. Jeżeli posiadasz szpulę drutu nawojowego, to najlepiej, abyś cewkę wykonał z takiego właśnie drutu.

Początkowo układ ten może wyglądać na pozba-wiony sensu. Rezystor 47 Ω charakteryzuje się zbyt małym oporem elektrycznym, aby chronić diodę LED, ale dlaczego prąd miałby popływać przez diodę, gdy może ją ominąć przez cewkę?



**Rysunek 5.34.** Prosty obwód demonstrujący indukcyjność własną cewki



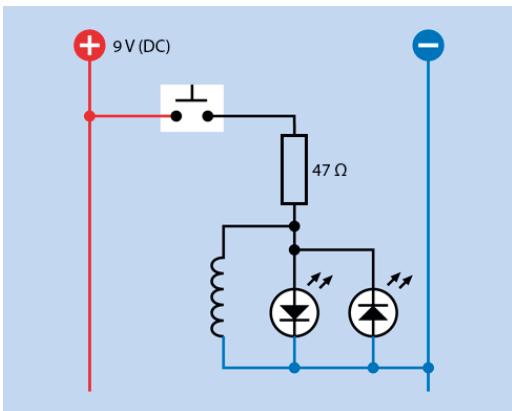
**Rysunek 5.35.** Układ przeznaczony do demonstracji indukcyjności własnej cewki wykonany na płytce prototypowej

Sprawdź działanie obwodu. Układ ten może Cię zaskoczyć. Za każdym razem, gdy wciskasz przycisk, dioda LED przez chwilę emitemuje światło. Czy wiesz dlaczego?

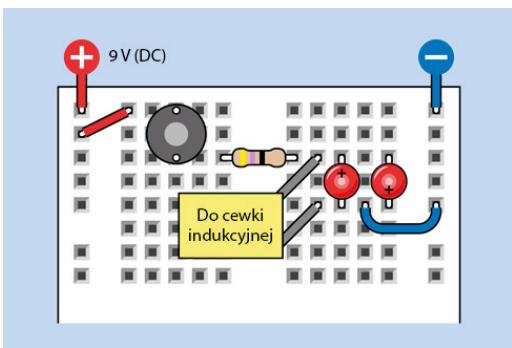
Do obwodu podłącz drugą diodę LED, korzystając z rysunków 5.36 i 5.37. Teraz po naciśnięciu przycisku pierwsza z diod powinna błysnąć. Po puszczeniu przycisku błyśnie druga z diod.

## Zanikające pole

Co się dzieje podczas eksperymentu? Cewka na początku potrzebuje krótkiej chwili na wytworzenie pola magnetycznego. Trwa to krótko, a w tym czasie cewka blokuje przepływ części prądu. W związku z tym część prądu przepływa przez pierwszą diodę



**Rysunek 5.36.** Jedna dioda błyska, gdy powstaje pole magnetyczne; druga dioda błyska, gdy pole magnetyczne zanika



**Rysunek 5.37.** Obwód demonstracyjny zawierający dwie diody LED wykonany na płytce prototypowej

LED. Gdy pole magnetyczne zostanie wyтворzone, prąd płynie przez cewkę w sposób standardowy.

Taka odpowiedź cewki określana jest mianem **samo-indukcji**. Czasami zjawisko to jest określane mianem **rezystancji indukcyjnej** lub po prostu **reaktancji**, ale w tej książce będę korzystał z terminu „samo-indukcja”.

Kiedy odłączasz zasilanie, pole magnetyczne zanika, a energia pola jest zamieniana z powrotem na energię elektryczną — powstaje krótki impuls. Ta reszta prądu powoduje błąsk drugiej diody LED, gdy puszczasz przycisk.

Oczywiście cewki o różnych rozmiarach generują różną ilość energii.

Podczas pracy nad eksperymentem numer 15 polecałem podłączenie diody do złącz cyfrowej przekaźnika — miała ona absorbować udar generowany podczas włączania i wyłączania cewki. Teraz sam widzisz tę koncepcję w praktyce.

## Rezystory, kondensatory i cewki

Trzy podstawowe, pasywne komponenty elektroniczne to rezystory, kondensatory i cewki. Porównajmy ich właściwości.

**Rezystor** ogranicza przepływ prądu i powoduje spadek napięcia.

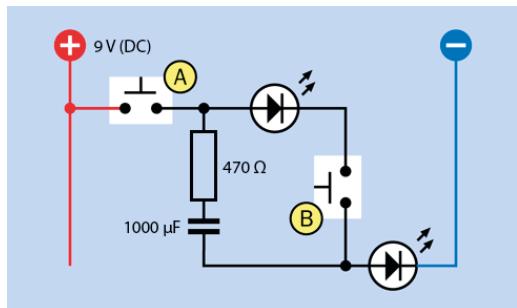
**Kondensator** początkowo pozwala na przepływ impulsu prądu, ale blokuje przepływ prądu stałego

**Cewka** (nazywana również **wzbudnikiem**) początkowo blokuje przepływ prądu stałego, a następnie pozwala na jego przepływ.

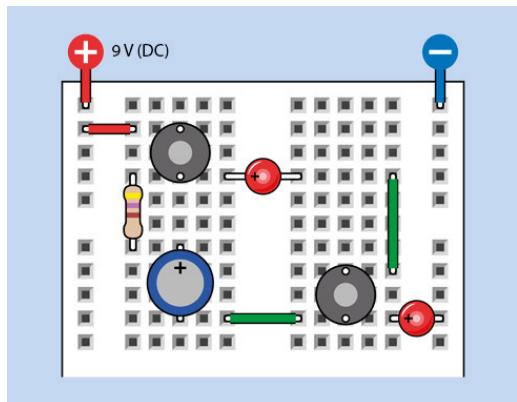
W zaprezentowanym obwodzie nie zastosowałem rezystorów charakteryzujących się większym oporem, ponieważ wiedziałem, że cewka spowoduje powstanie bardzo krótkiego impulsu. Zastosowanie standardowej rezystancji pokroju  $330\ \Omega$  lub  $470\ \Omega$  spowodowałoby, że miganie diod LED byłoby trudniejsze do zauważenia.

Nie uruchamiaj obwodu bez cewki. Grozi to błyskawicznym spaleniem diod LED. Na początku mogło Ci się wydawać, że cewka nie wpływa na pracę obwodu, ale jak widzisz, jest ona bardzo ważnym elementem.

Na koniec przeprowadzimy jeszcze jedną odmianę tego eksperymentu, która pozwoli sprawdzić, jak dobrze zrozumiałeś podstawowe koncepcje dotyczące elektryczności. Wykonaj obwód przedstawiony na rysunkach 5.38 i 5.39. Odłącz cewkę i zastąp ją kondensatorem  $1000\ \mu F$ . Przy podłączaniu zwróć uwagę na polaryzację — dodatnie złącze kondensatora powinno być zwrócone ku górze. Do obwodu podłącz również rezystor  $470\ \mu m$ , ponieważ w obwodzie nie będzie cewki ograniczającej dopływ prądu do diody.



Rysunek 5.38. Praca kondensatora przypomina odwrotność pracy cewki



Rysunek 5.39. Schemat wykonawczy obwodu z kondensatorem

Na początek wciśnij przycisk B i przytrzymaj go przez sekundę lub dwie, aby rozładować kondensator. Jak myślisz, co się stanie, gdy wciśniesz przycisk A? Spróbuj zgadnąć. Przypomnij sobie, że kondensator umożliwia przepływ początkowego impulsu prądowego. W związku z tym dolna dioda LED zapali się, a następnie będzie stopniowo gasnąć — kondensator gromadzi dodatni ładunek na swojej górnej okładzinie, a ładunek ujemny na swojej dolnej okładzinie. Gromadzenie ładunku powoduje spadek różnicy potencjału pomiędzy złączami diody LED do zera.

Kondensator jest teraz naładowany. Wciśnij przycisk znajdujący się po prawej stronie, a góra dioda LED rozładowuje go. Jak widzisz, jest to odpowiednik eksperymentu przedstawionego na rysunku 5.37, ale zamiast cewki zastosowano w nim kondensator.

Kondensatory i cewki gromadzą energię. Zjawisko to jest bardziej widoczne w przypadku kondensatora, ponieważ kondensator o dużej pojemności gromadzi więcej ładunku od cewki charakteryzującej się dużą indukcyjnością.

## TEORIA: Koncepcje dotyczące prądu zmiennego

Oto prosty eksperyment myślowy. Założmy, że skonfigurujesz układ czasowy 555 tak, aby wysyłał serię impulsów poprzez cewkę. Jest to prymitywna forma generowania prądu przemiennego.

Czy samoindukcja cewki wpłynie na ciąg impulsów? Zależy to od czasu trwania każdego z impulsów, a także od indukcyjności samej cewki. Jeżeli częstotliwość impulsów będzie odpowiednio wysoka, samoindukcja cewki będzie trwała wystarczająco długo, aby je blokować. Cewka wróci do stanu początkowego w czasie pozwalającym na zablokowanie kolejnego impulsu. W połączeniu z rezystorem (lub samą rezystancją głośnika) cewka może tłumić wybrane częstotliwości, przepuszczając pozostałą część pasma.

Jeżeli masz wieżę stereo, do której podłączone są kolumny wyposażone w mały głośnik przeznaczony do reprodукcji wysokich częstotliwości i w duży głośnik przeznaczony do reprodукcji niższych częstotliwości, to z pewnością w kolumnach takich znajdziesz cewkę blokującą dostęp wysokich częstotliwości do dużego głośnika.

Co się stanie, gdy zastąpimy cewkę kondensatorem? Jeśli impulsy będą zbyt długie w porównaniu do stałej czasowej kondensatora, ten będzie je blokował, ponieważ będzie miał wystarczająco dużo czasu, aby w pełni się naładować. Jeśli jednak impulsy będą krótsze, kondensator będzie się ładował i rozładowywał w tempie zgodnym z nadchodzącymi impulsami — czyli będzie je przepuszczał.

Nie mam miejsca w tej książce, aby dogłębnie wyjaśnić zjawisko prądu zmiennego. Jest to bardzo szerokie i skomplikowane zagadnienie elektryczności. Prąd zmienny potrafi zachowywać się w sposób

trudny do opisania i jednocześnie zadziwiający, a opisujące go wzory bywają bardzo skomplikowane (łącznie z równaniami różniczkowymi i liczbami zespolonymi). Czym jest liczba zespolona składająca się z części rzeczywistej i urojonej? Najprostszym przykładem liczby urojonej jest pierwiastek kwadratowy liczby  $-1$ . Jak taka liczba może istnieć? Nie może, a więc taki element liczby zespolonej określamy mianem urojonego. Pomimo tego liczby zespolone są stosowane w teorii obwodów. Jeżeli zagadnienie to wydaje Ci się interesujące, to się z nim zapoznaj.

Nie opisałem jeszcze wszystkich zagadnień związanych z cewkami. W kolejnym eksperymencie zadeemonstruję działanie opisanych wcześniej efektów audio.

## Eksperyment 29: Filtrowanie częstotliwości

W tym eksperymencie zobaczysz, w jaki sposób cewki i kondensatory mogą zostać użyte do filtrowania styczalnych częstotliwości.

### Potrzebne będą:

- płytka prototypowa, drut połączeniowy, szczypce do cięcia drutu, przyrząd do zdejmowania izolacji z drutu, multimeter z przewodami probierczymi,
- źródło prądu o napięciu 9 V (bateria lub zasilacz),
- głośnik o impedancji  $8 \Omega$ , o średnicy minimum 10 cm, liczba: 1,
- układ wzmacniacza audio LM386, liczba: 1,
- drut połączeniowy o przekroju  $0,32 \text{ mm}^2$  i długości 30 m,
- mały plastikowy pojemnik, który ma pełnić funkcję obudowy głośnika, liczba: 1,
- timer 555, liczba: 1,
- rezystory  $10 \text{ k}\Omega$ , liczba: 2,

- kondensatory:  $0,01 \mu\text{F}$  (liczba: 3),  $2,2 \mu\text{F}$  (liczba: 1),  $100 \mu\text{F}$  (liczba: 1),  $220 \mu\text{F}$  (liczba: 3),
- potencjometry dinstrojczce:  $10 \text{k}\Omega$  (liczba: 1),  $1 \text{M}\Omega$  (liczba: 1),
- przełącznik ślizgowy SPDT, liczba: 1,
- mikroprzełącznik, liczba 1.

## Obudowa głośnika

Głośnik polecany przeze mnie do wykonania poprzedniego projektu nadaje się tylko do wygenerowania kilku brzęknięć, ale nie da się za jego pomocą odtworzyć niskich tonów. Chcemy usłyszeć wpływ podzespołów na dźwięk, a więc potrzebujemy większego głośnika. Przykład adekwatnego głośnika pokazano na rysunku 5.40. Jego membrana charakteryzuje się średnicą 12 cm.



Rysunek 5.40. Głośnik odpowiedni do wykonania projektu

Biorąc pod uwagę przedstawioną wcześniej teorię, należy wytłumić fale dźwiękowe o przeciwniej fazie generowane z tyłu głośnika — musisz wykonać obudowę. Ponadto obudowa głośnika będzie wzmacniać falę dźwiękową generowaną przez głośnik, tak jak pudło rezonansowe gitary wzmacnia drgania strun.

Jeżeli dysponujesz dużą ilością wolnego czasu, to możesz wykonać obudowę ze sklejki. Najprostszym rozwiązaniem jest wykonanie obudowy z plastikowego pojemnika zatrzaszającą się pokrywą. Na

rysunku 5.41 pokazano głośnik przykręcany do spodu plastikowego pojemnika. Wywiercenie schlundnych dziur w cienkim plastiku jest dość trudnym zadaniem, a ja nie starałem się wykonać ich nazbyt dokładnie.



Rysunek 5.41. Rezonująca obudowa jest konieczna, aby usłyszeć bas (dźwięki o niskich częstotliwościach) dobiegający z głośnika; w celach demonstracyjnych obudowę możesz zrobić z plastikowego pudełka

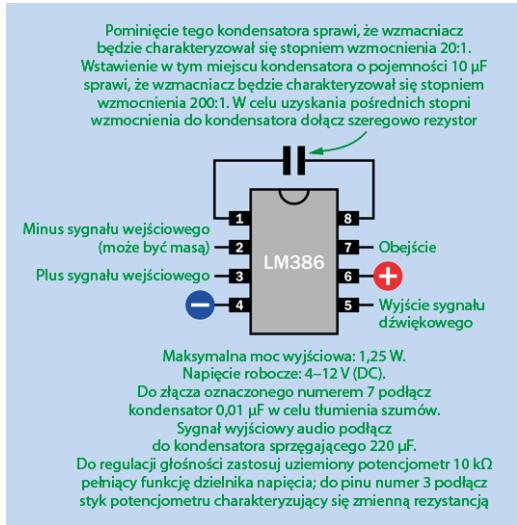
W celu poprawy właściwości akustycznych plastikowego pudełka możesz wyścielić je miękką, ciężką tkaniną. Do absorpcji części drgań wystarczą fragmenty ręcznika lub skarpetki.

## Wzmacniacz w formie pojedynczego czipu

W latach pięćdziesiątych ubiegłego wieku do zbudowania wzmacniacza dźwięku potrzebne były lampy próżniowe, transformatory i inne energochłonne części. Teraz to samo zadanie zrealizuje kość kosztującą kilka złotych, jeśli tylko podłączysz do niej kilka kondensatorów oraz potencjometr regulujący siłę dźwięku.

Jednym z najprostszych, najtańszych i najłatwiejszych w użyciu układów tego typu jest LM386. Jest on w ofercie wielu różnych producentów, którzy swoje wersje tego układu oznaczają dodatkowymi literami lub nazwami. Układy LM386N-1, LM386N i LM386M-1 są praktycznie identyczne z punktu widzenia naszego projektu. Musisz kupić układ

przeznaczony do montażu przeplatanego, a nie powierzchniowego. Na rysunku 5.42 pokazano konfigurację złączy tego układu.

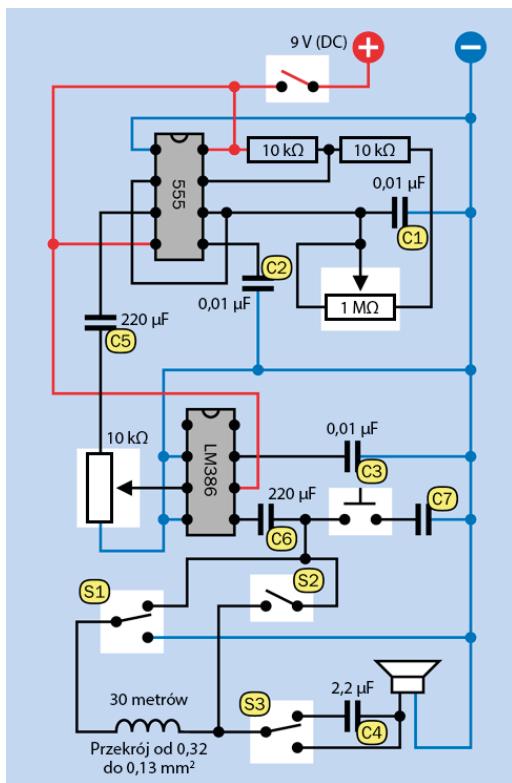


Rysunek 5.42. Konfiguracja złączy układu wzmacniacza LM386

Zaprezentowany czip może być zasilany prądem stałym o napięciu od 4 do 12 V. Pomimo tego, że charakteryzuje się mocą zaledwie 1,25 W, będziesz zaskoczony, jak głośny dźwięk można odtworzyć za jego pomocą. Wzmacniacz charakteryzuje się nominalnym stopniem wzmacnienia na poziomie 20:1.

### Test 1-2-3

W celu sprawdzenia działania układu potrzebujemy źródła generującego sygnał o częstotliwościach pokrywających dużą część pasma słyszalnego. Źródło takiego sygnału można wykonać na bazie timera 555. Na rysunku 5.43 przedstawiono schemat obwodu, w którego górnej części znajduje się timer. Obwód ten generuje sygnał o częstotliwości od 70 Hz do 5 kHz w zależności od położenia potencjometru dostosowanego 1 M $\Omega$ . Niestety układ nie charakteryzuje się liniową odpowiedzią na operowanie potencjometrem — niewielki ruch potencjometru będzie miał o wiele większy wpływ na zmianę częstotliwości generowanego dźwięku przy wysokich częstotliwościach niż przy niskich częstotliwościach. Jednak układ ten doskonale



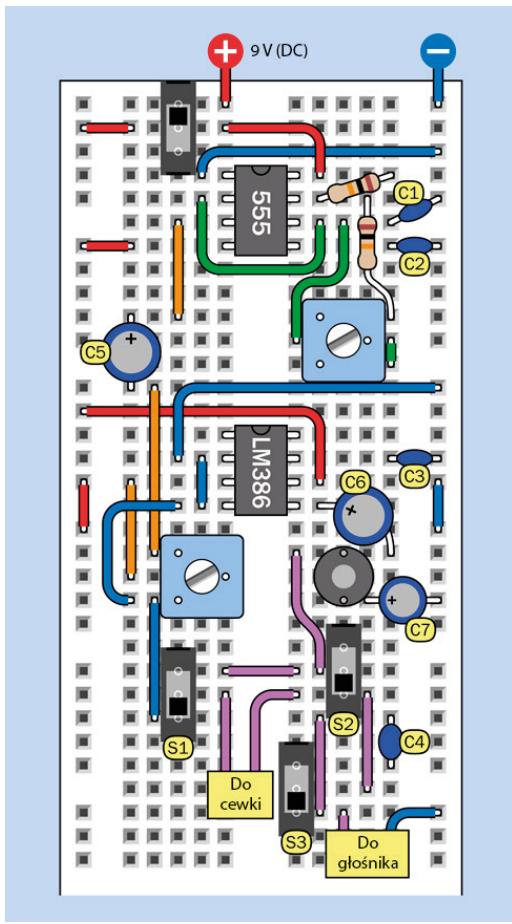
Rysunek 5.43. Podstawowy obwód przeznaczony do eksperymentów z sygnałami audio

nadaje się do celów demonstracyjnych, a niższe częstotliwości lepiej nadają się do prezentacji działania filtrów audio.

Schemat wykonawczy tego układu przedstawiono na rysunku 5.44, a na rysunku 5.45 przedstawiono wielkości charakteryzujące komponenty.

Pracując nad tym układem, pamiętaj o tym, że wzmacniacze są wrażliwe na wszelkie impulsy elektryczne (reagują również na te impulsy, których nie chcesz usłyszeć). Zaktłoczenia elektryczne będą powodować powstawanie szumów i brzęczeń. Problemy te będą wyraźniej słyszalne, jeżeli komponenty połączysz za pomocą zbyt długich przewodów.

Przewody połączeniowe zakończone małymi wtyczkami są niepożądane w obwodach wzmacniaczy audio, ponieważ działają one jak anteny radiowe. Opracowując schemat wykonawczy przedstawiony na rysunku 5.44, staraj się stosować jak

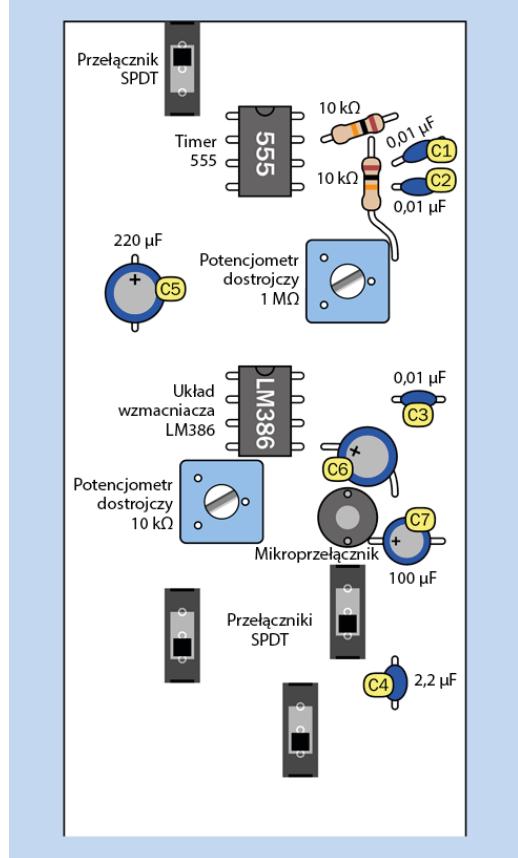


**Rysunek 5.44.** Układ przeznaczony do eksperymentów audio wykonany na płytce prototypowej

najkrótsze przewody. Radzę, abyś postępował tak samo. Długość przewodów nie ma znaczenia jedynie w obwodzie wyjściowym wzmacniacza (w obwodzie tym znajdują się głośnik oraz cewka).

Cewkę najlepiej jest wykonać z drutu nawojowego o przekroju  $0,32 \text{ mm}^2$ . Efekty działania cewki będą słyszalne, gdy wykonasz ją ze szpuli drutu o długości przynajmniej 30 m. Najlepiej, żebyś wykonał cewkę z drutu nawojowego o długości 60 m, którego zastosowanie sugerowałem w poprzednim eksperymencie.

Przed podłączeniem płytki z układem do zasilania przyjrzyj się przełącznikom znajdującym się w dolnej części płytka — oba z nich powinny znajdować się



**Rysunek 5.45.** Wielkości charakteryzujące komponenty obwodu przeznaczonego do eksperymentów audio

w „dolnym” położeniu (innymi słowy, przesuń te suwaki w stronę dolnej krawędzi płytki prototypowej). Oba potencjometry dinstrojczce ustaw w środku zakresu ich pracy.

Obwód możesz zasilać za pomocą zasilacza lub baterii 9 V bez potrzeby stosowania dodatkowych regulatorów napięcia. Jeżeli zdecydujesz się na korzystanie z zasilacza, to pamiętaj o tym, że może on powodować powstawanie brzęczenia dobiegającego z głośnika. Zakłócenia te możesz zmniejszyć, umieszczając kondensator 1000  $\mu\text{F}$  pomiędzy szybami zasilającymi płytka. Bateria może zasilać obwód przez około 2 – 3 godziny. Zastosowanie niektórych filtrów może doprowadzić do spadku napięcia zasilającego dostarczanego przez baterię, co wpływa na częstotliwość generowaną przez timer 555.

Powinieneś usłyszeć dźwięk generowany przez układ od razu po podłączeniu go do zasilania. Jeżeli nie słyszysz dźwięku po włączeniu obwodu, to procedurę wykrywania usterek powinieneś zacząć od odłączenia górnego złącza kondensatora  $220\text{ }\mu\text{F}$  od złącza wyjściowego timera 555 i podłączenia na bardzo krótki czas głośnika pomiędzy ten pin i zbiorczą szynę masy. Jeżeli nie słyszysz niczego, to znaczy, że timer 555 jest podłączony nieprawidłowo. Jeżeli usłyszysz dźwięk generowany przez timer, to znaczy, że nieprawidłowo podłączyłeś układ wzmacniacza LM386.

Upewnij się, że właściwe piny układu LM386 zostały podłączone do zasilania. Dodatnie i ujemne złącza zasilania tego układu znajdują się w innych miejscach niż złącza zasilające układów logicznych.

Nadal niczego nie słyszysz? Odłącz górny koniec krótkiego pionowego niebieskiego drutu znajdującego się nad potencjometrem dostrojczym  $10\text{ k}\Omega$ . Dotnij końcem tego drutu do palca, a z głośnika powinny dobiec świsty i brzęki — dotykasz do przewodu podłączonego do złącza wejściowego wzmacniacza (pin numer 4). **Wciąż** niczego nie słyszysz? Spróbuj włączyć głośnik pomiędzy ujemny biegun kondensatora C6 i dodatnią szyną zasilającą. Kondensator C6 jest kondensatorem sprzągającym podłączonym bezpośrednio do wyjścia układu LM386.

Jeżeli żadne z tych rozwiązań nie doprowadziło Cię do wykrycia źródła problemu, to spróbuj zmierzyć napięcia na różnych elementach obwodu za pomocą multimetru.

## Przygoda z dźwiękiem

Zakładam, że dysponujesz już działającym obwodem. Zanim przystąpimy do eksperymentów, wyjaśnię funkcję komponentów wchodzących w jego skład. Będę odwoływał się do etykiet widocznych na schemacie wykonawczym przedstawionym na rysunku 5.44.

Kondensator C1 oraz potencjometr dostrojczy  $1\text{ M}\Omega$  określają częstotliwość pracy timera. Jeżeli chciałbyś usłyszeć dźwięk o częstotliwości wyższej od

5 kHz, to kondensator C1 zastąp kondensatorem o pojemności  $0,0068\text{ }\mu\text{F}$  ( $6,8\text{ nF}$ ).

Kondensator C5 jest kondensatorem sprzągającym. Jego duża pojemność zapewnia to, że nie wpływa on na szerokie spektrum sygnałów. Potencjometr ten ma za zadanie blokować prąd staty wypływający z timera 555 (chcemy wzmacniać przemienny sygnał audio, a nie podstawowe napięcie).

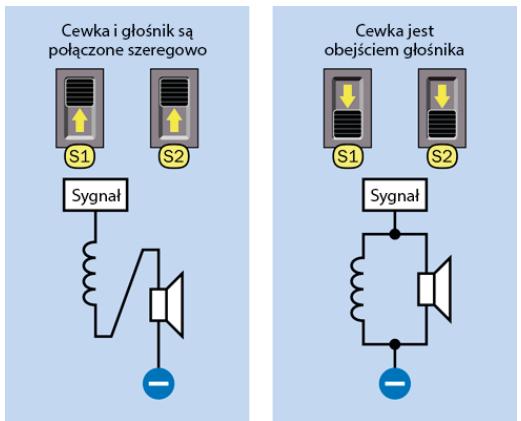
Kondensator C6 jest kolejnym kondensatorem sprzągającym. Chroni on głośnik przed prądem stałym pojawiającym się na wyjściu wzmacniacza.

Kondensator C7 łączy wyjście wzmacniacza z masą po przycięnięciu znajdującego się obok niego przyścisku. Pojemność kondensatora C7 została dobrana tak, aby odcinał on sygnały o wyższych częstotliwościach (kierował je do masy). Bez tych częstotliwości składowych dźwięk dobiegający z głośnika jest nieco bardziej stonowany.

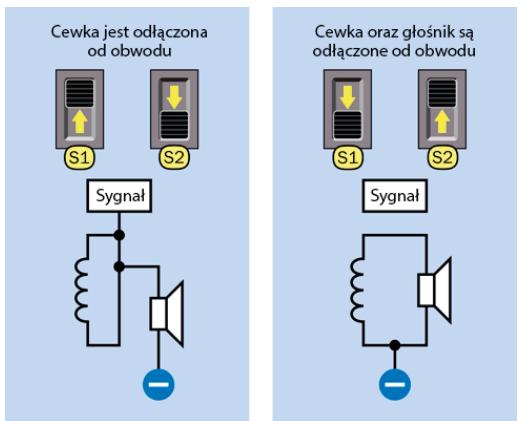
Kondensator C4 jest włączany w obwód za pomocą przełącznika ślizgowego S3. Gdy przełącznik ten jest ustawiony w górnej pozycji, dźwięk generowany przez timer 555 przechodzi przez kondensator C4, a następnie jest kierowany do wzmacniacza. Kondensator C4 charakteryzuje się niską pojemnością, a więc blokuje on niskie częstotliwości, sprawiając, że dźwięk wydaje się „cienki”.

Cewka jest podłączona do obwodu poprzez dość skomplikowane rozwiązanie. Chciałem, abyś usłyszał różnicę pomiędzy dźwiękiem generowanym przez głośnik, do którego cewka jest podłączona szeregowo, a dźwiękiem generowanym przez głośnik, do którego cewka jest podłączona równolegle. Możliwość takiego włączania cewki w obwód dają przełączniki S1 i S2 (patrz rysunki 5.46 i 5.47). O cewce podłączonej równolegle do głośnika można powiedzieć, że stanowi obejście głośnika.

Możesz sprawdzić działanie wielu ustawień filtrów — pamiętaj o tym, że eksperymentując z filtrami, możesz zmieniać częstotliwość oraz natężenie generowanego dźwięku. Możesz również sprawdzić efekt jednoczesnego zastosowania dwóch filtrów.



Rysunek 5.46. Przelączniki S1 i S2 (oznaczono je odpowiednimi etykietami na schemacie wykonawczym obwodu) pozwalają na połączenie głośnika z cewką w sposób szeregowy lub równoległy



Rysunek 5.47. Dwa pozostałe ustawienia przycisków S1 i S2 pozwalają na odłączenie cewki od wzmacniacza lub odłączenie głośnika od wzmacniacza

Np. wciśnij przycisk aktywujący kondensator C7, który odcina wysokie częstotliwości, a jednocześnie włącz do obwodu kondensator C4, który odcina niskie częstotliwości — w ten sposób otrzymałeś filtr **środkowoprzepustowy**, który przepuszcza tylko wąskie spektrum częstotliwości tonów średnich.

Potencjometr dostrojczy znajdujący się w dolnej lewej części płytki pełni funkcję regulatora głośności, ale w praktyce okaże się, że działa on prawidłowo tylko w środkowym zakresie pracy. Jeżeli ustawisz go w zbyt wysokim lub zbyt niskim położeniu, to obwód wzmacniacza wpadnie w oscylacje. Jest to

typowy problem spotykany w obwodach wzmacniaczy. Można go rozwiązać, dodając duże i małe kondensatory w różnych miejscach obwodu. Nie dodam ich, ponieważ potencjometr dostrojczy działa poprawnie w szerokim, środkowym zakresie pracy.

Kondensatory i cewki w tym obwodzie są elementami **pasywnymi**. Blokują sygnały o niektórych częstotliwościach, nie wzmacniając pozostałego pasma sygnału. Bardziej złożone systemy filtrów audio zawierają kondensatory, które są elementami **aktywnymi**, ale tego typu rozwiązania wymagają zastosowania większej liczby komponentów.

## TEORIA: Fale dźwiękowe

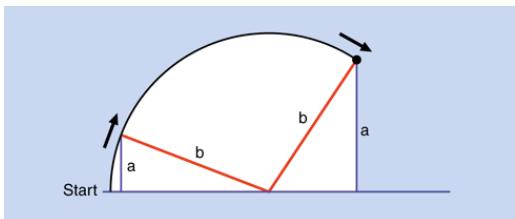
Dmuchając w wylot szklanej butelki, usłyszysz łagodny dźwięk. Jest on spowodowany przez powietrze wibrujące wewnętrz butelki. Gdybyś mógł zobaczyć fale zmieniającego się ciśnienia, okazałoby się, że mają one określona postać.

Na podobnej zasadzie po zwolnieniu czasu mógłbyś narysować graficzny wykres napięcia zmieniającego się w gniazdku elektrycznym. Wykres ten byłby podobny do wykresu fali dźwiękowej.

Podobny wykres otrzymałbyś kolejny raz, rysując wykres wychylenia wahadła poruszającego się w próżni w stosunku do upływającego czasu.

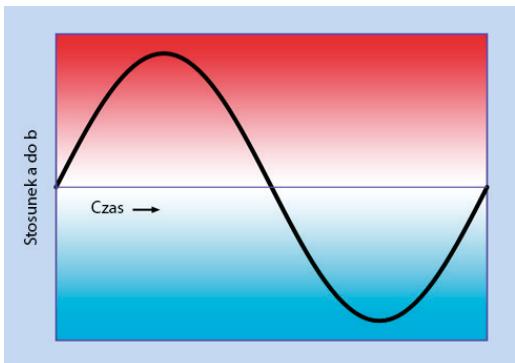
Każdy z tych wykresów przypominałby **falę sinusoidalną** — nazywaną tak ze względu na możliwość zbudowania jej na podstawie zasad trygonometrii. W trójkącie prostokątnym sinus kąta można określić, dzieląc długość boku naprzeciw tego kąta (przypustkowej) przez długość przeciwprostokątnej.

Dla uproszczenia proponuję, abyś wyobraził sobie piłkę umieszczoną na sznurku i obracającą się wokół pewnego środka (patrz rysunek 5.48). Pomijamy istnienie grawitacji, oporów powietrza i innych zmiennych, które mogłyby przeszkadzać ruchowi piłki. Zmierz pionową pozycję piłki i podziel ją przez długość sznurka w regularnych odstępach czasu, kiedy ta porusza się ze stałą prędkością wokół środka. Otrzymane wyniki przedstaw w formie wykresu,



**Rysunek 5.48.** Falę sinusoidalną można narysować, korzystając z prostej geometrii

a otrzymasz swoją falę sinusoidalną, podobną do tej przedstawionej na rysunku 5.49. Zakładamy, że kiedy piłka znajduje się poniżej horyzontalnej linii startowej, mierzony dystans jest ujemny i w związku z tym pozycja fali sinusoidalnej również znajduje się poniżej zera.



**Rysunek 5.49.** Sinusoidalna fala dźwiękowa jest generowana przez dowolny instrument korzystający z drgań kolumny powietrza (przykładem takiego instrumentu jest flet).

Brzmienie takiego instrumentu jest delikatne i harmoniczne

Dlaczego ten określony kształt fali pojawia się w taki lub innej formie w tylu różnych miejscach? Są ku temu powody wynikające z praw fizyki. Zgłębianie tego zagadnienia pozostawiam Tobie. Wracając do tematu odtwarzania fal dźwiękowych, powód do przywiązywania wagi do fali sinusoidalnej jest następujący:

- Statyczne ciśnienie otaczającego Cię powietrza określamy mianem **ciśnienia otoczenia**. Ciśnienie to wynika z przyciągania powietrza przez siłę grawitacji (tak, powietrze charakteryzuje się pewną masą).
- Prawie każdy dźwięk składa się z fali ciśnienia wyższego od ciśnienia otoczenia

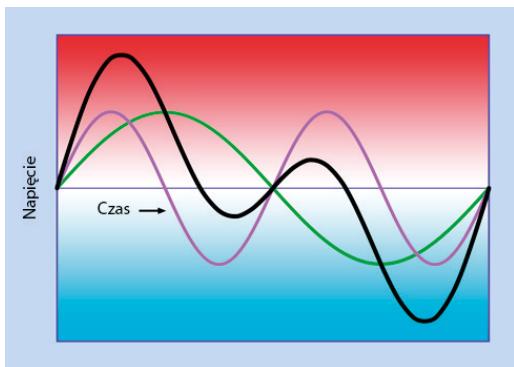
poprzedzającej falę ciśnienia niższego od ciśnienia otoczenia — przypomina to występowanie fal morskich.

- Fale wyższego i niższego ciśnienia można odwzorować za pomocą względnie wysokiego i względnie niskiego napięcia — to właśnie dlatego na rysunku 5.49 zastosowałem dla tła kolory niebieski i czerwony.
- Każdy dźwięk może zostać rozbity na kombinację fal sinusoidalnych o różnej częstotliwości i amplitudzie.

Lub odwracając sytuację:

- Składając razem kombinację odpowiednich sinusoidalnych fal dźwiękowych, można stworzyć dowolny dźwięk.

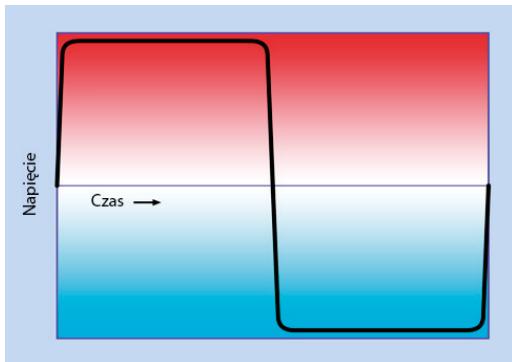
Założmy, że dwa dźwięki są odtwarzane jednocześnie. Rysunek 5.50 pokazuje je jako krzywe, jedną w kolorze fioletowym i drugą w kolorze zielonym. Kiedy obie fale przemieszczają się w formie zmian ciśnienia w powietrzu lub jako prądy elektryczne w przewodniku, ich krzywe są sumowane i tworzą bardziej złożoną formę, pokazaną na rysunku kolorem czarnym. Spróbuj sobie teraz wyobrazić dziesiątki, a nawet setki różnych częstotliwości



**Rysunek 5.50.** Kiedy w tym samym czasie generowane są dwie fale sinusoidalne (na przykład przez dwóch muzyków grających na fletach), powstaje dźwięk łączy w sobie obie krzywe. Sinusoida w kolorze fioletowym ma dwa razy większą częstotliwość od sinusoidy zielonej. Krzywa powstała z ich połączenia (w kolorze czarnym) stanowi sumę odległości dwóch sinusoid od osi x

połączonych w jedność, a zrozumiesz złożoność fal pojawiających się w muzyce.

Astabilny timer 555 generuje **falę kwadratową**. Dzieje się tak, ponieważ na jego wyjściu podawany jest naprzemiennie sygnał o wysokim i niskim napięciu (patrz rysunek 5.51). Fala sinusoidalna brzmi delikatniej i bardziej melodycznie, jeżeli zmienia się w sposób mniej gwaltowny. Fala kwadratowa brzmi bardziej surowo i „brzęczy”. Brzęczenie to jest tak naprawdę zbiorem **wyższych harmonicznych** — sygnałów o częstotliwościach przynajmniej dwukrotnie wyższych od częstotliwości bazowej.



Rysunek 5.51. Fala kwadratowa, jaką możesz uzyskać za pomocą układu generującego naprzemiennie wysoki i niski sygnał wyjściowy (przykładem takiego układu jest timer 555)

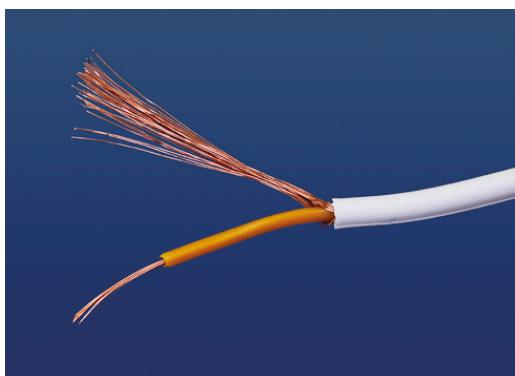
## Kaleczenie muzyki

Skoro układ LM386 jest wzmacniaczem audio, to czy można go zastosować do wzmacniania muzyki? Tak, właśnie do tego został on zaprojektowany. Możesz to sprawdzić samodzielnie za pomocą dowolnego odtwarzacza wyposażonego w wyjście słuchawkowe.

Układ LM386 jest wzmacniaczem monofonicznym, a więc nie będziesz w stanie usłyszeć równocześnie obu kanałów nagrań stereofonicznych. W celu uzyskania sygnału jednego z kanałów weź kabel zakończony wtyczką typu jack. Przetrnij przewód i zdejmij z jego fragmentu izolację. Pod izolacją znajdziesz płytaninę drutów pełniący funkcję ekranu kabla. Ekran jest połączony z masą. Wewnętrz ekranu znajdziesz dwa przewody, przez które płynie

sygnał lewego i prawego kanału. Odetnij i wyrzuć jeden z tych przewodów (nie ma znaczenia który). Uważaj, aby koniec uciętego kabla nie został zwarty z ekranem.

Zdejmij izolację z drugiego przewodu. Druty znajdujące się wewnętrz izolacji są bardzo cienkie, a więc w celu ułatwienia sobie pracy nad eksperymentem możesz pokryć je spoiwem lutowniczym. Efekt pracy nad kablem przedstawiono na rysunku 5.52.



Rysunek 5.52. Jeden z przewodów oraz ekran przeciętego kabla audio. Ekran jest połączony z masą

Upewnij się, że obwód wzmacniacza jest odłączony od prądu, a wszystkie przełączniki ślizgowe ustawione są w dolnych pozycjach. Odłącz pomarańczowy drut łączący pin numer 3 timera 555 ze znajdującym się pod nim kondensatorem 220  $\mu\text{F}$ . Odłączasz układ 555 od obwodu i stosujesz dodatnie złącze kondensatora C6 w roli wejścia sygnału.

Z pomocą złącza typu krokodyl przewodu probierczego zlap dodatnie złącze kondensatora, a drugi koniec tego przewodu podłącz do odsłoniętego przewodu kabla audio. Za pomocą drugiego przewodu probierczego połącz ekran kabla audio z masą obwodu Twojego wzmacniacza. Masy odtwarzacza i wzmacniacza muszą być ze sobą połączone.

Podłącz obwód wzmacniacza do zasilania, a następnie włącz odtwarzacz. Powinieneś usłyszeć muzykę. Jeżeli dźwięk jest zbyt głośny lub zniekształcony, to pomiędzy dodatnim złączem kondensatora a przewodem podłączonym do odtwarzacza umieść rezistor charakteryzujący się rezystancją 1  $\text{k}\Omega$  lub 10  $\text{k}\Omega$ .

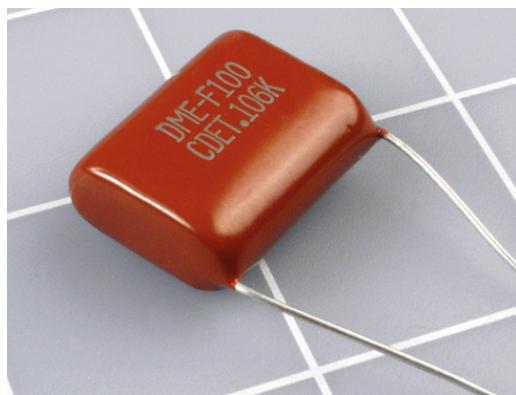
Gdy dźwięk będzie charakteryzował się odpowiednią głośnością, możesz sprawdzić działanie filtra górnoprzepustowego i filtra dolnoprzepustowego. Nie sprawią one, że dźwięk będzie brzmiał lepiej. Ich działanie spowoduje zmianę charakteru dźwięku.

## TEORIA: Zwrotnice głośnikowe

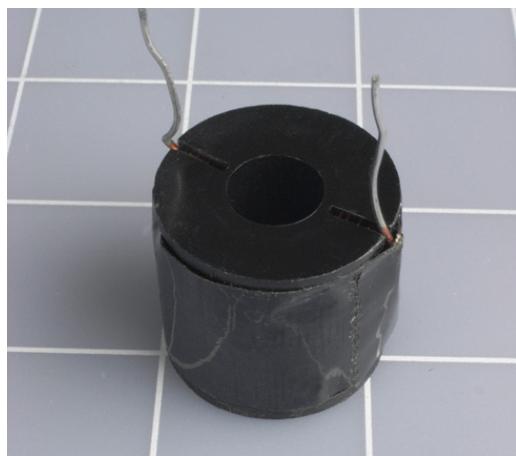
W tradycyjnych systemach audio każdy zestaw głośnikowy składa się z dwóch głośników — mniejszego, zwanego  **tweeterem** (przeznaczonego do generowania dźwięków o wysokiej częstotliwości), i drugiego większego, zwanego **wooferem** (przeznaczonego do generowania dźwięków o niskiej częstotliwości). (W nowoczesnych systemach woofer jest często montowany w oddzielnej obudowie i może być umieszczony właściwie gdziekolwiek, ponieważ ludzkie ucho z trudnością wykrywa kierunek fal dźwiękowych o niskiej częstotliwości. W takich systemach woofer często określany jest mianem **subwoofera**, ponieważ może on reprodrukować dźwięki o bardzo niskich częstotliwościach).

Pasmo sygnału audio jest dzielone za pomocą filtrów na odpowiednie zakresy. Dzięki temu tweeter nie będzie musiał radzić sobie z niskimi częstotliwościami, a woofer jest chroniony przed wysokimi częstotliwościami. Obwody dzielące sygnał audio określamy mianem zwrotnic. Miłośnicy muzyki i sprzętu audio znani są z tego, że tworzą własne zwrotnice (szczególnie przeznaczone do samochodów) dla zakupionych głośników, które umieszczają w samodzielnego złożonych obudowach.

Jeżeli chcesz sam zbudować zwrotnicę, powinieneś użyć wysokiej jakości kondensatorów poliestrowych (pozbawionych polaryzacji, trwalszych od kondensatorów elektrolitycznych i lepiej wykonanych) oraz cewek o odpowiedniej liczbie zwojów i wymiarach pozwalających odciąć wysokie częstotliwości w odpowiednim miejscu. Kondensator poliestrowy został pokazany na rysunku 5.53, a na rysunku 5.54 pokazano cewkę zwrotnicy głośnikowej, którą kupitem za pośrednictwem serwisu aukcyjnego eBay



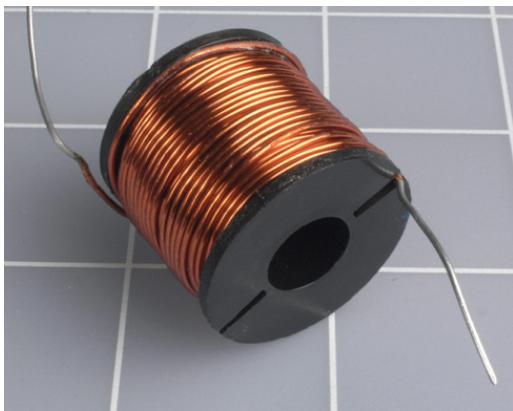
Rysunek 5.53. Niektóre kondensatory, wykonane w technologii innej niż elektrolityczna, nie posiadają polaryzacji. Wśród nich są wysokiej jakości kondensatory poliestrowe (na rysunku widzisz przykład takiego kondensatora)



Rysunek 5.54. Jaki egzotyczne części możemy znaleźć wewnątrz tego komponentu przeznaczonego do sprzętu audio wysokiej klasy?

za równowartość około 20 zł. Ciekawiło mnie, co kryje się wewnątrz tego komponentu, a więc go rozmontowałem.

Zacząłem od usunięcia czarnej winylowej taśmy, która zabezpieczała cewkę. W środku znajdował się typowy drut nawojowy — wykonany z miedzi pokrytej żywicą lub półprzeczroczystym plastikiem (patrz rysunek 5.55). Odwinąłem drut z rdzenia, licząc jednocześnie zwoje.



Rysunek 5.55. Po usunięciu czarnej taśmy naszym oczom ukazuje się zwój drutu nawojowego

Szpulka i drut widoczne są na rysunku 5.56.



Rysunek 5.56. Cewka zwrotnicy głośnikowej składa się z plastikowej szpuli i drutu. Nie ma nic więcej

Specyfikacja tej konkretnej cewki pochodzącej z zakupionej zwrotnicy głośnikowej przedstawia się następująco: drut nawojowy o długości 12,192 m i grubości  $0,5 \text{ mm}^2$ , w postaci 200 zwojów nawiniętych na małej szpuli wykonanej z plastiku.

Wniosek: urządzenia audio mają w sobie zaszytą pewną ukrytą wiedzę. Bardzo często ich ceny są znacznie przesadzone, a Ty możesz wykonać swój własny rdzeń, zaczynając od parametrów podanych powyżej i dostosowując je do własnych potrzeb.

Założmy, że chcesz zamontować w swoim samochodzie głośniki basowe. Czy jesteś w stanie zbudować własny filtr, który zmusi je do odtwarzania wyłącznie dźwięków o niskiej częstotliwości? Z całą

pewnością tak. Musisz jedynie nawinąć cewkę, dodając kolejne zwoje do momentu, kiedy uznasz, że obcinany jest dostatecznie szeroki zakres wysokich częstotliwości. Użyj grubego drutu, aby ten nie nagrzewał się zbytnio, kiedy przepuścisz przez niego sygnał o mocy 100 W lub większej.

Kolejny projekt wart przemyślenia to kolorowe światła sterowane dźwiękiem. Możesz podłączyć się do sygnału wyjściowego Twojego systemu stereo i użyć filtrów do podzielenia częstotliwości dźwięku na trzy przedziały, z których każdy sterować będzie oddzielnym zestawem kolorowych diod LED. Czerwone będą migać w rytm basów, żółte w rytm tonów średnich, a zielone w rytm tonów wysokich (dobór kolorów pozostawiam Tobie). Do diod LED możesz podłączyć szeregowo diody sygnalowe, które wyprostują prąd zmienny, oraz rezystory ograniczające napięcie na diodach LED do wartości około 2,5 V (kiedy muzyka odtwarzana jest z największą mocą). Użyj miernika do sprawdzenia, jaki prąd przepływa przez każdy z rezystorów, a następnie pomnóż go przez spadek napięcia na tym rezystorze. W ten sposób dowiesz się, jaką moc powinien mieć rezistor, aby nie ulec spaleniu.

Jeśli lubisz projektować i budować własne układy, świat audio oferuje szerokie pole do popisu.

## Eksperyment 30: Przesterowanie

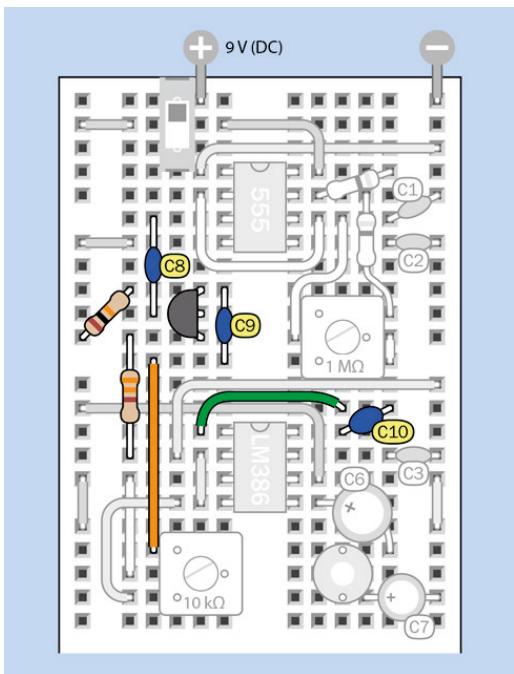
Spróbujmy jeszcze jednej odmiany układu wykonanego podczas eksperymentu numer 29. Pozwoli on zademonstrować inną fundamentalną cechę dźwięków: zniekształcenia.

### Potrzebne będą:

- obwód wykonany na płytce prototypowej w eksperymencie numer 29,
- tranzystor 2N2222, liczba: 1,
- rezystory:  $330 \Omega$  (liczba: 1),  $10 \text{ k}\Omega$  (liczba: 1),
- kondensatory:  $1 \mu\text{F}$  (liczba: 2),  $10 \mu\text{F}$  (liczba: 1).

## Modyfikacja obwodu

W obwodzie należy wprowadzić tylko kilka zmian. Musisz dodać do niego tranzystor, dwa rezystory i trzy kondensatory. Na rysunku 5.57 pokazano płytę z dodatkowymi komponentami (zainstalowane wcześniej komponenty zostały oznaczone kolorem szarym).

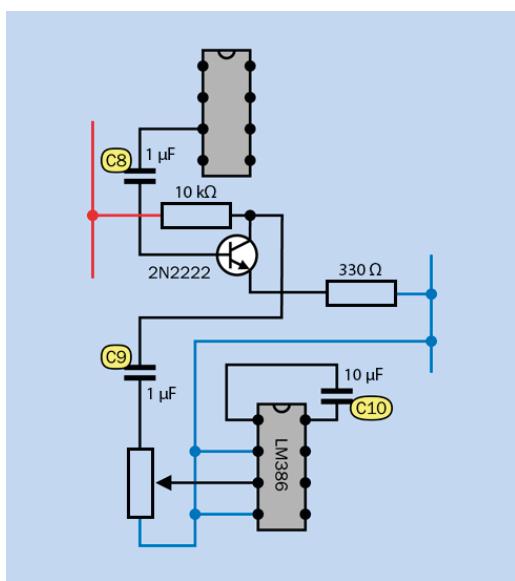


Rysunek 5.57. Modyfikacja obwodu przedstawionego w eksperymencie numer 29 mająca na celu wprowadzenie zniekształceń

Na rysunku 5.58 przedstawiono schemat ideowy modyfikacji obwodu (na schemacie pominięto elementy niezwiązane bezpośrednio z modyfikacjami).

Tranzystor 2N2222 przeciąża wejście układu LM386, a kondensatory C8 i C9 o pojemności  $1 \mu\text{F}$  ograniczają niskie częstotliwości, co wzmacnia efekt przesterowania dźwięku.

Kondensator C10 ma za zadanie zwiększenie stopnia wzmacnienia układu LM386. Jest to jedna z cech tego układu. Umieszczenie kondensatora pomiędzy pinami numer 1 i 8 powoduje wzrost stopnia wzmacnienia od 20:1 do 200:1.



Rysunek 5.58. Dodatkowe komponenty oraz charakteryzujące je wielkości

Niewielki układ wzmacniacza jest zmuszany na dwa sposoby do zrobienia więcej, niż pozwala jego specyfikacja. Oczywiście takie warunki pracy będą miały wpływ na wzmacniany dźwięk.

Wykonaj modyfikacje i włącz zasilanie obwodu. Generowany wcześniej dźwięk był nieco brzęczący, ponieważ timer 555 generował falę kwadratową. Gdy teraz poeksperymentujesz z ustawieniami potencjometrów dostrojczych  $10 \text{ k}\Omega$  i  $1 \text{ M}\Omega$ , to możesz sprawić, że dźwięk z głośnika będzie piskliwy niczym dźwięk gitary Jimiego Hendriksa.

Jeżeli efekt działania układu jest zbyt ekstremalny, to możesz zastąpić rezistor  $33 \Omega$  rezystorem charakteryzującym się większym oporem elektrycznym. Co tak naprawdę dzieje się w zmodyfikowanym obwodzie?

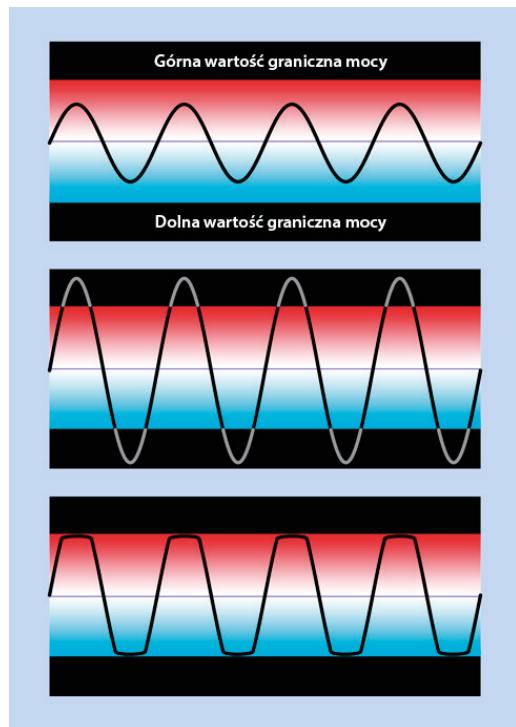
## TEORIA: Przycinanie

We wczesnych latach dźwięku „hi-fi” inżynierowie starali się głównie opanować proces reprodukcji dźwięku. Ich celem było uzyskanie na wyjściu wzmacniacza fali o kształcie identycznym do kształtu fali wejściowej. Jedyną różnicą miała być

odpowiednio duża amplituda, pozwalająca na sterowanie kolumnami głośnikowymi. Nawet małe zniekształcenie tej fali było niedopuszczalne.

Nie spodziewali się, że ich doskonale zaprojektowane wzmacniacze zostaną użyte niezgodnie z przeznaczeniem przez nową generację gitarzystów rockowych, których celem było wprowadzanie tylu zniekształceń, ile tylko się dało.

Jeżeli zmusisz lampę próżniową lub tranzystor do wzmacniania sygnału sinusoidalnego powyżej jego możliwości, obecnie on dolne i górne szczyty tej fali. Po takim zabiegu fala będzie przypominać przebieg prostokątny, a jak wspomniałem wcześniej, tego typu kształt fali charakteryzuje się nieprzyjemnymi zakłóceniami. Dla gitarzystów rockowych starających się nadać swojej muzyce niepowtarzalny styl tego typu zniekształceń stały się czymś pożądanym.



Rysunek 5.59. Kiedy fala sinusoidalna (u góry) przejdzie przez wzmacniacz skonfigurowany do pracy poza dopuszczalnymi granicami jego elementów składowych, jej dolne i górne szczyty zostaną zniwelowane w procesie zwanym obcinaniem (u dołu)

Proces ten pokazano na rysunku 5.59. Do wiernej reprodukcji sygnału wejściowego dochodzi, gdy sygnał wyjściowy nie przekracza wartości granicznych. Na drugim wykresie pokazano sytuację, w której sygnał wejściowy jest na tyle silny, że wzmacniacz musi wygenerować sygnał wyjściowy przekraczający wartości napięć ograniczających (części sygnału przekraczające wartości graniczne oznaczono kolorem szarym). Wzmacniacz nie dysponuje aż tak dużą mocą i przycina sygnał tak, jak pokazano na trzecim wykresie.

Tego typu brzmienie przypadło do gustu gitarystom rockowym. W związku z tym zaczęto produkować tzw. efekty podłogowe mające za zadanie przetwarzać dźwięk w taki właśnie sposób. Jeden z pierwszych efektów tego typu pokazano na rysunku 5.60.



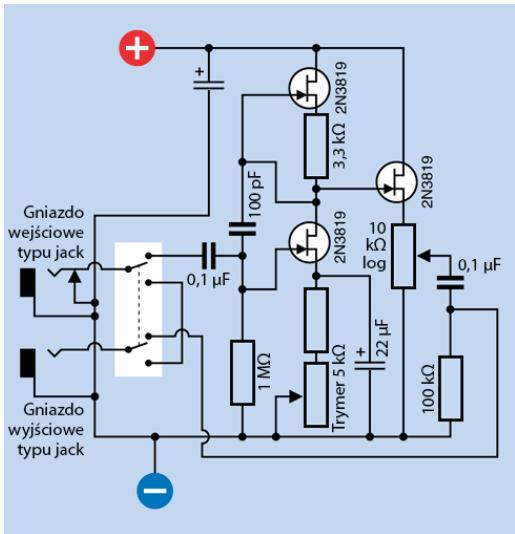
Rysunek 5.60. Vox Wow-Fuzz jest jednym z pierwszych efektów podłogowych, tzw. stomp boxów, celowo wprowadzających zniekształcenia, których inżynierowie pracujący nad wzmacniaczami zawsze chcieli się pozbyć

## TEORIA: Początki gitarowych efektów podłogowych

W 1962 roku zespół Ventures nagrał pierwszy singiel z wykorzystaniem fuzz boxa, zatytułowany *The 2000 Pound Bee*. Można śmiało powiedzieć, że był to jeden z najbrzydszych utworów instrumentalnych, jakie kiedykolwiek skomponowano. Zniekształcenia dźwięku użyto w nim jedynie jako ciekawostki, a uzyskany wynik musiał odstraszyć innych muzyków od poważnego potraktowania tej koncepcji.

Ray Davies z zespołu Kinks jest pierwszym artystą wykorzystującym zniekształcenia jako integralną część swojej muzyki. Davies świadomie zniekształca dźwięk, podłączając wyjście jednego wzmacniacza do wejścia drugiego wzmacniacza, naprawdopodobnie podczas nagrywania swojego przeboju *You Really Got Me*. To doprowadziło do przesterowania wejścia drugiego wzmacniacza i wytworzyło efekt obcinania — podstawowy mechanizm używany do zniekształcania. Stąd bardzo szybko dochodzimy do Keitha Richardsa, który w roku 1965 użył urządzenia firmy Gibson o nazwie Maestro Fuzz-Tone, gdy jego zespół (Rolling Stones) nagrywał (*I Can't Get No Satisfaction*).

W naszych czasach tysiące miłośników tego nurtu promuje różne metody „idealnego” zniekształcania dźwięku. Na rysunku 5.61 zamieściłem schemat, który stworzył Flavio Dellepiane — projektant układów elektronicznych z Włoch, udostępniający swoje prace za darmo (z niewielką pomocą pochodzącą od Google AdSense) pod adresem [www.redcircuits.com](http://www.redcircuits.com).



**Rysunek 5.61.** Ten układ używa trzech tranzystorów do symulowania zniekształcania podobnego do tego, jakie wywarzane jest przez przesterowanie wejścia wzmacniacza lampowego. Zaprojektował go Flavio Dellepiane

Dellepiane jest samoukiem, który większość swojej wiedzy zdobył, czytając magazyny elektroniczne,

takie jak pochodzący z Wielkiej Brytanii „Wireless World”. W swoim obwodzie zniekształcącym używa wzmacniacza o bardzo dużym zysku, opartego na trzech tranzystorach polowych (FET), który dosyć wiernie imituje zaokrągloną falę prostokątną będącą typowym kształtem fali generowanej przez przesterowany wzmacniacz lampowy.

Na swojej stronie Dellepiane oferuje szereg innych schematów zaprojektowanych i przetestowanych z użyciem trójkanałowego oscyloskopu, generatora przebiegów sinusoidalnych o bardzo małych zniekształcaniach (pozwalającego na dostarczenie do urządzenia audio niemal idealnego sygnału), miernika zniekształceń i precyzyjnego miernika napięcia sygnału audio. To ostatnie urządzenie oraz oscylator zostały również zbudowane na podstawie jego własnych schematów. Można śmiało powiedzieć, że ta strona stanowi idealne miejsce dla elektroników hobbystów zainteresowanych dźwiękiem, którzy chcą samodzielnie zdobywać wiedzę.

Zanim wprowadzony został efekt *fuzz*, znany był już efekt *tremolo*. Wiele osób myli go z *vibrato*, dlatego chciałbym od razu wyjaśnić różnicę między nimi:

- *Vibrato* zastosowane do dźwięku powoduje wahania jego częstotliwości w górę i w dół, tak jakby gitarzysta wyginał strunę.
- *Tremolo* zastosowane do dźwięku sprawia, że jego głośność zaczyna oscylować, tak jakby ktoś bardzo szybko kręcił pokrętlem siły dźwięku w prawo i w lewo.

Pierwsze urządzenie typu *tremolo* — nazwane przez swojego twórcę Trem-Trol — sprzedał Harry DeArmond. Przypominało ono staroświeckie przenośne radio z dwoma pokrętlami na ściance frontowej i rączką na górze. Prawdopodobnie ze względu na obniżenie kosztów produkcji DeArmond nie użył żadnych części elektronicznych. Jego steampunkowy Trem-Trol zawierał silnik z wałem stożkowym, na którym oparte było gumowe kółko. Kręcząc pokrętlem, można było zmienić położenie kółka względem wału, co powodowało zmianę jego prędkości obrotowej. Gumowe kółko wprawiało w ruch małą

kapsułkę z płynem, w której zanurzone były dwa przewody przenoszące sygnał audio. Przemieszczanie się kapsuły tam i z powrotem powodowało faliste ruchy płynu wewnętrz i stosowną zmianę rezystancji między elektrodami. To powodowało modulację dźwięku.

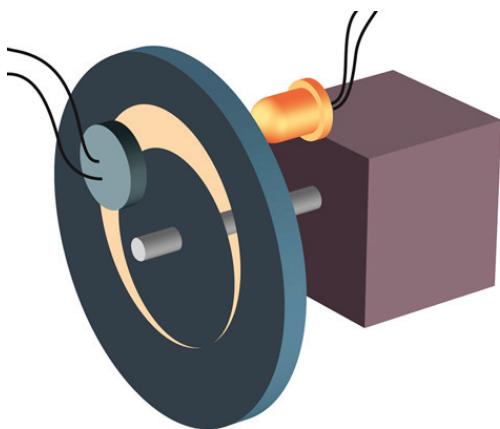
Dzisiaj to urządzenie jest antykiem o wartości kolekcjonerskiej. Johann Burkard opublikował plik MP3 z dźwiękami generowanymi przez Trem-Trol — jeśli chcesz go posłuchać, zajrzyj pod adres [johann-burkard.de/blog/music/effects/DeArmond-Tremolo-Control-clip.html](http://johann-burkard.de/blog/music/effects/DeArmond-Tremolo-Control-clip.html).

Na tym nie skończyła się moda na modyfikowanie dźwięków w sposób mechaniczny. Oryginalne organy Hammonda wytworzały swoje unikalne, bogate dźwięki dzięki zestawowi kół zębatach obracanych przez silnik. Każde koło wytworzało zmieniającą się indukcyjność w czujniku podobnym do głowicy nagrywającej w magnetofonach kasetowych.

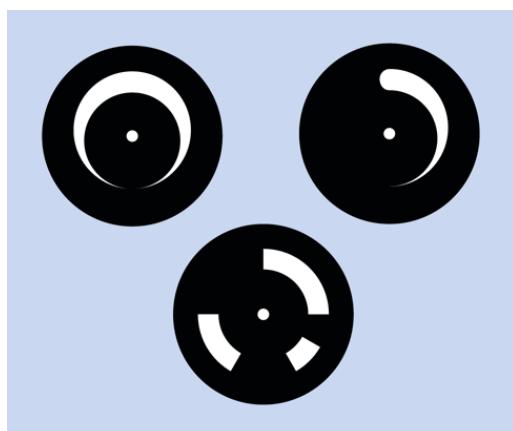
Łatwo można sobie wyobrazić inne przykłady efektów sterowanych mechanicznie. Wracając do *tremolo*, wyobraź sobie przezroczysty dysk zamalowany czarną farbą z wyjątkiem okrągłego paska zwężającego się w obu kierunkach. Jeśli w trakcie obracania się tego dysku będziesz oświetlał go jasnym światłem diody LED w miejscu, gdzie jest on przezroczysty, a z drugiej strony umieścisz fotorezystor, stworzysz urządzenie dające efekt *tremolo*. Mógłbyś nawet budować własne unikalne efekty *tremolo* przez podkładanie dysków z różnymi rodzajami prześwitów. Projekt takiego urządzenia pokazany został na rysunkach 5.62 i 5.63. Ktoś, kto lubi prawdziwe wyzwania, mógłby pokusić się o stworzenie automatycznego mechanizmu zmiany dysków.

Współcześni gitarzyści mają do wyboru całe mnóstwo efektów, z których wszystkie mogą być zbudowane metodą chałupniczą dzięki planom dostępnym w sieci. Jeżeli chcesz się dowiedzieć więcej, zajrzyj do następujących książek:

- *Analog Man's Guide to Vintage Effects*, Tom Hughes, For Musicians Only Publishing, 2004. Jest to przewodnik po wszelkich



Rysunek 5.62. Schemat elektromechanicznego efektu tremolo, które mogłyby zostać zbudowane ze współczesnych komponentów elektronicznych



Rysunek 5.63. W elektromechanicznym urządzeniu z rysunku 5.62 można byłoby stosować dyski o różnych kształtach prześwitów, tworzących różne efekty tremolo

możliwych stomp boxach, jakie tylko potrafisz sobie wyobrazić.

- *How to Modify Effect Pedals for Guitar and Bass*, Brian Wampler, Custom Books Publishing, 2007. Jest to niezwykle szczegółowy przewodnik dla osób początkujących o bardzo małej wiedzy. W chwili obecnej ta książka jest dostępna jedynie w wersji do pobrania (na przykład z serwisu [www.openlibrary.org](http://www.openlibrary.org)), ale jeśli dobrze poszukasz w internecie, być może uda Ci się dostać z drugiej ręki wersję drukowaną.

Oczywiście, możesz zawsze pójść na skróty i wydać kilkaset złotych na gotowe urządzenie prosto z półki sklepowej, takie jak Boss ME-20, które generuje różnorodne efekty dźwiękowe (między innymi *metal*, *fuzz*, *chorus*, *phaser*, *flanger*, *tremolo*, *delay reverb*) dzięki cyfrowemu przetwarzaniu dźwięków, a całość ukryta jest w pojedynczej obudowie z kilkoma pedałami do naciskania. Znawcy tematu będą oczywiście twierdzić, że „brzmienie” jest inne, ale nie w tym rzeczu. Niektórzy z nas są w stanie zadowolić się jedynie skonstruowaniem własnego *stomp boxa*, a następnie zmodyfikowaniem go w taki sposób, aby generować dźwięk, którego nie jest w stanie powtórzyć żadne z gotowych urządzeń.

## Eksperyment 31: Radio bez lutowania i zasilania

Powróćmy jeszcze raz do indukcyjności i pojemności, aby zademonstrować urządzenie, które również wykorzystuje mechanizm nakładania na siebie różnych kształtów fal. Chcę pokazać Ci prosty obwód, który bez jakiegokolwiek zasilania jest w stanie odbierać fale radiowe AM i zamieniać je w słyszalne dźwięki. Takie rozwiązanie jest określane mianem radia kryształkowego, ponieważ w obwodzie znajduje się dioda germanowa, która w swoim wnętrzu ma zabudowany kryształ. Ta koncepcja pochodzi z czasów, kiedy wynaleziono radio, ale jeśli do tej pory nie próbowałeś przeprowadzić tego eksperymentu, ominęło Cię coś naprawdę magicznego.

### Potrzebne będą:

- twardy przedmiot w kształcie cylindrycznym; może to być na przykład opakowanie po witaminach lub wodzie mineralnej, liczba: 1,
- drut  $0,32 \text{ mm}^2$ , ilość: 18 m,
- drut  $1,3 \text{ mm}^2$ , ilość: 15 – 30 m (przewód ten może mieć również postać linki, w celu redukcji kosztów wykonania projektu możesz również zastosować cieńszy przewód, ale wtedy Twoje radio może odbierać mniejszą liczbę stacji),

- lina wykonana z polipropylenu lub nylonu, ilość: 3 m,
- dioda germanowa<sup>6</sup>, liczba: 1,
- słuchawka o wysokiej impedancji<sup>7</sup>, liczba: 1,
- przewód probierczy, liczba: 1,
- zacisk typu krokodyl (liczba: 3) lub dodatkowe przewody probiercze.

Dodatkowe komponenty:

- bateria 9 V (lub zasilacz dostarczający prąd o takim napięciu),
- układ wzmacniacza LM386,
- mały głośnik (wystellarz, aby miał średnicę przynajmniej 5 cm).

### Krok 1: Cewka

Pracę zaczniemy od stworzenia cewki, która będzie rezonować z falami radiowymi pasma AM. Cewka powinna składać się z 65 zwojów drutu o przekroju  $0,32 \text{ mm}^2$  o łącznej długości około 18 m.

Cewkę możesz nawinąć wokół szklanki lub innego naczynia charakteryzującego się stałą średnicą zbliżoną do 7,5 cm (pod warunkiem że zachowuje ono sztywność). Zbyt cienka plastikowa butelka po napoju nie przyda się do tego celu, ponieważ skumulowana siła zwojów może ją zdeformować (cewka nie będzie miała okrągłych zwojów).

Ją użyłem do tego celu opakowania po witaminach, które przypadkiem miało potrzebny rozmiar. Na fotografiach przedstawiono opakowanie po usunięciu z niego etykiety. Podgrzałem opalarką klej, którym przyklejona była etykieta, a następnie usunąłem ją (nie przesadzałem z ilością ciepła, aby nie stopić samej buteleczki). Na powierzchni pozostał klej, który usunąłem przy użyciu ksylenu.

Kiedy będziesz miał już czystą i sztywną buteleczkę, wywierć w niej dwie pary otworów, tak jak pokazuje

6 Diody tego typu znajdziesz na przykład w serwisie [www.allegro.pl](http://www.allegro.pl) — przyp. tłum.

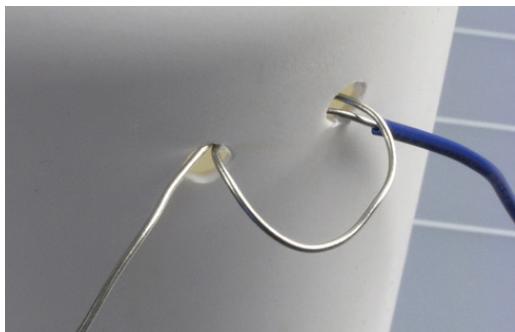
7 Słuchawki tego typu oferują na przykład sklep [www.e-tonsil.pl](http://www.e-tonsil.pl) — przyp. tłum.

to rysunek 5.64. Wykorzystasz je do zamocowania końców cewki.



Rysunek 5.64. Otwory posłużą do zamocowania drutu owiniętego wokół butelki

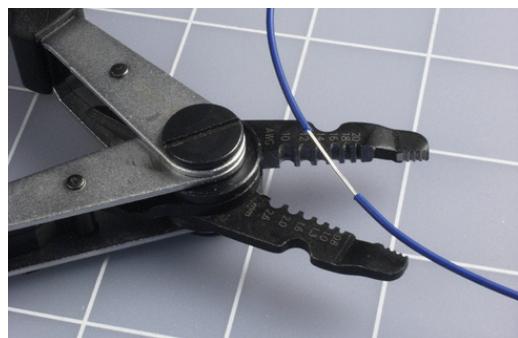
Zdejmij izolację z końca drutu, a następnie przepłóż go przez jedną z par otworów (patrz rysunek 5.65). Owiń wokół butelki pięć zwojów drutu. Unieruchom je tymczasowo za pomocą taśmy izolacyjnej. Zamieść taśmy izolacyjnej możesz zastosować tutaj również foliową taśmę klejącą, taśma papierowa może okazać się zbyt słaba.



Rysunek 5.65. Przepłoz koniec drutu przez jedną parę otworów

Teraz zdejmij około 1,5 cm izolacji z końca przewodu. Po wykonaniu cewki powinieneś mieć możliwość podłączenia się do niej właśnie w tym punkcie. Natnij izolację za pomocą narzędzia przeznaczonego

do usuwania izolacji, a następnie ściagnij izolację (patrz rysunek 5.66).



Rysunek 5.66. Ściagnij izolację z okolo 1,5 cm drutu za pomocą szczypców do usuwania izolacji i paznokci

Kolejnym krokiem jest utworzenie pętli z odsłoniętego fragmentu drutu (pięta musi być całkowicie pozbawiona izolacji) — zobacz rysunek 5.67.



Rysunek 5.67. Utwórz pętlę z odśniętego fragmentu drutu

Właśnie utworzyłeś **zaciski**, do których będziesz mógł się podłączyć po nawinięciu cewki. Usuń fragment taśmy, którym unieruchomileś tymczasowo pięć pierwszych zwojów, a następnie nawiń na butelkę pięć kolejnych zwojów. Unieruchom je za pomocą taśmy i utwórz kolejny zacisk. Łącznie musisz utworzyć 12 zacisków. Nie muszą być one ułożone idealnie współliniowo. Po utworzeniu ostatniego zacisku nawiń jeszcze pięć zwojów i odetnij resztę drutu. Wygnij tę część drutu w kształt litery U o szerokości mniej więcej 1,5 cm, tak abyś mógł przewleć go do wnętrza butelki przez jeden z otworów, a następnie z powrotem na zewnątrz przez drugi

otwór, tworząc w ten sposób bezpieczny zaczep w postaci pętli.

Na rysunku 5.68 pokazano wykonaną przeze mnie cewkę.



Rysunek 5.68. Gotowe uzujenie nawinięte ściśle wokół butelki

Następny krok to przygotowanie anteny, która powinna być wykonana z jak najdłuższego i jak najgrubszego drutu. Jeżeli mieszkasz w domu z własnym ogrodem, nie będzie z tym problemu. Otwórz okno i rozwiń na zewnątrz przewód o grubości  $1,3 \text{ mm}^2$ . Następnie wyjdź na zewnątrz i podciagnij swoją antenę, używając do tego celu liny z polipropylenu lub nylenu (powinieneś ją kupić bez problemu w każdym sklepie z materiałami budowlanymi). Powieś przewód na dowolnym drzewie, rynnie lub stupie. Całkowita długość przewodu powinna wynosić od 15 do 30 metrów. W miejscu, w którym drut przechodzi przez okno, podwieś go za pomocą kolejnego fragmentu liny wykonanej z polipropylenu. Twoim celem jest umieszczenie anteny jak najdalej od gruntu i wszelkich uziemionych obiektów.

Jeśli jesteś w mieszkaniu i nie masz dostępu do otwartej przestrzeni na zewnątrz, możesz spróbować rozpięć antennę wokół pokoju, wieszając ją na kawałkach liny na dowolnych elementach utrzymujących antennę z dala od podłogi. Antena nie musi być linią prostą — możesz rozpięć ją po całym pokoju.

## UWAGA: Wysokie napięcie!

Otacza nas świat, w którym króluje elektryczność. Zazwyczaj nie jesteśmy tego świadomi, ale wyładowania atmosferyczne w dosyć gwałtowny sposób przypominają nam, że między chmurami a ziemią występują ogromne różnice potencjałów.

Nie używaj anteny zewnętrznej, jeśli istnieje jakiekolwiek prawdopodobieństwo pojawiения się piorunów. Takie postępowanie niesie ze sobą wielkie zagrożenie. Odłącz koniec znajdujący się w domu, wyciągnij go na zewnątrz i dla bezpieczeństwa wepchnij ten koniec w ziemię.

## Antena i masa

Podłącz antenę do górnej końcówki cewki za pomocą zacisku typu krokodyl.

Teraz powinieneś doprowadzić do układu przewód masy. Powinienny być to dosłownie przewód uziemiający. Najlepiej byłoby, abyś zakopał mniej więcej 2 metry drutu w miękkim, wilgotnym gruncie, ale może być to problematyczne, jeżeli tak jak ja mieszkasz na obszarze pustynnym. Jeżeli chcesz dokonać uziemienia za pomocą metalowej bednarki, to wbijając ją w grunt, uważaj, aby nie przeciąć nią żadnych instalacji ukrytych pod ziemią.

Często za dobry punkt uziemienia uznaje się rurę z zimną wodą, ale pamiętaj o tym, że rura taka musi być wykonana z metalu. Nawet jeżeli Twoja domowa instalacja jest wykonana z miedzianych rur, to pamiętaj o tym, że jakiś jej fragment mógł w przeszłości zostać podczas naprawy zastąpiony plastikiem.

Chyba najpewniejszym rozwiązaniem jest podłączenie kabla z zaciskiem typu krokodyl do uziemiającego bolca gniazdka elektrycznego — domowa instalacja elektryczna powinna być dobrze uziemiona. Pamiętaj o tym, że przewód uziemiający należy przyczepić do bolca ostrożnie — tak, aby nie stykał się z pozostałymi złączami gniazdka. Nie polecam tego rozwiązania, ponieważ może ono doprowadzić do przypadkowego zwarcia przewodu uziemiającego nasz odbiornik ze stykiem fazowym gniazdka.

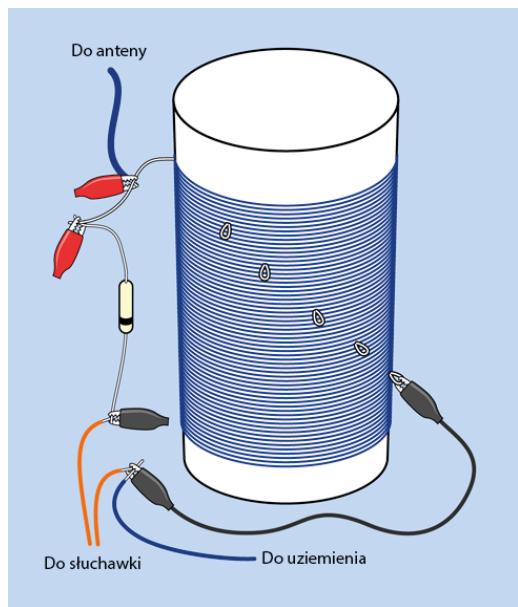
Teraz przyda Ci się kilka komponentów, które mogą okazać się trudne do znalezienia. Jednym z nich jest dioda germanowa, która działa podobnie do diody krzemowej, ale znacznie lepiej sprawdza się podczas pracy z niskimi napięciami i małymi prądami, które będą spotykane w naszym odbiorniku. Ponadto będziesz potrzebował słuchawki o wysokiej impedancji. Nowoczesne słuchawki nie nadają się do tego eksperymentu. Powinieneś znaleźć słuchawkę starego typu — taką jak ta, którą pokazano na rysunku 5.69. Jeżeli słuchawka jest wyposażona w kabel zakończony wtyczką, to musisz go uciąć, a następnie zdjąć izolację z każdego przewodu.



Rysunek 5.69. Słuchawka, która nadaje się do współpracy z pasywnym radioodbiornikiem

Komponenty należy połączyć za pomocą przewodów probierczych wyposażonych w końcówki typu krokodyl (patrz rysunek 5.70). Zbudowany przez mnie radioodbiornik nie wygląda tak schludnie jak odbiornik pokazany na rysunkach, ale jego komponenty są połączone ze sobą w ten sam sposób (patrz rysunek 5.71). Końcówka przewodu probierczego widoczna w dolnej części rysunku może zostać podłączona do dowolnego zacisku cewki — strojenie naszego radioodbiornika będzie przebiegało w taki właśnie sposób.

Jeżeli udało Ci się wykonać wszystko zgodnie z instrukcjami i mieszkasz w odległości nie większej niż 25 – 30 km od nadajnika, a Twój słuch jest w dobrej kondycji, to przez słuchawkę powinieneś usłyszeć cichy dźwięk radia generowany przez pasywny, nie zasilany obwód. Projekt ten jest bardzo stary, ale wciąż może zaskakiwać (patrz rysunek 5.72).



Rysunek 5.70. Łączenie komponentów radioodbiornika



Rysunek 5.71. Rzeczywista wersja urządzenia z rysunku 5.66

Jeżeli mieszkasz zbyt daleko od nadajnika, nie możesz pozwolić sobie na montaż długiej anteny lub uziemienie radioodbiornika jest dalekie od ideału, to możesz niczego nie słyszeć. Nie poddawaj się. Poczekaj do zachodu słońca. Propagacja fal radiowych o niższych częstotliwościach wzrasta, gdy atmosfera nie jest pobudzana przez promieniowanie słoneczne.

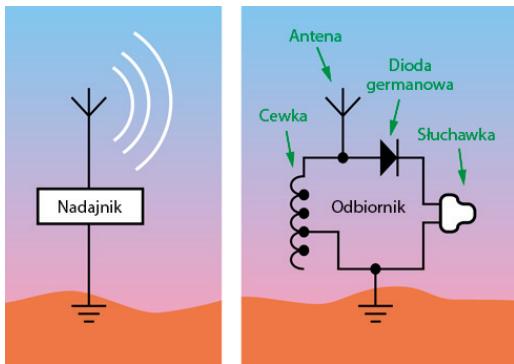


Rysunek 5.72. Przyjemność odbierania sygnału radiowego za pomocą bardzo prostego, pasywnego odbiornika

W celu wyboru nastuchiwanej radiostacji przełącz zacisk przewodu probierczego do innego zacisku cewki. W zależności od tego, gdzie mieszkasz, możesz odebrać tylko jedną stację lub nawet kilka, przy czym niektóre będą się na siebie nakładać.

Może się wydawać, że wytwarzany sygnał powstaje z „niczego”, gdyż słuchawka generuje szum bez jakiegokolwiek źródła zasilania. W rzeczywistości istnieje jednak źródło zasilania — jest nim nadajnik umieszczony w stacji radiowej. Duży wzmacniacz przekazuje energię do wieży z anteną, modulując ustaloną częstotliwość sygnału. Kiedy połączenie Twojej anteny z cewką wejdzie w rezonans z tą częstotliwością, wytworzone napięcie wystarcza, aby zasilić słuchawkę o wysokiej impedancji.

Twoja antena musi mieć dobre uziemienie, ponieważ prąd popłynie przez cewkę tylko wtedy, gdy obwód pomiędzy Tobą, a nadajnikiem zostanie domknięty. Ziemia może być traktowana jako niemalże nieskończona wielka masa, do której może ujść ładunek. Stacja radiowa nadaje swój sygnał mierzony względem gruntu (patrz rysunek 5.73).



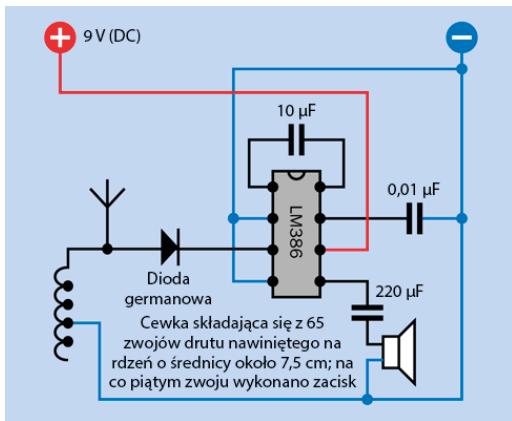
Rysunek 5.73. Pasywny radioodbiornik odbiera z odległego nadajnika energię, dzięki której możliwe jest wygenerowanie cichego dźwięku w słuchawce

## Udoskonalenia

Jeżeli niczego nie słyszysz przez słuchawkę, spróbuj zastąpić ją przetwornikiem piezoelektrycznym (określa się go również mianem brzęczyka piezoelektrycznego). Potrzebujesz komponentu bez wbudowanego oscylatora, który działałby pasywnie tak jak głośnik. Przyciśnij go do ucha, a najprawdopodobniej będzie on działał równie dobrze jak słuchawka, a nawet lepiej.

Möżesz również spróbować wzmacnić sygnał. Najlepiej byłoby, abyś pierwszy stopień radioodbiornika wyposażył we wzmacniacz operacyjny. Charakteryzuje się on wysoką impedancją. Tematykę związaną ze wzmacniaczami operacyjnymi opisałem w książce *Elektronika. Od praktyki do teorii. Kolejne eksperymenty*. Zamiast do wzmacniacza operacyjnego możesz skierować sygnał bezpośrednio do układu LM386, który został przedstawiony w eksperymencie numer 29.

Na rysunku 5.74 przedstawiono bardzo prosty schemat takiej modyfikacji. Dioda germanowa może zostać podłączona bezpośrednio do wejścia układu LM386 (zakładam, że nie potrzebujesz układu sterującego poziomem głośności). Pomiędzy piny oznaczone numerami 1 i 8 podłącz kondensator 10  $\mu\text{F}$ , dzięki czemu układ będzie pracował z maksymalnym stopniem wzmacnienia. Zaprezentowany obwód pozwolił mi na odbiór radiostacji nadających



Rysunek 5.74. Dzięki układowi LM386 dźwięk odbierany przez Twój radioodbiornik będzie dobiegał z głośnika

z Phoenix — miasta oddalonego o około 200 km od miejsca, w którym mieszkam.

Lepsze właściwości strojeniowe odbiornika możesz uzyskać, dodając kondensator o zmiennej pojemności (będzie o tym mowa w sekcji opisującej teoretyczne podstawy działania radia). Pozwoli on na bardziej precyzyjne dostrojenie obwodu do częstotliwości rezonansowej. Kondensatory o regulowanej pojemności są już rzadkością, ale powinieneś znaleźć je w wybranych sklepach elektronicznych oraz w serwisie [www.allegro.pl](http://www.allegro.pl)<sup>8</sup>.

Zwróć uwagę na człowieka o nazwisku Simon Quellen Field, który na swojej stronie internetowej ([www.scitoy.com](http://www.scitoy.com)) sugeruje wiele ciekawych projektów możliwych do zrealizowania we własnym domu. Jedną ze zmyślnych rad, jakie oferuje, jest zastąpienie diody germanowej w odbiorniku radiowym przez diodę LED o niskiej mocy połączoną szeregowo z 1,5-woltową baterią. Takie połączenie nie działa w moim przypadku, ponieważ nie mieszkam w pobliżu nadajnika. Jeżeli znajdujesz się w pobliżu nadajnika, być może uda Ci się zobaczyć zmieniającą się jasność świecenia diody LED w rytm mocy emitowanej przez nadawcę audycji radiowej.

## TEORIA: Jak działa radio

Promieniowanie elektromagnetyczne o wysokiej częstotliwości może pokonywać duże odległości. Do wykonania nadajnika radiowego mógłbym wykorzystać układ czasowy 555 pracujący na częstotliwości, powiedzmy, 850 kHz (850 tysięcy cykli na sekundę). Wytworzony strumień impulsów przepuściłbym przez wzmacniacz w kierunku wieży nadawczej lub zwykłego przewodu. Gdybyś był w stanie zablokować wszelką inną aktywność elektromagnetyczną w powietrzu, mógłbyś wykryć mój sygnał i go wzmacnić.

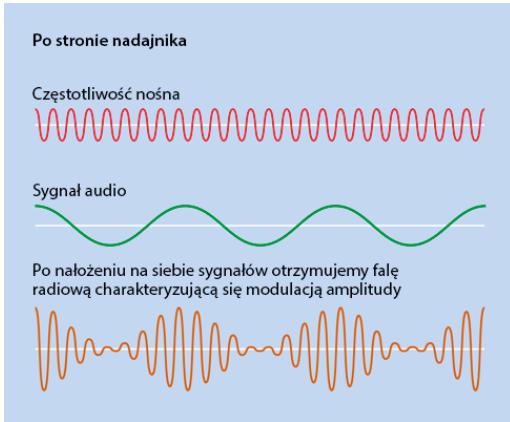
Tak właśnie wyglądał przełomowy eksperyment, który przeprowadził Guglielmo Marconi (patrz rysunek 5.75). Różnica między mną a nim polega na tym, że Marconi nie dysponował układem czasowym 555 i oscylacje musiał generować przy pomocy prymitywnego iskiernika. Jego transmisje radiowe miały bardzo ograniczoną użyteczność, ponieważ przenosiły tylko dwa możliwe stany: wysoki lub niski. Takie rozwiązanie pozwalało wysyłać jedynie komunikaty kodem Morse'a.



Rysunek 5.75. Marconi, wielki pionier radia. Źródło: Wikimedia Commons

8 Szukaj słowa „trymer” w dziale RTV i AGD, Elektronika — przyp. tłum.

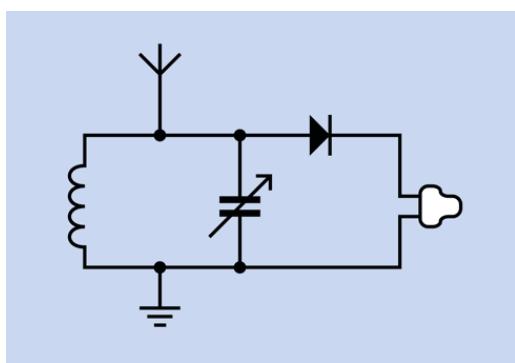
Pierwszy prawdziwy sygnał dźwiękowy został wysłany pięć lat później przez nałożenie niższych niskich częstotliwości audio na sygnał nośny o wysokiej częstotliwości. Inaczej mówiąc, sygnał audio został „dodany” do częstotliwości nośnej, w wyniku czego moc sygnału nośnego zmieniała się wraz ze zmianą kształtu fali dźwiękowej (patrz rysunek 5.76).



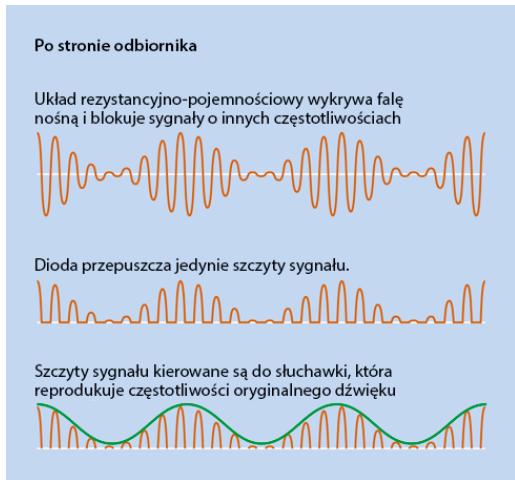
**Rysunek 5.76.** Nadawanie sygnału dźwiękowego za pomocą fali nośnej

Po drugiej stronie bardzo proste połączenie kondensatora i cewki wykrywało częstotliwość nośną wśród szumu całego spektrum elektromagnetycznego. Wartości kondensatora i cewki były tak dobrane, aby ich połączenie wchodziło w rezonans na takiej samej częstotliwości, jaką miała fala nośna. Schemat tego prostego obwodu pokazano na rysunku 5.77, gdzie kondensator nastawny oznaczono za pomocą symbolu kondensatora z dodatkową strzałką.

Amplituda fali nośnej wzrasta i maleje tak szybko, że słuchawka nie mogłaby nadążyć za zmieniającą się polaryzacją sygnału. Jej membrana wahałaby się w zakresie znajdującym się pomiędzy punktami najwyższej i najniższej wartości amplitudy, nie reprodukując żadnego dźwięku. Problem ten można rozwiązać za pomocą diody, która przepuszcza górną połówkę sygnału. Przefiltrowany sygnał nadal składa się z bardzo małych i krótkich impulsów, ale teraz sygnał porusza membraną słuchawki w tym samym kierunku — ze słuchawki wydobywają się



**Rysunek 5.77.** Dodanie kondensatora nastawnego do przedstawionego wcześniej obwodu pozwala na dokładniejsze określenie częstotliwości fali nośnej



**Rysunek 5.78.** Działanie prostego odbiornika sygnału radiowego charakteryzującego się modulacją amplitudy

jedynie częstotliwości dźwięku nałożone na falę nośną (patrz rysunek 5.78).

Obwód można dodatkowo dostroić przez dodanie kondensatora. Teraz impuls przychodzący z nadajnika jest początkowo blokowany przez samoodukcję cewki i jednocześnie ładuje kondensator. Jeśli po chwili odebrany zostanie identyczny impuls o ujemnej wartości, odpowiednio zsynchronizowany z wartościami cewki i kondensatora, spowoduje rozładowanie kondensatora i przewodzenie cewki. W ten sposób odpowiednia częstotliwość sygnału nośnego wprawia obwód w rezonans. Jednocześnie zmiany sygnału audio są zamieniane na wahania

napięcia w obwodzie wtedy, gdy mają one największą siłę.

Co się dzieje z innymi częstotliwościami wychwytywanymi przez antenę? Niższe płyń wprost przez cewkę do uziemienia, a wyższe przez kondensator do uziemienia. Są zwyczajnie „odrzucane”.

Częstotliwości fal nośnych radiostacji AM (pracujących z modulacją amplitudy) znajdują się w przedziale od 300 kHz do 3 MHz. Pozostała część pasma jest zarezerwowana do specjalnych zastosowań. Po zdaniu dość prostego egzaminu krótkofalarskiego i zakupie odpowiedniego radia i anteny będziesz mógł rozmawiać z ludźmi przebywającymi w dużych odległościach od Ciebie bez pośrednictwa sieci telekomunikacyjnej.

## Eksperyment 32: Elektronika i programowanie

Chyba większość potencjalnych czytelników tej książki słyszała już o Arduino. Ten eksperyment oraz dwa kolejne przeprowadzą Cię przez proces konfiguracji Arduino i samodzielnego tworzenia programów obsługiwanych przez ten mikrokontroler, dzięki czemu nie będziesz musiał korzystać z gotowych programów znalezionych w internecie.

### Potrzebne będą:

- płytka Arduino Uno lub inna kompatybilna, liczba: 1,
- kabel USB zakończony z jednej strony wtykiem typu A, a z drugiej wtykiem typu B, liczba: 1,
- komputer stacjonarny lub laptop z wolnym portem USB, liczba: 1,
- standardowa dioda LED, liczba: 1.

### Definicje

Mikrokontroler jest czipem, który pracuje jak mały komputer. Możesz napisać program składający się z instrukcji obsługiwanych przez mikrokontroler,

a następnie zapisać program w pamięci tego czipu. Pamięć ta jest nieulotna — zapisane w niej dane nie są tracone nawet po odłączeniu czipa od zasilania.

Standardowo rzuciłbym Cię na głęboką wodę, sugerując napisanie jakiegoś programu, ale nauka obsługi mikrokontrolera wymaga poświęcenia większej ilości czasu i energii niż nauka korzystania z przedstawionych wcześniej komponentów. Skąd masz wiedzieć, czy chcesz rozpocząć pracę z mikrokontrolerami, skoro nic o nich nie wiesz? Na początek zapoznam Cię z podstawowymi zagadnieniami dotyczącymi Arduino. Wykonując ten eksperyment, nauczysz się przygotowywać Arduino do pracy i sprawdzisz jego podstawowe funkcje. Wykonując eksperymenty o numerach 33 i 34, zdobędziesz kolejne wiadomości z zakresu programowania Arduino i obsługi podłączonych do niego komponentów.

Procedura konfiguracji i sprawdzenia poprawności pracy środowiska Arduino trwa od godziny do dwóch. Czas ten powinieneś wygospodarować wtedy, gdy nic nie będzie Cię rozpraszało. Po wykonaniu tych kilku podstawowych czynności wszystko będzie o wiele prostsze.

### Zastosowania mikrokontrolerów

Działanie typowego programu obsługiwanego przez mikrokontroler może wyglądać następująco:

- Odbierz sygnał wyjściowy generowany przez koder obrotowy pełniący funkcję regulatora głośności samochodowego systemu audio.
- Określ kierunek obrotu kodera.
- Policz脉sy wygenerowane przez koder.
- Określ liczbę kroków, które ma wykonać programowalny rezystor w celu zwiększenia lub zmniejszenia głośności.
- Czekaj na kolejne sygnały wejściowe.

Mikrokontroler może również obsługiwać o wiele bardziej złożone systemy — odbierać wiele sygnałów wejściowych, generować wiele sygnałów

wyjściowych i np. aktywować system alarmowy. Mikrokontroler w eksperymencie numer 15 skanuje stan czujników, aktywuje syrenę za pomocą przekaźnika, odbiera i weryfikuje sekwencję kodu wprowadzanego przez użytkownika chcącego wyłączyć alarm za pomocą klawiatury, a także obsługuje wiele innych funkcji.

Współczesne samochody są wyposażone w mikrokontrolery, które wykonują wiele skomplikowanych czynności, takich jak np. określenie kąta wyprzedzenia zapłonu, a także wiele prostszych czynności, takich jak uruchomienie sygnału dźwiękowego, gdy pasażer nie zapnie pasów bezpieczeństwa.

Mikrokontroler może wykonywać proste, ale ważne czynności, takie jak usuwanie skutków bezwładności styków przycisku lub generowanie dźwięku.

Jeżeli jeden mały układ scalony jest tak wszechstronny, to dlaczego nie stosujemy go wszędzie?

## Adekwatny dobór narzędzia do zadania

Mikrokontroler jest wszechstronnym i bardzo praktycznym narzędziem, ale nie jest narzędziem idealnym, które sprawdzi się w każdej sytuacji. Jest to układ wykonujący operacje logiczne pokroju „jeżeli stanie się to, to wykonaj tę operację, w przeciwnym wypadku zrób coś innego”. Zastosowanie mikrokontrolera zwiększa skomplikowanie projektu i oczywiście wymaga opanowania pewnych umiejętności — musisz opanować język programowania, dzięki któremu będziesz mógł zaprogramować układ we właściwy sposób.

Jeżeli nie chcesz uczyć się języka programowania, to możesz korzystać ze znalezionych w internecie programów napisanych przez innych użytkowników. Wiele konstruktorów korzysta z gotowych programów, ponieważ jest to mniej czasochłonne. W internecie znajdziesz tysiące darmowych programów dołączonych do bibliotek.

Gotowy program najprawdopodobniej nie będzie pracował dokładnie tak, jak tego chcesz. W związku

z tym będziesz musiał go zmodyfikować, a żeby to zrobić, będziesz musiał zrozumieć język programowania. W przeciwnym wypadku nie będziesz mógł skorzystać w pełni z możliwości mikrokontrolera.

Napisanie programu Arduino może być dość proste (zależy to od aplikacji). Jest to jednak proces wymagający wykonania kilku czynności. Działanie kodu musi zostać sprawdzone, a kod poddany procesowi usuwania błędów, co może być czasochłonne. Jeden mały błąd może spowodować nieprawidłową pracę całego programu. W takiej sytuacji musisz przejrzeć cały kod, znaleźć błąd i ponownie sprawdzić działanie programu.

Gdy program będzie działał poprawnie, efekty jego pracy mogą być imponujące. Uważam, że warto nauczyć się samodzielnie programować mikrokontroler, o ile Twoje oczekiwania są realistyczne.

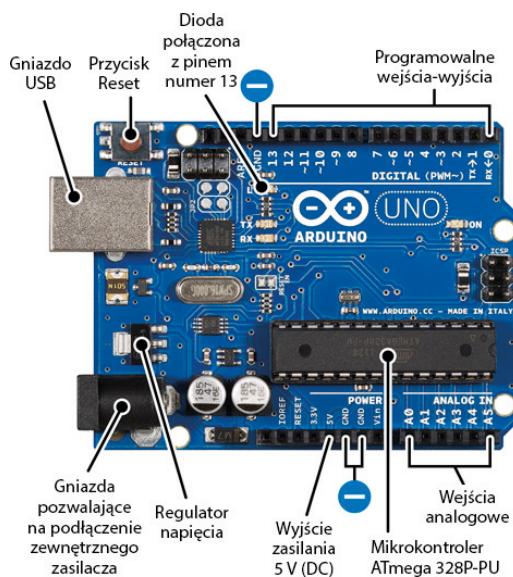
Musisz spróbować pracy z mikrokontrolerem — wtedy dowiesz się, czy jest to coś dla Ciebie.

## Jedna płytka, wiele czipów

Zacznę od odpowiedzi na proste pytanie. Czym jest Arduino?

Jeżeli myślisz, że jest to czip, to nie masz do końca racji. Każdy produkt z rodziny Arduino ma formę płytki obwodu zaprojektowanej przez firmę Arduino i wyposażonej w układ scalony innego producenta. Płytki Arduino Uno jest wyposażona w mikrokontroler Atmel ATmega 328P-PU. Na płytce znajdują się również: regulator napięcia, złącza pozwalające na podłączanie przewodów lub diod LED, rezonator kwarcowy, gniazdo zasilania i kontroler USB pozwalający na komunikację z komputerem. Na rysunku 5.79 przedstawiono zdjęcie płytki wraz z opisem niektórych komponentów.

Układ ATmega 328P-PU jest sześć razy tańszy od płytki Arduino, na której go zamontowano. Dlaczego płytki Arduino Uno jest kilkukrotnie droższa? Wiąże się to z kosztami opracowania płytki i obsługującego ją środowiska programistycznego.



Rysunek 5.79. Płytki Arduino Uno wyposażona w mikrokontroler ATmega 328P-PU firmy Atmel

**Zintegrowane środowisko programistyczne** Arduino zainstalowane na komputerze pozwala na tworzenie programów, ich **kompilację** (konwersję instrukcji napisanych w języku C rozumianym przez programistów na kod maszynowy rozumiany przez czip firmy Atmel) i wgrywanie do pamięci mikrokontrolera.

Na wszelki wypadek podsumuję to, co napisałem.

- Arduino jest płytka obwodu, na której zainstalowano mikrokontroler firmy Atmel.
- Środowisko programistyczne stworzone przez firmę Arduino pozwala na pisanie programów za pomocą komputera.
- Środowisko programistyczne Arduino umożliwia komplikację napisanego programu — stworzenie kodu obsługiwanej przez mikrokontroler.
- Środowisko programistyczne pozwala na zapisanie skompilowanego programu w pamięci mikrokontrolera.

Po zapisaniu kodu w pamięci mikrokontrolera płytka Arduino staje się zbędna. Teoretycznie mógłbyś wyjąć z niej układ ATmega328 i zainstalować go

na płytce prototypowej lub włączyć go w jakiś inny, stworzony przez Ciebie układ. Układ będzie wykonywał operacje zgodnie z programem zapisanym w pamięci.

W rzeczywistości tego typu operacja jest dość problematyczna. Więcej informacji na ten temat znajdziesz w książce *Programowanie układów AVR dla praktyków*, której autorem jest Elliot Williams. Dzięki tej książce dowiesz się, na czym polega przeszczerpieńie układu ATmega.

Warto się tego nauczyć, ponieważ będziesz mógł wtedy kupić dużo tanich układów Atmel i programować je za pomocą jednej płytka Arduino. Czip zaprogramowany za pomocą płytka Arduino będzie mógł zostać zamontowany na innej płytce i pracować samodzielnie, a płytka Arduino będzie mogła służyć do zaprogramowania kolejnych czipów przeznaczonych do użycia w kolejnych projektach.

Zadanie to jest dość łatwe do wykonania, jeżeli posiadasz płytę Arduino Uno z układem mikrokontrolera przeznaczonym do montażu przeplatanej zainstalowanym w gnieździe. Czip można wyjąć z gniazda za pomocą małego śrubokrętu lub palca wskazującego i kciuka. Istnieją płytki Arduino Uno wyposażone w czip przeznaczony do montażu powierzchniowego — takie rozwiązanie nie pozwala na demontaż mikrokontrolera.

## Czy należy bać się podróbek?

Po wyjaśnieniu podstaw czas na wyjaśnienie konfiguracji płytka Arduino.

Istnieje wiele modeli Arduino, ale będę pisał tylko o płytce Arduino Uno w wersji R3 lub nowszej.

Płytkę Arduino znajdziesz w ofercie wielu dostawców, ponieważ jest to projekt otwarty — każdy może tworzyć kopie tej płytki, podobnie jak każdy producent może tworzyć własne timer 555, ale cele produkcji obu tych komponentów są nieco inne.

W ofercie dostawców takich jak Mouser, Digikey, Maker Shed, Sparkfun i Adafruit znajdziesz oryginalne produkty firmy Arduino. Jednak w ofercie

serwisów aukcyjnych możesz znaleźć **nielicencjonowane**, trzykrotnie tańsze kopie tej płytki. Na nielicencjonowanych płytach Arduino nie znajdziesz logo Arduino pokazanego na rysunku 5.80.



Rysunek 5.80. Logo, które może znaleźć się tylko na płytach nielicencjonowanych przez Arduino

Nielicencjonowane płytki są legalne. Korzystanie z nich nie jest piractwem. Firma Arduino zdecydowała się na kontrolę jedynie znaku handlowego — nie mogą się nim posługiwać inni producenci. W praktyce niektórzy nieuczciwi producenci stosują logo Arduino, ale płytki te są o wiele tańsze od płyt licencjonowanych, a więc łatwo je rozpoznać. Sprawę nazewnictwa komplikuje spór pomiędzy Arduino i poprzednim producentem licencjonowanych płyt. Z powodu tego sporu oryginalne płytki Arduino są sprzedawane poza USA jako Genuino.

Czy nielicencjonowana płytki będzie działała prawidłowo? Ufam płytkom sprzedawanym w serwisach takich jak Adafruit, Sparkfun, Solarbotics, Evil Mad Scientist itp. Nie jestem w stanie przetestować ich wszystkich, a więc przy zakupie musisz oprzeć się na opinii innych użytkowników lub własnym zdaniu dotyczącym dostawcy. Pamiętaj o tym, że musisz kupić tylko jedną płytę. W przyszłości będziesz mógł używać jej do programowania wielu czipów firmy Atmel, o czym wspomniałem wcześniej. W związku z tym warto rozważyć zakup oryginalnego Arduino i wesprzeć firmę funduszami, które w przyszłości będzie ona mogła przeznaczyć na rozwój kolejnych produktów.

Sam korzystam z oryginalnej płytki Arduino.

## Instalacja

Zakładam, że kupiłeś płytę Arduino Uno lub jej solidny odpowiednik. Będziesz potrzebował również kabla USB zakończonego z jednej strony wtykiem typu A, a z drugiej wtykiem typu B (patrz rysunek 5.81). Kabel ten nie jest zwykle dołączany do płytki Arduino. Konfiguracji i testowania Arduino możesz dokonać za pomocą kabla odłączonego od innego urządzenia. Tanie kable USB znajdziesz w ofercie serwisów aukcyjnych takich jak np. Allegro.



Rysunek 5.81. Kabel pozwalający na połączenie płytki Arduino do komputera

Gdy masz już płytę i kabel, to czas uzyskać dostęp do środowiska programistycznego Arduino. Wejdź na stronę Arduino (<https://www.arduino.cc/>) i kliknij zakładkę *download*. Wybierz środowisko programistyczne przeznaczone do instalacji w posiadanym przez Ciebie systemie operacyjnym. Obecnie istnieją wersje przeznaczone do pracy w systemach Mac OS, Linux i Windows. Korzystam z wersji 1.6.3, ale moje instrukcje powinny również sprawdzić się w nowszych wersjach. Pobranie środowiska programistycznego Arduino jest darmowe.

Do uruchomienia środowiska potrzebujesz komputera z systemem operacyjnym: Windows XP lub nowszym, Mac OS X 10.7 lub nowszym, Linux (w wersji 32- lub 64-bitowej). Wymagania te są aktualne w momencie pisania tej książki. Mogą one ulec zmianie w przyszłości.

Opisana przeze mnie procedura instalacji środowiska programistycznego w trzech różnych systemach operacyjnych została oparta na książce

*Wprowadzenie do Arduino* Massimo Banziego i Michaela Shiloha. Instrukcje dotyczące instalacji oprogramowania Arduino znajdziesz również w serwisach SparkFun (<http://www.sparkfun.com/>) i Adafruit (<http://www.adafruit.com/>). Ponadto instrukcje te znajdziesz również na witrynie internetowej Arduino (<https://www.arduino.cc/>).

Niestety instrukcje te nie są jednoznaczne. Na przykład oficjalna witryna internetowa Arduino każe mi podłączyć płytę do komputera przed uruchomieniem instalatora, a książka *Wprowadzenie do Arduino* każe mi uruchomić instalator przed podłączeniem płytki. Co ciekawe, oba te źródła zostały stworzone we współpracy z twórcami platformy Arduino.

W poniższych sekcjach znajdziesz wskazówki dotyczące instalacji Arduino w każdym z trzech obsługiwanych systemów operacyjnych.

## Instalacja w systemie Linux

To chyba najtrudniejsze zadanie. Istnieje tak wiele wersji systemu Linux, że muszę skierować Cię na witrynę Arduino (<http://playground.arduino.cc/learning/linux>), gdzie znajdziesz wiele przydatnych wskazówek.

Żałuję, że nie mogę pomóc Ci w instalacji środowiska Arduino w systemie Linux.

## Instalacja w systemie Windows

Korzystam z procedury opisanej w książce *Wprowadzenie do Arduino*. Jest ona zgodna ze wskazówkami opublikowanymi w serwisie Sparkfun.

Nie podłączaj jeszcze płytę. Znajdź pobrany plik instalacyjny środowiska programistycznego Arduino. Będzie on miał nazwę *arduino-1.6.6-windows.exe* lub podobną (prawdopodobnie będzie się różnić numerem wersji). Rozszerzenie *.exe* na końcu nazwy pliku może nie być widoczne (wyświetlanie rozszerzeń zależy od konfiguracji systemu operacyjnego).

- W niektórych poradnikach znajdziesz informację o tym, że instalator trzeba najpierw

wypakować z archiwum *.zip*, ale od jakiegoś czasu instalator nie jest umieszczany w archiwum. Możesz uruchomić go bezpośrednio po pobraniu.

Kliknij dwukrotnie ikonę instalatora, a na ekranie wyświetla się komunikaty nie różniące się niczym od komunikatów wyświetlanych podczas instalacji innych programów.

Musisz zaakceptować warunki umowy licencyjnej (jeżeli ich nie zaakceptujesz, to nie będziesz mógł uruchomić środowiska).

Następnie instalator zapyta Cię, czy umieścić skróty na pulpicie i w menu *Start*. Pozwól na umieszczenie skrótu na pulpicie. Jeżeli chcesz, to możesz również umieścić skrót w menu *Start*.

Zostaniesz poproszony o wybór folderu, w którym ma zostać zainstalowane środowisko programistyczne Arduino. Najlepiej będzie, jeśli zaakceptujesz sugerowany folder domyślny.

Jeżeli jesteś tak jak ja dinozaurem wciąż korzystającym z systemu Windows XP (na świecie jest nas kilka milionów), to na ekranie Twojego komputera może zostać wyświetlony komunikat ostrzegawczy podobny do tego pokazanego na rysunku 5.82. Dokładna treść komunikatu zależy oczywiście od posiadanej przez Ciebie wersji systemu. Zignoruj ostrzeżenie, klikając przycisk *Kontynuuj*. Jeżeli zostaniesz



Rysunek 5.82. Użytkownicy systemu Windows XP powinni zignorować takie (lub podobne) ostrzeżenie

zapytany o pozwolenie na instalację sterowników urządzenia, kliknij przycisk *Tak*.

- W systemie Windows 8 zaimplementowano funkcję niepozwalającą na zainstalowanie niepodpisanych sterowników. Problem ten powinien zostać rozwiązany w najnowszych wersjach instalatora środowiska Arduino, ale jeżeli chcesz z jakiegoś powodu zainstalować starszą wersję środowiska, to wpisz w Google frazę *sparkfun disable driver signing*. Znajdziesz w ten sposób fragment strony serwisu Sparkfun, na której zamieszczono porady dotyczące wyłączenia sprawdzania podpisania sterowników.

Po zainstalowaniu środowiska podłącz płytę Arduino do komputera za pomocą kabla USB.

Płyta podłączona do komputera za pomocą przewodu USB nie wymaga dodatkowego zasilania za pośrednictwem okrągłego gniazda. Arduino jest zasilane za pośrednictwem kabla USB. Pamiętaj o tym, że korzystanie z krótszego i grubszego kabla zminimalizuje spadek napięcia. Jeżeli korzystasz ze starszego laptopa, to port USB może mieć ograniczone natężenie prądu zasilającego do 250 mA. Komputery stacjonarne powinny dostarczać prąd zasilający o natężeniu 500 mA, ale może on być dzielony pomiędzy trzy lub cztery porty. Urządzenia takie jak np. zewnętrzny dysk twardy charakteryzują się poborem prądu o znacznym natężeniu.

Przyjrzyj się płytce nawiązującej komunikację z komputerem. Zobaczysz zieloną diodę LED świecącą światłem stałym i błyskającą żółtą diodę LED. Ponadto dwie diody oznaczone etykietami *TX* i *RX* również powinny błyskać przez chwilę. Diody te sygnalizują transmisję i odbiór danych.

Znajdź skrót pozwalający na uruchomienie środowiska programistycznego Arduino. Nazywa się on po prostu *Arduino*. Instalator umieścił go na pulpicie. Jeżeli chcesz, to możesz go przenieść w inne miejsce. Kliknij go dwukrotnie w celu uruchomienia środowiska programistycznego Arduino.

W wyświetlonym oknie rozwiń menu *Narzędzia* i wejdź do sekcji *Port* (w środowisku uruchomionym w systemie Mac OS sekcja ta nosi nazwę *Porty szeregowe*). Na ekranie pojawi się lista portów szeregowych Twojego komputera. Nosią one nazwy *COM1*, *COM2* itd.

Czym jest port szeregowy? W czasach pierwszych wersji systemu Windows (i w czasach systemu MS-DOS) komputery nie były wyposażane w porty USB. Komputery w tamtych czasach korzystały z portów szeregowych (ich złącza miały kształt litery D). Komputer mógł być wyposażony w kilka takich portów, którym nadawano kolejne numery. System numeraacji portów jest wciąż używany w systemie Windows pomimo upływu kolejnych dziesięcioleci i tego, że protokół szeregowej transmisji danych jest bardzo rzadko stosowany w komputerach domowych.

Musisz po prostu wybrać numer portu, który został przypisany płytce Arduino Uno przez system Windows. Idealnie byłoby, gdybyś po wejściu w menu *Narzędzia/Porty* na liście portów zobaczył dopisek Uno i stojący obok niego znak haczyka. W takim przypadku nie musisz zaglądać do kolejnej sekcji poświęconej rozwiązywaniu problemów. Przejdź od razu do sekcji „Test — szkic Blink”.

## Windows — rozwiązywanie problemów

Możesz napotkać dwa problemy związane z przypisywaniem portu.

- W sekcji *Port* możesz widzieć na liście Arduino Uno, ale nie jest ono oznaczone haczykiem. Znakiem tym może być oznaczony inny port. Spróbuj wybrać właściwy porty. Na ekranie może wyświetlić się komunikat ostrzegający o możliwości wyboru złej płytki. Zignoruj go, kliknij pole *Nie pokazuj tego w przyszłości* i przejdź do sekcji „Test — szkic Blink”.
- Żaden z portów listy nie jest oznaczony dopiskiem Arduino Uno. W tym przypadku spisz dostępne porty COM. Zamknij menu środowiska i odłącz płytę od komputera. Odczekaj

pięć sekund i ponownie otwórz menu *Port*. Sprawdź, który port zniknął z listy. Zamknij menu *Port*. Ponownie podłącz Arduino do komputera. Wejdź w menu *Port*, sprawdź, czy port, który wcześniej zniknął, został ponownie dodany do listy, a następnie wybierz go. Przejdz do sekcji „Test — szkic Blink”.

System Windows pozwala na weryfikację konfiguracji portów. W menu *Start* wybierz *Pomoc i obsługa techniczna*. W oknie, które zostanie wyświetcone, w polu wyszukiwania wpisz **Menedżer urządzeń**. Menedżer urządzeń powinien pojawić się na pierwszym miejscu wyników wyszukiwania. Jeżeli korzystasz z systemu Windows XP, to w menedżerze urządzeń zobaczysz listę portów. W nowszych wersjach systemu Windows lista ta zostanie wyświetlona po wejściu do menu *Widok* i wybraniu opcji *Pokaż ukryte urządzenia*.

Na wyświetlanej liście powinieneś znaleźć Arduino Uno. Jeżeli obok tej ikony wyświetlony jest żółty okrąg lub wykrzyknik, to kliknij ją prawym przyciskiem myszy i zapoznaj się z komunikatem błędu.

Jeżeli system Windows wyświetli komunikat błędu informujący o tym, że nie może znaleźć sterownika odpowiedniego dla Twojej płytki, to jako lokalizację sterownika wskaż folder zawierający pliki utworzone przez instalator.

Środowisko programistyczne Arduino w systemie Windows może mieć problem, gdy przypisaleś już więcej niż dziewięć portów. To rzadka sytuacja, ale jeżeli dotyczy Ciebie, to spróbuj usunąć przypisanie jednego z portów, który posiada jednocyfrowy numer.

Jeżeli wciąż napotykasz jakieś problemy, to zajrzyj do sekcji „Gdy wszystko zawiodło”.

## Instalacja w systemie Mac OS

Po pobraniu instalatora znajdź go i kliknij dwukrotnie jego ikonę — zobaczysz obraz dysku zawierający środowisko programistyczne Arduino. Przeciągnij je do folderu *Aplikacje*.

Teraz możesz podłączyć Arduino do swojego komputera za pomocą kabla USB.

- Płytkę podłączona do komputera za pomocą przewodu USB nie wymaga dodatkowego zasilania za pośrednictwem okrągłego gniazda. Arduino jest zasilane za pośrednictwem kabla USB.

Przyjrzyj się płytce nawiązującą komunikację z komputerem. Zobaczysz zieloną diodę LED świecącą światłem stałym i błyskającą żółtą diodę LED. Ponadto dwie diody oznaczone etykietami TX i RX również powinny błyskać przez chwilę. Diody te sygnalizują transmisję i odbiór danych.

Jeżeli na ekranie pojawi się okno informujące o wykryciu nowego interfejsu sieciowego, to kliknij *Właściwości sieci*, a następnie *Zastosuj*. Płytkę Arduino Uno może pracować nawet ze statusem „nie skonfigurowano”. Zamknij okno.

Kliknij dwukrotnie ikonę środowiska programistycznego Arduino znajdującą się w folderze *Aplikacje*. Musisz wybrać port, do którego podłączono płytę Arduino. W menu *Narzędzia* wybierz w podmenu *Port* opcję */dev/cu.usbmodemfa141* (lub port o podobnej nazwie).

Jeżeli wszystko poszło zgodnie z opisem, to przejdź do sekcji „Test — szkic Blink”.

## Gdy wszystko zawiodło

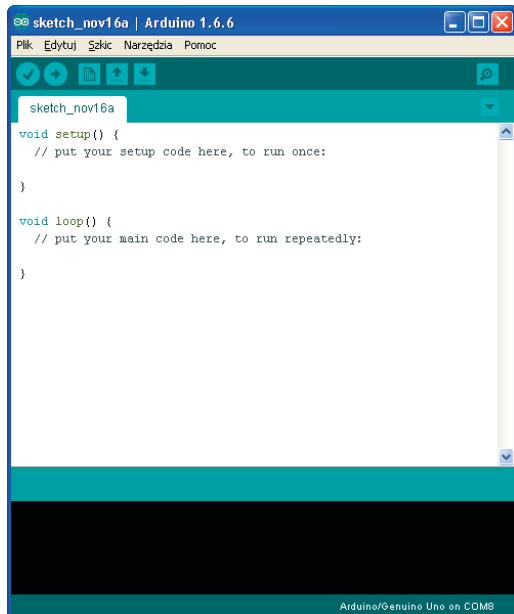
Niniejsza książka będzie dostępna przez dłuższy czas w księgarniach, a przynajmniej mam taką nadzieję. Niestety oprogramowanie zmienia się o wiele szybciej od treści książek. Gdy czytasz tę książkę, moje instrukcje dotyczące instalacji środowiska programistycznego Arduino mogą być już nieaktualne.

Postaram się aktualizować te instrukcje przy okazji ukazania się każdego kolejnego wydania tej książki, dzięki czemu będą one możliwie jak najaktualniejsze, ale oczywiście możesz trafić na starsze, nieaktualne już wydanie.

Co masz wtedy zrobić? Najlepiej, abyś zajrzał na stronę Arduino lub Sparkfun i poszukał tam informacji na temat procedury instalacji oprogramowania Arduino. Łatwiej jest dokonać aktualizacji strony internetowej niż książki.

## Test — szkic Blink

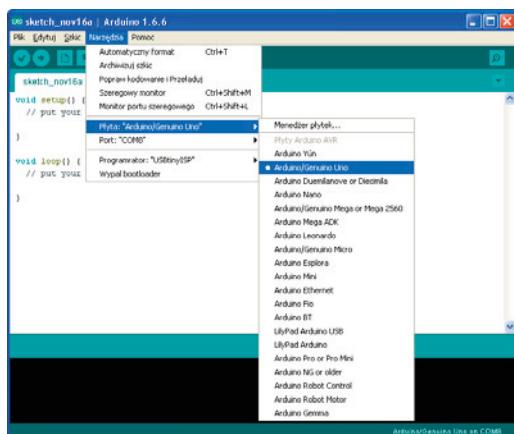
Zakładam, że uruchomiłeś środowisko programistyczne Arduino. Główne okno tego programu wygląda tak, jak pokazano na rysunku 5.83, ale jeżeli korzystasz z jego nowszej wersji, to wygląd Twojego okna może nieco odbiegać od zawartości wspomnianego rysunku.



Rysunek 5.83. Domyślne okno otwierane po uruchomieniu środowiska programistycznego Arduino

Przed przystąpieniem do programowania płytki Arduino musisz sprawdzić, czy środowisko programistyczne poprawnie wykryło wersję płytki podłączonej do komputera.

W głównym oknie środowiska programistycznego Arduino wejdź w podmenu *Płytki* znajdujące się w menu *Narzędzia*. Sprawdź, czy zaznaczona jest płytki Arduino Uno (patrz rysunek 5.84). Jeżeli nie, to kliknij jej nazwę.



Rysunek 5.84. Jeżeli pracujesz z płytą Arduino Uno, to obok jej nazwy powinna znajdować się kropka sygnalizująca jej wybór

Teraz możesz wydawać polecenia płytce Arduino. W górnej części przestrzeni roboczej środowiska programistycznego Arduino zobaczysz słowo *sketch*, a po nim dzisiejszą datę i literę a. Czym jest ten *szkic*? Czy będziemy rysować jakieś obrazy?

W środowisku programistycznym Arduino programy określa się mianem **szkiców** (ang. *sketch*). Być może wynika to z tego, że autorzy tego środowiska nie chcieli przytaczać ludzi bojących się programowania komputerów. Podobne rozwiązanie zastosował Steve Jobs i programy uruchamiane na urządzeniach przenośnych określił mianem aplikacji. Strategia zastosowana przez Jobsa była dobrym wyborem, ale konstruktory zwykle nie boją się programowania. Większość hobbystów *chce* nauczyć się programować komputery. Czy gdyby tak nie było, to ktoś czytałby tę książkę?

W środowisku Arduino programy określa się mianem szkiców, ale ja będę je dalej nazywał programami, ponieważ określenie „szkic” jest moim zdaniem dość niezdarne. Osoby publikujące materiały w internecie używają słowa „program” tak często, jak często używane jest słowo „szkic”.

Teraz chciałbym Ci przypomnieć właściwą kolejność czynności, które należy wykonać. Najpierw trzeba **nапisać program** w oknie środowiska

programistycznego. Następnie (po wybraniu odpowiedniej opcji środowiska) program należy **skompilować**. Na koniec program powinien zostać **załadowany** do pamięci Arduino. Płytką Arduino automatycznie uruchamia załadowany program.

W oknie środowiska programistycznego wyświetlany jest domyślny tekst widoczny na rysunku 5.83. Być może w przyszłości ulegnie on zmianie, ale zasada działania środowiska będzie nadal taka sama. Na początku niektórych linii będą znajdować się dwie kreski ukośne, np.:

```
// put your setup code here, to run once:
```

W ten sposób oznaczane są **wiersze zawierające komentarz**. Dzięki nim autor może wyjaśnić działanie programu.

- Podczas komplikacji programu linie rozpoczęte się od znaków // zostaną pominięte.

Kolejną interesującą linią jest:

```
void setup() {
```

Linia ta zawiera **kod programu**, który po komplikacji będzie wykonywany przez mikrokontroler. Każdy program musi rozpoczynać się od funkcji setup — teraz musisz wiedzieć tyle na temat tej linii kodu, ale mam nadzieję, że w przyszłości zaczniesz tworzyć własne programy.

Słowo void informuje kompilator o tym, że funkcja ta nie wygeneruje żadnych liczbowych danych wyjściowych.

Kod funkcji setup() zostanie wykonany tylko raz na początku działania programu.

Zwróć uwagę, że po zapisie setup() umieszczono nawias {.

- Kod każdej kompletnej funkcji języka C musi być otoczona nawiasami klamrowymi — { i }.

Po znaku { zawsze musi wystąpić znak }, a więc znak } musi znajdować się gdzieś na ekranie. Znajdziesz go kilka linii niżej. Pomiedzy znakami { i }

nie znajdziesz żadnego kodu, a więc funkcja ta jest jeszcze pozbawiona instrukcji, ale za chwilę je napiszesz.

- Umieszczenie znaków { i } w osobnych linijach nie ma znaczenia. Kompilator ignoruje znaki końca akapitu i białe spacje dłuższe od pojedynczej spacji rozdzielającej słowa.
- { i } nazywamy **nawiasami klamrowymi**.

Czas umieścić jakiś kod w pustej linii znajdującej się pod komentarzem `put your setup code here.` Umieść tam następujący fragment kodu:

```
pinMode(13, OUTPUT);
```

Linię tę musisz przepisać dokładnie. Kompilator nie toleruje literówek. Język C **rozróżnia wielkie i małe litery**, a więc nazwa pinMode musi być zapisana dokładnie w ten sposób, a nie np. jako pinmode lub Pinmode. OUTPUT musi zostać zapisane jako OUTPUT, a nie np. jako output lub Output.

Słowo pinMode jest poleceniem informującym Arduino Uno o tym, jak ma korzystać ze swoich pinów. Pin może odbierać dane (pracować w charakterze wejścia) lub wysyłać dane (pracować w charakterze wyjścia). Liczba 13 jest numerem pinu. Jeżeli przyjrzyisz się płytce Arduino, to zobaczyesz złącze oznaczone numerem 13 obok żółtej diody LED. Wybrany przeze mnie numer złącza jest tylko przykładową wartością.

Koniec instrukcji oznaczamy za pomocą średnika.

- Każda instrukcja musi kończyć się średnikiem. Nigdy o nim nie zapominaj!

Przejdź do pustej linii znajdującej się pod komentarzem:

```
// put your main code here, to run repeatedly.
```

Jest to kolejny komentarz (rozpoczyna się od dwóch ukośników). Informuje on o tym, że kod wpisany w tym miejscu będzie uruchamiany wielokrotnie. Treść komentarza zostanie zignorowana przez kompilator. Pod komentarzem umieść następujący kod:

```
void loop() {
```

```
digitalWrite(13, HIGH);  
delay(100);  
digitalWrite(13, LOW);  
delay(100);  
}
```

Jeżeli już kiedyś pracowałeś z Arduino, to zapewne pomyślałeś sobie „o nie, to znów szkic Blink”. Masz rację, ale mogłeś się tego domyślić już po tytule tej sekcji. Szkic ten jest najpopularniejszym programem przeznaczonym do sprawdzenia poprawności działania Arduino. Podany przez mnie kod różni się nieco od oryginalnego programu Blink — zmieniłem wartości opóźnień. Wpisz podany przeze mnie kod w oknie środowiska programistycznego Arduino. Wkrótce zajmiemy się nieco trudniejszymi zadaniami.

Może Cię również ciekawić, co oznaczają niektóre z poleceń.

Znaczenie zapisu `void` wyjaśnitem już wcześniej.

`loop()` jest instrukcją informującą Arduino o konieczności powtarzania czegoś. Co należy zrobić, aby jakiś ciąg instrukcji był wykonywany wielokrotnie? Umieść go pomiędzy nawiasami klamrowymi.

`digitalwrite` jest polecienniem wysyłającym coś za pomocą pinu. Którego pinu? Podałem pin numer 13, ponieważ tryb pracy tego pinu został określony wcześniej.

- Nie możesz korzystać z cyfrowego pinu, dopóki nie zdefiniujesz jego trybu pracy.

Co powinno stać się z pinem? Powinien na nim wystąpić sygnał wysoki (`HIGH`).

Nie zapomnij o średniku kończącym instrukcję.

Polecenie `delay` każe mikrokontrolerowi odczekać chwilę. Jak długą? Podana wartość 100 oznacza 100 milisekund. Sekunda składa się z 1000 milisekund, a więc Arduino poczeka jedną dziesiątą sekundy. W tym czasie pin numer 13 będzie podawał wysoki sygnał.

Funkcje dwóch kolejnych linii kodu powinieneś umieć określić samodzielnie.

Za chwilę będziesz mógł aktywować program, ale najpierw wtóż złącza diody LED do pinów oznaczonych etykietami 13 i `GND`.

1. Krótsze złącze diody LED powinno znaleźć się w pinie oznaczonym etykietą `GND`.
2. Dioda nie wymaga dodatkowego rezystora ograniczającego, ponieważ rezistor taki jest wbudowany w pin numer 13.

Mała żółta dioda LED znajdująca się na mojej płytce Arduino migała od razu po podłączeniu płytki. Dioda, którą podłączyłem, również zaczęła migać, ponieważ żółta dioda zamontowana na płytce Arduino jest podłączona równolegle do pinu numer 13.

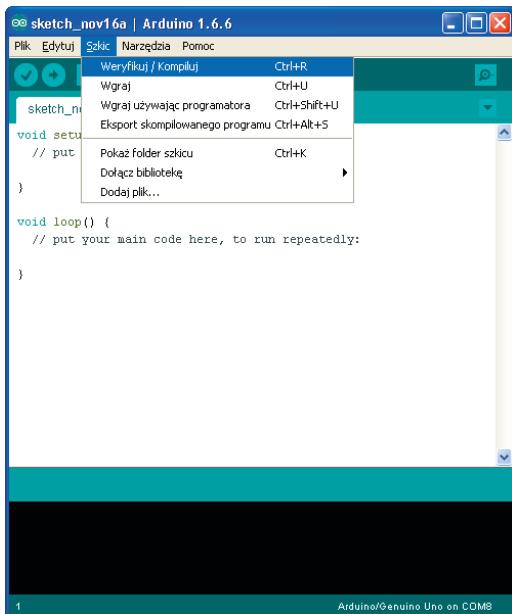
W starszych wersjach płytki Arduino Uno wbudowana dioda nie migała od razu po podłączeniu płytki do prądu. Być może w przyszłości funkcja ta zostanie wyłączona. Tak czy inaczej, nie ma to znaczenia, ponieważ napisany przez Ciebie program zmieni częstotliwość błysków diody.

## Weryfikacja i komplikacja

Czas sprawdzić, czy nie popełniłeś błędów podczas przepisywania kodu. Rozwiń menu `Szkic` i wybierz opcję `Weryfikuj/Kompiluj` (patrz rysunek 5.85). Środowisko sprawdzi poprawność wpisanego przez Ciebie kodu, a w razie wystąpienia w nim błędów wyświetli odpowiednie komunikaty.

Działanie weryfikacji kodu możesz sprawdzić, edytując kod swojego programu. Zmień `pinMode` na `pimode`, a następnie kliknij `Weryfikuj/Kompiluj` i zobacz, co się stanie.

W dolnym czarnym polu środowiska programistycznego zostanie wyświetlony komunikat błędu. Pole to możesz rozciągnąć za pomocą myszy, tak aby jednocześnie widzieć dwie linie tekstu komunikatu bez potrzeby przewijania go. Komunikat o błędnej deklaracji będzie miał treść `pinMode was not declared in this scope`.



Rysunek 5.85. Funkcję Weryfikuj/Kompiluj należy uruchomić przed zapisaniem programu w pamięci Arduino

Jak widzisz, w języku C występują specjalne **słowa zarezerwowane i zdefiniowane funkcje**. Skorzystałeś już z dwóch takich funkcji: `digitalWrite` i `delay`.

Kompilator informuje o niezadeklarowaniu funkcji `pinMode`, ponieważ nie jest to ani słowo zarezerwowane, ani zadeklarowana funkcja.

Popraw kod, aby program ulegał poprawnej komplikacji.

## Załaduj i uruchom

Teraz rozwiń menu *Plik* i wybierz *Załaduj*. Zawsze wyobrażam sobie, że kod programu jest pobierany przez małe Arduino z mojego dużego komputera, ale większość osób proces ten określa mianem ładowania, a więc to chyba one mają rację.

Jeżeli ładowanie zostanie zakończone pomyślnie, to w czarnym polu, w którym wcześniej wyświetlano komunikat o błędzie, zostanie wyświetlony komunikat **Ładowanie zakończone**.

Jeżeli ładowanie nie przebiegnie pomyślnie lub trwa bez końca, to znaczy, że masz jakiś problem z komunikacją. Prawdopodobnie wynika on z wybrania złego portu COM. Wróć do sekcji, w której opisałem procedurę rozwiązywania problemów, ale najpierw zapisz swój program. Rozwiń menu *Plik*, wybierz opcję *Zapisz*, a następnie nadaj swojemu programowi nazwę. Po rozwiązaniu problemu z portem COM będziesz mógł ponownie spróbować załadować program.

Jeżeli wszystko zadziałało poprawnie, to żółta dioda LED wbudowana w płytę Arduino, a także dioda, którą do tej płytki podłączyłeś, będą szybko migły — diody będą włączane na 1/10 sekundy, a następnie wyłączone na kolejną 1/10 sekundy zgodnie z napisanym przez Ciebie programem.

Może Ci się wydawać, że to dość mizerne osiągnięcie jak na wykonanie tak wielu czynności, ale od czegoś trzeba zacząć. Programowanie większości mikrokontrolerów zaczyna się od migania diodami LED. W kolejnym eksperymencie napiszesz nowy program, który będzie robił coś znacznie bardziej praktycznego.

Oto podsumowanie zdobytej przez Ciebie wiedzy dotyczącej programowania Arduino. Stanowi ono spis kolejnych kroków, które należy wykonać, aby zaprogramować Arduino.

- Otwórz nowy program (program w środowisku Arduino określa się mianem szkicu).
- Jeżeli to konieczne, to z menu *Plik* wybierz opcję *Nowy*.
- Każdy program musi rozpoczynać się funkcją `setup`, która zostanie uruchomiona tylko raz.
- Musisz zadeklarować numer cyfrowego pinu, a także tryb jego pracy. Zastosuj w tym celu polecenie `pinMode`. Powinieneś to zrobić przed wykonaniem innych operacji związanych z tym pinem.
- Pin może działać jako wejście (`INPUT`) lub wyjście (`OUTPUT`).

- Nie wszystkie numery pinów są poprawne. Spójrz na oznaczenia znajdujące się na Twojej płytce.
- Każdą funkcję lub blok programu muszą otaczać nawiasy klamrowy, które mogą znajdować się w oddzielnych liniach.
- Kompilator ignoruje znaki końca wiersza i dodatkowe białe spacje.
- Każda instrukcja znajdująca się w funkcji lub bloku musi kończyć się średnikiem.
- Każdy program Arduino musi zawierać funkcję `loop` umieszczoną po funkcji `setup`. Funkcja `loop` jest wywoływana wielokrotnie.
- Polecenie `digitalWrite` może być użyte do podania na pinie pracującym w charakterze wyjścia sygnału wysokiego (`HIGH`) lub niskiego (`LOW`).
- Polecenie `delay` zatrzymuje pracę Arduino na określoną liczbę milisekund (tysięcznych części sekundy).
- Liczby podawane w nawiasach znajdujących się po nazwach polecień to **parametry**, które informują Arduino o tym, jak dane polecenie należy wykonać.
- Zanim spróbujesz załadować szkic do pamięci Arduino, sprawdź jego poprawność za pomocą polecenia *Weryfikuj/Kompiluj* znajdującego się w menu *Szkic*.
- Musisz poprawić wszystkie błędy wykryte podczas weryfikacji.
- Zarezerwowane słowa znajdują się w zbiorze poleczeń obsługiwanych przez Arduino. Nie możesz popełniać w nich błędów typu literówki. Arduino rozróżnia wielkie i małe litery.
- Po załadowaniu programu do pamięci Arduino zostanie on automatycznie uruchomiony i będzie działał aż do odłączenia płytki od zasilania lub załadowania nowego programu.
- Obok złącza USB płytki Arduino Uno znajduje się mikroprzełącznik oznaczony etykietą

**Reset.** Wciśnięcie tego przycisku spowoduje uruchomienie programu wykonywanego przez Arduino od początku i przywrócenie wartości domyślnych dla wszystkich zmiennych obsługiwanych przez program.

## UWAGA: Kod jest kasowany

Jeżeli zmodyfikujesz kod programu i załadasz go do pamięci mikrokontrolera, to nowa wersja programu **nadpisze** jego starą wersję. Innymi słowy, poprzednia wersja programu zostanie skasowana. Jeżeli nie zapisz jej na swoim komputerze w postaci pliku o innej nazwie, to nie da się odzyskać kodu poprzedniej wersji programu. Zachowaj ostrożność, tądując zmodyfikowane wersje programów. Warto zapisywać każdą z wersji programu na swoim komputerze i nadawać im różne nazwy.

Nie ma możliwości odczytania kodu załadowanego do pamięci mikrokontrolera.

## Programowanie polega na uważaniu na szczegóły

Nie wiem, czy to zauważysz, ale w poprzednim eksperymencie podsumowanie rzeczy, które należy zapamiętać, było o wiele dłuższe niż w przypadku wcześniejszych eksperymentów. Napisanie programu wymaga zwracania uwagi na wiele szczegółów — niedopuszczalne są nawet najmniejsze błędy. Osobiście uważam to za zaletę programowania, ponieważ napisany poprawnie program będzie zawsze działał poprawnie. Programy nie zużywają się. Jeżeli zapiszesz je na odpowiednim nośniku, to mogą przetrwać wieki. Programy, które napisałem w latach 80. ubiegłego wieku, działają nadal pomimo upływu ponad 30 lat. Można je uruchomić w oknie DOS-a na współczesnym komputerze.

Nie wszyscy lubią pracę wymagającą uważania na szczegóły, niektórzy często popełniają literówki lub po prostu nie lubią sztywnych ram narzuconych przez język programowania (wymagań takich jak np. konieczność **każdorazowego** rozpoczęcia programu od funkcji `setup`, nawet gdy nie jest ona

potrzebna). Każda osoba zajmująca się elektroniką ma nieco inne preferencje. Gdyby każdy chciał programować, a nikt nie chciałby łączyć komponentów, to współczesne komputery nie mogłyby powstać. Wybór obszaru, w którym chcesz się specjalizować, zależy od Ciebie.

W dalszej części tego rozdziału będę kontynuował tematykę związaną z programowaniem. W kolejnym eksperymencie pokażę, że niektóre rzeczy łatwiej jest zrobić za pomocą mikrokontrolera niż za pomocą obwodu składającego się z wielu komponentów elektronicznych.

Zanim zakończę ten eksperyment, chciałbym opisać, co dzieje się w momencie odłączenia Arduino od komputera.

- Arduino wymaga zasilania do **wykonywania** programu.
- Arduino nie wymaga zasilania do **przechowywania** programu. Program jest przechowywany w pamięci mikrokontrolera tak jak dane w pamięci masowej typu flash.
- Jeżeli chcesz uruchomić program, gdy płytka Arduino nie jest podłączona do komputera, to musisz podłączyć ją do zasilania za pomocą okrągłego, czarnego gniazda znajdującego się w pobliżu gniazda USB.
- Arduino może być zasilane prądem stałym o napięciu od 7 do 12 V. Nie wymaga ono stosowania zewnętrznych regulatorów napięcia. Płytki mikrokontrolera wyposażona jest we własny regulator, który dostarcza do znajdujących się na niej obwodów prąd stały o napięciu 5 V (niektóre płytki Arduino pracują pod napięciem 3,3 V, ale nie są to płytki Uno).
- Gniazdo zasilające ma średnicę 2,1 mm. Środkowy bolec złącza charakteryzuje się dodatnią polaryzacją. Możesz kupić tani zasilacz sieciowy dostarczający prąd stały o napięciu 9 V, który będzie fabrycznie wyposażony w kabel zakończony odpowiednią wtyczką.

- Jeżeli podłączysz kabel zasilający do Arduino, które jest podłączone do komputera za pomocą kabla USB, to Arduino automatycznie będzie korzystało z zewnętrznego źródła prądu.
- Arduino możesz odłączać od komputera, kiedy tylko chcesz. Nie musisz korzystać z opcji „bezpiecznego usuwania sprzętu” występującej w niektórych wersjach systemu Windows.

## TEORIA: Historia i różnorodność programowalnych czipów

W fabrykach i laboratoriach wiele procedur musi mieć charakter powtarzalny. Czujnik przepływu może mieć za zadanie sterowanie elementem systemu ogrzewania. Czujnik ruchu musi utrzymywać właściwą prędkość obrotową silnika. Mikrokontrolery doskonale nadają się do sterowania takimi rutynowymi zadaniami.

Pierwszą serię mikrokontrolerów wprowadziła na rynek firma General Instruments w roku 1976. Układy te określiła akronimem PIC. W zależności od źródła historycznego ten angielszczyzny akronim należy rozwijać jako „programowalny inteligentny komputer” lub „kontroler o programowalnym interfejsie”. Marka PIC została sprzedana firmie Microchip Technology, która jest jej obecnym właścicielem.

Płytki Arduino wyposażone są w mikrokontrolery firmy Atmel, ale w celach naukowych i hobbyistycznych stosuje się również układy typu PIC licencjonowane przez brytyjską firmę Revolution Education Ltd. Brytyjczycy produkowane przez siebie układy określają mianem PICAXE. Zmiana nazwy miała jedynie cel marketingowy i mam wrażenie, że nie był to udany zabieg.

Układy z rodziny PICAXE są obsługiwane za pomocą innego środowiska programistycznego, opartego na innym języku — BASIC. Pewne aspekty tego języka sprawiają, że jest on łatwiejszy od C. Inna rodzina mikrokontrolerów — BASIC Stamp — jest również programowana za pomocą języka BASIC, ale obsługują one również dodatkowe funkcje i polecenia.

W Wikipedii znajdziesz artykuł zawierający zbiór podstawowych informacji na temat układów PICAXE i ich funkcji. Artykuł ten jest lepszy od informacji zawartych na oficjalnej stronie PICAXE.

W przeciwieństwie do Arduino czipy PICAXE nie wymagają zakupu specjalnej płytki programatora. Można je zaprogramować za pomocą zmodyfikowanego kabla USB przy użyciu specjalnego, darmowego środowiska programistycznego.

Podstawowe informacje dotyczące czipów PICAXE umieściłem w pierwszym wydaniu tej książki. Jeżeli układy te zainteresowały Cię, to możesz poszukać pierwszego wydania tej książki na rynku wtórnym.

## PODSTAWY: Wady i zalety

Dysponujesz już podstawowymi wiadomościami pozwalającymi na rozważenie zastosowania mikrokontrolera w projekcie.

## Trwałość

Pamięć flash, w której zapisywany jest program czipu ATmega328, według producenta powinna wytrzymać 10 000 operacji odczytu-zapisu. Układ ten automatycznie uniemożliwia zapis danych w uszkodzonych komórkach pamięci. W związku z tym można uznać, że mikrokontroler będzie charakteryzował się niemal nieskończoną trwałością. W praktyce nie wiadomo, czy układy te będą charakteryzować się taką samą trwałością jak klasyczne układy logiczne, które wciąż działają pomimo upływu 40 lat od ich wyprodukowania. Czy jest to ważne zagadnienie? Sam o tym zdecyduj.

## Starzenie się

Mikrokontrolery starzeją się dość szybko w miarę postępu technologicznego. Gdy pisałem pierwsze wydanie tej książki, Arduino było nowością. Nie wiadomo było, jak zostanie przyjęte. Obecnie Arduino jest najpopularniejszym mikrokontrolerem używanym przez elektroników hobbystów, ale co będzie za kolejne pięć lat? Nikt tego nie wie. Raspberry Pi jest

przykładem komputera zamkniętego w pojedynczym czipie. Nie wiadomo, czy ta konstrukcja lub jakaś inna nie stanie się popularniejsza od Arduino.

Jeżeli Arduino pozostanie najczęściej stosowanym mikrokontrolerem, to i tak należy pamiętać o tym, że tworzone są jego kolejne wersje i wydawane są kolejne aktualizacje środowiska programistycznego, które są wymagane, aby zaprogramować nowe czipy. Tak czy inaczej, musisz śledzić rozwój rynku mikrokontrolerów, bo być może będziesz musiał zmienić markę układów, z których korzystasz.

W przypadku pojedynczych komponentów przeznaczonych do montażu przeplatanej mamy do czynienia z sytuacją odwrotną — komponenty te osiągnęły koniec cyklu rozwojowego. Co prawda stosunkowo niedawno pojawiły się nowości takie jak kodery obrotowe lub małe ekranы LEC i LCD, ale większość nowych produktów jest przeznaczona do współpracy z mikrokontrolerami. Wiedza dotycząca tranzystorów, diod, kondensatorów, układów logicznych i wzmacniaczy będzie zatem aktualna przez przynajmniej 10 kolejnych lat.

## Obwody hybrydowe

Ostatnie, ale chyba najważniejsze zagadnienie: mikrokontrolery nie mogą pracować samodzielnie. Zawsze muszą współpracować z innymi komponentami. Często są to po prostu przełączniki, rezystory lub diody LED. Komponenty te muszą być kompatybilne z wejściami i wyjściami mikrokontrolera.

W związku z tym, aby skorzystać z mikrokontrolera, musisz dysponować wiedzą ogólną dotyczącą elektroniki. Musisz rozumieć podstawowe zagadnienia takie jak napięcie, natężenie, pojemność i indukcja. Powinieneś również poznać niektóre zagadnienia związane z tranzystorami, diodami, wyświetlaczami alfanumerycznymi, bramkami logicznymi, które przedstawiłem w tej książce. A jeżeli masz zamiar wykonać prototyp obwodu, to musisz umieć postugiwać się lutownicą.

Biorąc to wszystko pod uwagę, możemy podsumować wady i zalety stosowania mikrokontrolerów i pracy z komponentami dyskretnymi.

## Komponenty dyskretne — zalety

Prostota.

Natychmiastowy efekt.

Nie trzeba posługiwać się językiem programowania.

Tanie w przypadku małych obwodów.

Dzisiejsza wiedza będzie przydatna również w przyszłości.

Lepiej sprawdzają się w zastosowaniach analogowych takich jak technologia audio.

Tworząc układ w oparciu o mikrokontroler, musisz zastosować w nim komponenty dyskretne.

Czasochłonny proces projektowania: napisz kod, wgraj program do pamięci, sprawdź jego działanie, wnieś poprawki, ponownie wgraj program do pamięci. Oprócz wykonania tych czynności należy rozwiązać również wszystkie problemy związane z fizycznymi aspektami pracy obwodu.

Szybki postęp technologiczny wymaga ciągłej nauki.

Każdy mikrokontroler charakteryzuje się własnymi, odrębnymi funkcjami. Nauka obsługi danego układu wymaga czasu.

Większy stopień skomplikowania obwodu oznacza więcej możliwych kłopotów.

Wymóg posiadania komputera stacjonarnego lub laptopa, na którym można zapisywać kod programu. Możliwość przypadkowej utraty danych.

Mikrokontrolery, podobnie jak układy logiczne, muszą być zasilane (zwykle prądem stałym o napięciu 5 lub 3,3 V). Ograniczone natężenie prądu na pinach wyjściowych (zwykle do 40 mA lub mniejszej wartości). W przeciwieństwie do timera 555 brak możliwości obsługi przekaźnika lub głośnika w sposób bezpośredni. Obsługa urządzeń pobierających prąd o większym natężeniu wymaga zastosowania zewnętrznego układu — sterownika.

## Podsumowanie

Teraz mogę odpowiedzieć na pytanie, czy warto korzystać z mikrokontrolera, czy lepiej jest tworzyć obwód w oparciu o komponenty dyskretne.

Potrzebujesz obu rozwiązań. W związku z tym w książce, która głównie dotyczy komponentów dyskretnych, umieściłem podstawowe wiadomości na temat mikrokontrolerów.

W kolejnym eksperymencie dowiesz się, jak mikrokontroler może współpracować z czujnikiem.

## Mikrokontrolery — zalety

Duża wszechstronność — mikrokontrolery mogą wykonywać wiele różnych zadań.

Wprowadzanie poprawek jest proste — wystarczy przeprogramować układ.

Duży wybór darmowych bibliotek.

Idealne do zastosowań wymagających kompleksowego przetwarzania sygnałów logicznych.

## Mikrokontrolery — wady

Duży koszt w przypadku pracy nad małym obwodem.

Konieczność opanowania języka programowania.

## Eksperiment 33: Interakcja z otoczeniem

Przycisk może domykać obwód lub jego styki mogą być rozwarte, ale większość danych dotyczących otaczającego nas świata przyjmuje całe spektrum wartości. Termistor jest przykładem czujnika, który charakteryzuje się rezystancją zależną od aktualnej temperatury.

Mikrokontroler w praktyce powinien przetwarzanie tego typu dane. Do wejścia mikrokontrolera można podłączyć termistor, dzięki czemu układ logiczny mógłby działać jak termostat — włączać grzejnik, gdy temperatura spadnie poniżej minimalnej wartości, a wyłączać go, gdy temperatura podniesie się do zadanej wartości.

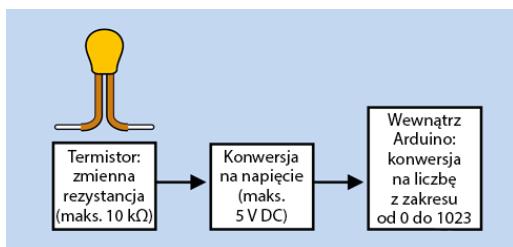
Układ ATmega328 zainstalowany na płytce Arduino Uno nadaje się do takich zastosowań, ponieważ część jego złączy oznaczono etykietą „wejścia analogowe”. Wejścia te potrafią rozróżnić o wiele więcej stanów sygnału wejściowego niż wejścia cyfrowe rozpoznajjące tylko dwa sygnały logiczne: „wysoki” i „niski”. Sygnał odbierany przez wejścia analogowe jest przetwarzany przez **przetwornik analogowo-cyfrowy** (przetwornik A/C).

W przypadku Arduino pracującego pod napięciem 5 V napięcie sygnału wejściowego musi mieścić się w zakresie od 0 do 5 V (tak naprawdę możliwe jest przetwarzanie sygnału o wyższym napięciu, ale wymaga to zastosowania pewnych rozwiązań, które opiszę później). Termistor nie generuje napięcia. Komponent ten po prostu zmienia swoją rezystancję. W związku z tym trzeba wymyślić sposób pozwalający na przełożenie zmian rezystancji na zmiany napięcia.

Po opracowaniu tego rozwiązania przetwornik A/C znajdujący się wewnętrz mikrokontrolera zmienia wartość napięcia na liczbę z zakresu od 0 do 1023. Skąd taki zakres wartości? Przetwornik generuje liczbę dziesięciobitową i nie jest wystarczająco dokładny, aby generować większy (gęstszy) zakres wartości.

Wartość wygenerowana przez przetwornik może zostać porównana z wartością docelową, a na podstawie tego porównania mikrokontroler może wykonać odpowiednią operację, taką jak zmiana sygnału generowanego na wyjściu, do którego podłączony jest przekaźnik tranzystorowy włączający grzejnik.

Na rysunku 5.86 przedstawiono sekwencję, na początku której znajduje się termistor, a na końcu mierzona wielkość wyrażana jest za pomocą liczby.



Rysunek 5.86. Uproszczony schemat obsługi termistora

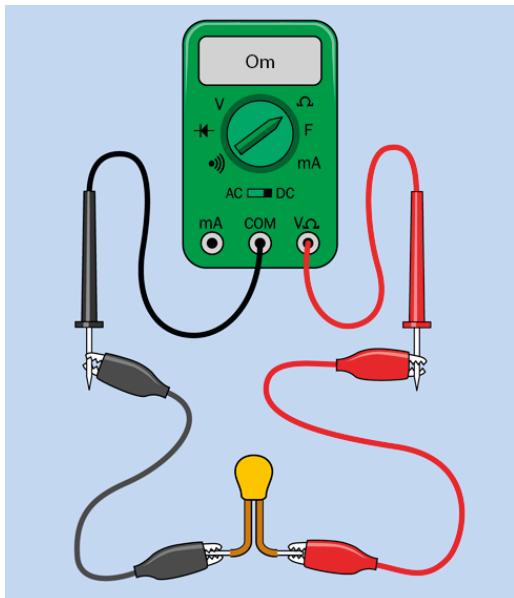
Następujący eksperyment pozwoli Ci zrozumieć, jak zrobić to w praktyce.

### Potrzebne będą:

- płytka prototypowa, drut połączeniowy, szczypce do cięcia drutu, przyrząd do zdejmowania izolacji z drutu, multimeter z przewodami probierczymi,
- termistor  $10\text{ k}\Omega$  charakteryzujący się dokładnością 1% lub 5% (liczba: 1), musisz kupić komponent typu NTC — rezystancja takiego komponentu maleje wraz ze wzrostem temperatury, komponent typu PTC działa odwrotnie,
- płytka Arduino Uno, liczba: 1,
- laptop lub komputer stacjonarny z wolnym portem USB, liczba: 1,
- kabel USB z jednej strony zakończony wtykiem typu A, a z drugiej wtykiem typu B, liczba: 1,
- rezystor  $6,8\text{ k}\Omega$ , liczba: 1.

## Korzystanie z termistora

Na początek poznaj swój termistor. Komponent ten charakteryzuje się bardzo cienkimi złączami, które zabezpieczają go przed temperaturą przekazywaną przez podłączone do niego elementy obwodu — dzięki temu na rezystancję komponentu wpływa tylko temperatura jego końca. Złącza termistora są zbyt cienkie, aby można je było unieruchomić w otworach płytki prototypowej. W związku z tym sugeruję Ci umieszczenie ich w zaciskach typu krokodyl przewodów probierczych. Przewody te należy następnie podłączyć do przewodów probierczych multimetru (patrz rysunek 5.87).



Rysunek 5.87. Testowanie termistora

Zalecanym przeze mnie termistor charakteryzuje się znamionową rezystancją  $10\text{ k}\Omega$ . Jest to maksymalna rezystancja stawiana przez ten komponent w bardzo niskiej temperaturze. Wartość rezystancji termistora nie zmienia się drastycznie aż do temperatury  $25^\circ\text{C}$ . W wyższych temperaturach spadek rezystancji następuje o wiele gwałtowniejszy.

Możesz to sprawdzić za pomocą multimetru. W temperaturze pokojowej termistor powinien charakteryzować się rezystancją około  $9.5\text{ k}\Omega$ . Złap termistor palcem wskazującym i kciukiem. Ciepło emitowane

przez Twoje ciało rozgrzewa termistor, powodując spadek rezystancji. Ciało człowieka charakteryzuje się temperaturą około  $37^\circ\text{C}$ . W tej temperaturze termistor stawia opór elektryczny około  $6.5\text{ k}\Omega$ .

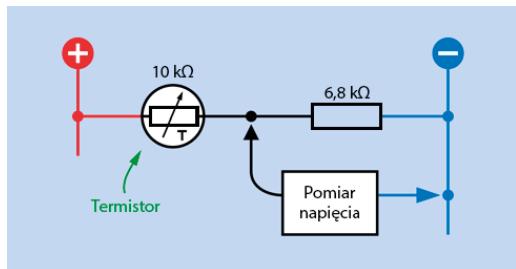
Jak można zamienić ten zakres rezystancji na napięcie zmieniające się od 0 do 5 V (wymaga tego mikrokontroler)?

Po pierwsze, maksymalne napięcie generowane przy wysokiej temperaturze pokojowej powinno być niższe od 5 V. Świat jest nieprzewidywalny. A jeżeli obok termistora umieścisz urządzenie generujące o wiele wyższą temperaturę, takie jak np. lutownica, lub położysz go w miejscu ogrzewanym ciepłem emitowanym przez elementy elektroniczne?

Oto pierwsza lekcja związana z przetwarzaniem sygnałów analogowych na cyfrowe: bierz pod uwagę niespodziewane, ekstremalne wartości mierzonych wielkości.

## Konwersja zakresu

Najprostszym sposobem przełożenia rezystancji termistora na napięcie jest określenie oporu rezystora, który następnie należy połączyć szeregowo z termistorem. Komponenty te utworzą dzielnicę napięcia. Rezystor powinien charakteryzować się oporem elektrycznym zbliżonym do oporu termistora przy temperaturze znajdującej się w środku interesującego nas zakresu. Połączone szeregowo komponenty należy podłączyć pomiędzy potencjały 0 V i 5 V. Pomiaru napięcia należy dokonywać w punkcie znajdującym się pomiędzy wspomnianymi komponentami (patrz rysunek 5.88).



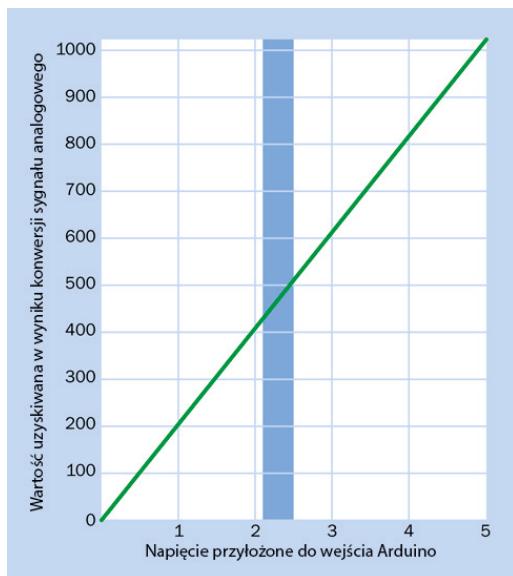
Rysunek 5.88. Najprostszy układ pozwalający na pomiar zmian rezystancji termistora za pomocą napięcia

Arduino jest wyposażone w regulator napięcia dostarczający prąd stały o napięciu 5 V (patrz rysunek 5.79), ale pracując bez Arduino, musiałbyś skorzystać z zewnętrznego regulatora napięcia. Układ dwóch komponentów zainstalowanych na płytce prototypowej należy podłączyć za pomocą drutów do pinów Arduino oznaczonych etykietami 5V i GND.

Gdy układ ten podłączylem do multimetru, to wzrost temperatury z 25°C do 37°C pociągnął za sobą zmianę rezystancji w zakresie od 2,1 V do 2,5 V. Wykonaj ten eksperyment na swoim układzie.

Oczywiście korzystamy z zakresu napięć, które będą mogły być kierowane do wejść mikrokontrolera. Problem stanowi zbyt wąski zakres fluktuacji napięcia, który nie pozwala na osiągnięcie wystarczającej dokładności pracy układu.

Na rysunku 5.89 przedstawiono wartości liczbowe uzyskiwane w wyniku konwersji analogowego sygnału charakteryzującego się zmennym napięciem. Kolorem niebieskim oznaczono zakres od 2,1 V do 2,5 V. Ten zakres napięcia będzie określany za



Rysunek 5.89. Wykres wartości uzyskiwanych w wyniku konwersji sygnału analogowego; niebieskim prostokątem oznaczono zakres napięć generowany przez termistor 10 k $\Omega$  połączony szeregowo z rezystorem 6,8 k $\Omega$  (pokrywa on zakres temperatur od 25°C do 37°C)

pomocą liczb od 430 do 512, czyli przy użyciu zaledwie 82 wartości z 1024 dostępnych.

Praca z tak ograniczonym zakresem wartości będzie przypominała korzystanie z kilku pikseli wyciętych z fotografii o dużej rozdzielczości. Na takim wycinku będzie brakowało szczegółów. Czy nie byłoby lepiej, gdybyśmy jakoś dokonali konwersji napięć, tak aby pokrywał on zakres około 500 wartości?

Można to zrobić, wzmacniając napięcie, ale wymagałoby to zastosowania dodatkowego komponentu takiego jak wzmacniacz operacyjny. Jest to możliwe, ale zastosowanie wzmacniacza wymaga podłączenia do niego rezystora sprzężenia zwrotnego i zwiększy komplikację obwodu. Korzystanie z mikrokontrolera powinno zmniejszać stopień komplikacji obwodu.

Kolejną opcją jest określenie niższego napięcia maksymalnego, ale wymaga do przyłożenia nowego maksymalnego potencjału do jednego z pinów Arduino. W celu wygenerowania tego napięcia musiałbym stworzyć kolejny dzielnik napięcia, a następnie ponownie przeliczyć napięcia na wartości generowane przez przetwornik analogowo-cyfrowy. Chciałbym tego uniknąć, przynajmniej dopóki nie będę dysponował wstępnią, działającą wersją programu.

Po przemyśleniu tego zagadnienia doszedłem do wniosku, że być może pozostać przy 82 wartościach określających zmianę temperatury od 25°C do 37°C. Pomiar będzie dokonywany z dokładnością do około 0,14°C. Jest to zbyt mała dokładność w przypadku termometru lekarskiego, ale w przypadku pomiaru temperatury pomieszczenia wydaje się być ona wystarczająca.

## Połączenia

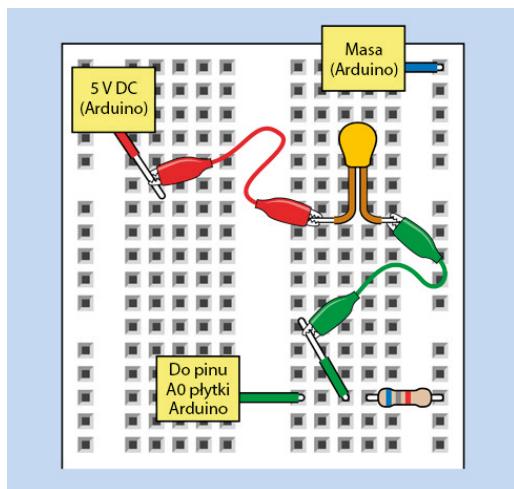
Spróbujmy wykonać ten projekt. Czy wciąż będziemy korzystać z płytki Arduino Uno, na której zainstalowano mikrokontroler?

Tak! Komponenty tworzące obwód można połączyć na trzy sposoby:

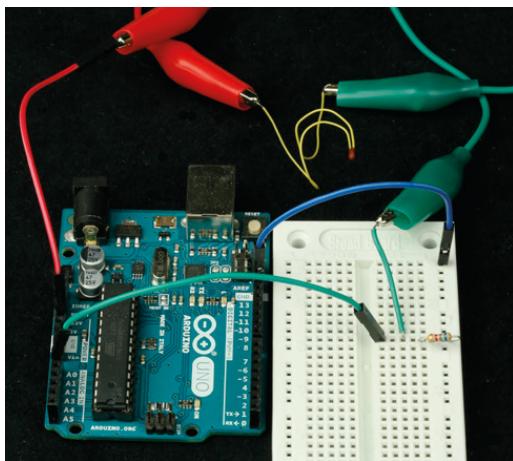
- Możesz kupić płytkę **protoshield**, która jest małą płytka prototypową nakładaną na

Arduino Uno (podłączaną bezpośrednio do pinów płytka Arduino). Nie lubię tego rozwiązania, ponieważ oddala ono nas od wykonania ostatecznej wersji obwodu na standardowej płytce prototypowej.

- Możesz wyjąć czip mikrokontrolera znajdujący się na płytce Arduino Uno i wpuścić go w płytkę prototypową, na której zainstalujesz później pozostałe komponenty obwodu, ale nie mógłbyś wtedy zaprogramować mikrokontrolera, a dodatkowo na płytce prototypowej musiałbyś umieścić oscylator, dzięki



Rysunek 5.90. Łączenie obwodu termistora z płytą Arduino



Rysunek 5.91. Obwód termistora połączony z płytą Arduino za pomocą przewodów połączeniowych

któremu mikrokontroler działały na płytce prototypowej z taką samą prędkością jak na płytce Arduino Uno.

- Możesz wpuścić termistor i rezystor w płytkę prototypową, a następnie doprowadzić do nich napięcie z płytki Arduino za pomocą kabla połączeniowego. W taki sam sposób dostarczasz obecnie dodatnie napięcie i masę do płytki prototypowej. Rozwiązanie takie może nie wyglądać najlepiej, ale korzysta z niego większość konstruktorów. Po skończeniu pracy nad programem i zbudowaniu ostatecznej wersji obwodu być może przenesiesz mikrokontroler w inne miejsce, ale na razie najwygodniej będzie, gdy zostawisz go na płytce Arduino Uno.

Schemat wykonawczy obwodu przedstawiono na rysunku 5.90. Na rysunku 5.91 przedstawiono obwód gotowy do pracy. Muszę przyznać, że zastosowanie krótkich kabli zakończonych wtykami jest wygodnym rozwiązaniem, ale i tak nie ufam im całkowicie.

## Gdzie są efekty pracy przetwornika?

Teraz możemy przystąpić do przetwarzania analogowego sygnału wejściowego na cyfrowe wartości. Ale chyba czegoś nam brakuje. Wartości uzyskane w wyniku konwersji nie będą nigdzie wyświetlane!

Najlepiej byłoby, gdyby płytka Arduino Uno była sprzedawana z małym wyświetlaczem alfanumerycznym — wtedy moglibyśmy korzystać z niej tak, jak korzystamy z komputera. Istnieją wyświetlacze, które mogą współpracować z Arduino, ale wyświetlacz to kolejny element dodany do obwodu, który wymaga odpowiedniego obsługiwania (w świecie mikrokontrolerów praktycznie nie istnieją elementy, które wystarczy po prostu podłączyć). Mikrokontroler należy zaprogramować tak, aby wyświetlał dane na ekranie.

W związku z tym zastosuję najprostsze rozwiązanie. Dioda ta będzie symbolizowała grzejnik — będzie

włączana przy zbyt niskiej temperaturze i wyłączana przy zbyt wysokiej temperaturze.

## Histereza

Założymy, że ogrzewamy szklarnię i chcemy w niej utrzymać temperaturę około 30°C. Przy takiej temperaturze układ rezistor-termistor dostarczałby prąd o napięciu 2,3 V. Z wykresu przedstawionego na rysunku 5.89 wynika, że przetwornik wygenerowałby wtedy wartość 470.

470 jest wartością progową. Jeżeli spadnie ona do 469, to grzejnik powinien zostać włączony (powinna zostać włączona dioda symbolizująca pracę grzejnika). Jeżeli wartość ta wzrośnie do 471, to grzejnik powinien zostać wyłączony.

Czy to ma sens? Dioda LED będzie włączana i wyłączana po wykryciu niewielkiej zmiany temperatury termistora. Będzie to powodowało stałe naprzemienne włączanie i wyłączanie diody.

Prawdziwy termostat nie reaguje na małe zmiany temperatury spowodowane np. otwarciem drzwi. Grzejnik jest włączany aż do wykrycia temperatury nieco wyższej od temperatury docelowej. Grzejnik nie jest włączany do momentu, w którym temperatura obniży się do temperatury nieco niższej od temperatury docelowej.

Nazywamy to **histerezą**. Zagadnienie to opisałem w kontekście komparatora w kontynuacji tej książki — zatytułowanej *Elektronika. Od praktyki do teorii. Kolejne eksperymenty*.

Jak można zaimplementować histerezę w programie mikrokontrolera? Musimy skorzystać z szerszego zakresu wartości niż 469 – 471. Program powinien instruować mikrokontroler, że np. gdy dioda LED jest włączona, to nie należy jej wyłączać aż do osiągnięcia wartości wyższej od 490, po osiągnięciu której diodę LED należy wyłączyć. Kolejna instrukcja powinna instruować mikrokontroler, że gdy dioda LED jest wyłączona, to nie należy jej włączać aż do osiągnięcia wartości niższej od 460; dioda LED powinna zostać włączona dopiero po jej przekroczeniu.

Czy możemy to zrobić? Tak, dość łatwo. Na listingu 5.1 przedstawiłem kod programu, który napisałem w środowisku programistycznym Arduino.

**Listing 5.1.** Kod programu symulującego sterowanie urządzeniem grzewczym

```
//Symulacja sterowania grzejnikiem.  
//Autor: Charles Platt.  
  
int digitemp = 0;  
  
//digitemp jest zmienną przechowującą  
//wartość uzyskaną w wyniku pomiaru  
//temperatury.  
  
  
int ledstate = 0;  
  
//Przyjmie wartość 0, gdy dioda LED będzie  
//wyłączona.  
//Przyjmie wartość 1, gdy dioda LED będzie  
//włączona.  
  
  
void setup()  
{  
    pinMode (13, OUTPUT);  
    //Dioda LED będzie sygnalizowała stan  
    //sygnału wyjściowego.  
  
    //Nie musisz określać trybu pracy  
    //analogowego pinu, ponieważ  
    //domyślnie pracuje on jako wejście.  
}  
  
  
void loop()  
{  
    digitemp = analogRead(0);  
    //Termistor jest podłączony do  
    //analogowego wejścia Ao.
```

```

        if (ledstate == 1 && digitemp
> 490)
{
    ledstate = 0;
    digitalWrite (13, LOW);
}

if (ledstate == 0 && digitemp
> 460)
{
    ledstate = 1;
    digitalWrite (13,
HIGH);
}
delay (100);
}

        digitemp = analogRead(0);
        if (ledstate == 1 && digitemp
> 490)
{
    ledstate = 0;
    digitalWrite (13, LOW);
}

if (ledstate == 0 && digitemp
> 460)
{
    ledstate = 1;
    digitalWrite (13,
HIGH);
}
delay (100);
}

```

W programie zauważysz kilka nowych elementów. Zacznij od przepisania go do okna środowiska programistycznego. Nie musisz przepisywać komentarzy (dodałem je, aby wyjaśnić działanie poszczególnych części kodu). Możesz przepisać następującą, skróconą wersję kodu (listing 5.2):

**Listing 5.2.** Kod zaprezentowanego wcześniej programu bez komentarzy

```

int digitemp = 0;
int ledstate = 0;

void setup()
{
    pinMode (13, OUTPUT);

void loop()

```

W menu *Szkic* wybierz opcję *Weryfikuj/Kompiluj* i popraw ewentualne literówki (prawdopodobnie w Twoim kodzie będzie gdzieś brakowało średnika — to najczęściej popełniany błąd).

Podłącz Arduino do komputera i załaduj program do pamięci mikrokontrolera. Jeżeli temperatura termistora jest niższa od 30°C, to zobaczysz, że żółta dioda LED została włączona.

Włoż termistor pomiędzy palce (zasymuluj wzrost temperatury pomieszczenia). Po kilku sekundach dioda LED powinna zgasnąć. Pozwól termistorowi ostygnąć. Dioda LED nie włączy się od razu z powodu histerezy, która nie pozwala na aktywację diody, dopóki temperatura nie będzie odpowiednio niska. Po chwili dioda LED powinna zostać ponownie włączona. To sukces!

Jak działa program?

## Analiza kodu programu

Analizując kod programu, musimy wprowadzić pojęcie **zmiennej**. Zmienna jest elementem programu przechowującym wartości. Możesz traktować ją jako pudełko pełniące funkcję pamięci. W środku pudełka znajduje się wartość numeryczna, a na zewnątrz etykieta z nazwą zmiennej.

Linia `int digitemp = 0;` wprowadza zmienną o nazwie `digitemp`. Jest to zmienna typu `integer` (przyjmuje wartości w postaci liczb całkowitych), a jej początkową wartością jest zero.

Linia `int ledstate = 0;` wprowadza kolejną zmienną typu `integer`. Zmienna ta będzie przechowywała informacje na temat stanu diody LED. Mikrokontroler nie może spojrzeć na diodę i stwierdzić, czy jest włączona, czy wyłączona, a więc musimy sami stworzyć mechanizm dostarczający informacje na temat stanu diody.

Funkcja `setup` informuje mikrokontroler o tym, że pin numer 13 powinien być używany jako wyjście. Nie musimy informować mikrokontrolera o tym, że pin oznaczony etykietą A0 powinien być używany jako wejście, ponieważ złącza analogowe domyślnie pracują w charakterze wejść.

Funkcja `loop` jest najważniejszym elementem programu. Polecenie `analogRead` każe mikrokontrolerowi odczytać stan portu analogowego. Którego? Podałem jego numer: 0 (jest to numer analogowego portu oznaczonego etykietą A0). Do tego portu podłączyłem kabel łączący Arduino z płytą prototypową.

Co dzieje się z wartością odczytaną przez przetwornik A/C na podstawie napięcia przyłożonego do portu? Wartość ta jest umieszczana w zmiennej stworzonej specjalnie w tym celu, o nazwie `digitemp`.

Po przypisaniu wartości do zmiennej `digitemp` mogę ją przetwarzać. Najpierw chcę, aby mikrokontroler wyłączył diodę LED, jeżeli jest ona włączona, a wartość określająca temperaturę jest większa

od 490. Operacja sprawdzania tych warunków jest dokonywana za pomocą następującego kodu:

```
if (ledstate == 1 && digitemp >  
490)
```

Podwójny znak równości `==` jest równoznaczny wyrażeniu „porównaj dwa elementy i zobacz, czy są takie same”. Pojedynczy znak równości `=` jest operatorem przypisującym wartość do zmiennej, co jest zupełnie inną operacją.

Operator `&&` dokonuje logicznego sumowania. Tak, mamy tu do czynienia z algebrą Boole'a. Mikrokontroler wykonuje operację, którą mogłyby wykonać bramka logiczna AND, ale zamiast dołączać do obwodu kolejny komponent, możemy umieścić w programie linię kodu.

Symbol `>` jest znakiem większości.

Warunki polecenia `if` zostały umieszczone w nawiasach okrągłych. Jeżeli warunki te są spełnione, to mikrokontroler wykona procedurę opisaną pomiędzy nawiasami klamrowymi. Na procedurę tę składają się polecenia `ledstate = 0` (polecenie to zapisuje informację o tym, że dioda LED zostanie za chwilę wyłączona) i `digitalWrite (13, LOW)` (polecenie to wyłącza diodę LED).

Kolejne polecenie `if` jest bardzo podobne do pierwszego, ale sprawdza ono, czy dioda LED jest wyłączona i czy temperatura osiągnęła już odpowiednio niską wartość. Jeżeli warunki te są spełnione, to dioda LED jest ponownie włączana.

Na końcu programu znajduje się polecenie `delay` sprawiające, że mikrokontroler musi odczekać 1/10 sekundy — temperatura nie musi być sprawdzana częściej niż 10 razy na sekundę.

To wszystko.

## Dodatkowe informacje dotyczące programowania

Opisałem niektóre elementy składni, takie jak instrukcja warunkowa `if` i operatory `==` i `&&`, ale nie przedstawiłem wszystkich elementów języka C.

Możesz znaleźć je w internecie, a niestety nie mogę poświęcić im miejsca w tej książce.

Zapamiętaj kilka rzeczy związanych z programowaniem:

- Kompilator ignoruje dodatkowe białe znaki, a więc możesz tworzyć wcięcia, które poprawią czytelność kodu i dzielą go na logicznie spójne fragmenty.
- Środowisko programistyczne oznacza wpisywany kod za pomocą kolorów. Dzięki temu łatwiej jest zauważać błąd.
- Tworząc nazwy zmiennych, możesz stosować dowolne kombinacje liter, cyfr i znaków podkreślenia, o ile nie utworzysz nazwy zarezerowanej w języku C dla jakiejś funkcji — zmiennej nie możesz nadać np. nazwy `void`.
- Niektórzy programiści zaczynają nazwy zmiennych od wielkiej litery, a niektórzy od małej. Wybór konwencji należy do Ciebie.
- Zmienne należy deklarować na początku programu, aby kompilator wiedział, czego ma się spodziewać.
- Zmienne typu `int` (całkowitoliczbowe) mogą przyjmować wartości od `-32768` do `+32767`. Język C obsługiwany przez ten mikrokontroler pozwala na deklarację zmiennych mogących przyjąć szerszy zakres wartości całkowitoliczbowych lub ułamków. W praktyce nie będziemy stosowali tak dużych wartości aż do eksperymentu numer 34.

Na oficjalnej stronie Arduino, w zakładce *Learning*, po kliknięciu przycisku *Reference* znajdziesz spis poleceń przydatny dla osób rozpoczynających przygodę z programowaniem Arduino. Dokument ten zostanie wyświetlony również po kliknięciu opcji *Dokumentacja* znajdującej się w menu *Pomoc środowiska programistycznego*.

## Rozbudowa projektu

Program ten wykonuje zaplanowane przeze mnie operacje, ale jest on bardzo ograniczony. Największym ograniczeniem jest to, że wartości minimalnej i maksymalnej temperatury są podane w formie określonych wartości. Zabieg ten można porównać z unieruchomieniem termostatu za pomocą kleju. Jak zmodyfikować program, aby użytkownik mógł określać temperatury, przy których grzejnik jest włączany i wyłączany?

Można to zrobić poprzez dodanie do układu potencjometru. Skrajne złącza należy podłączyć do potencjałów 5 V i 0 V, a złącze połączone ze śliszgaczem należy podłączyć do kolejnego analogowego złącza mikrokontrolera. Potencjometr będzie działał jako dzielnik napięcia dostarczający napięcie w zakresie od 0 do 5 V.

Do funkcji `loop` należałoby dodać kolejne polecenie, które sprawdziłoby ustawienie potencjometru i odczytywało je w formie liczby.

W rezultacie tej operacji istniałaby możliwość użyskania dowolnej wartości z przedziału od 0 do 1023. Następnie należałoby dokonać konwersji tej liczby, tak aby mieściła się w zakresie wartości, które może przyjąć zmienna `digitemp`. Rezultat tej operacji trzeba byłoby zapisać w kolejnej zmiennej (np. zmiennej o nazwie `usertemp`). Następnie należałoby sprawdzić, czy temperatura w pokoju zmierzona za pomocą termistora jest wyższa, czy niższa od temperatury zapisanej w zmiennej `usertemp`.

Pominąłem jeden szczegół. Jak należy dokonać konwersji wartości odczytanej na podstawie napięcia dostarczanego przez potencjometr na wartość znajdującej się we właściwym zakresie? Odpowiedź na to pytanie znajdziesz w kolejnym akapicie.

Jeżeli termistor generuje wartości znajdujące się w przedziale od 430 do 512 (zgodnie z wcześniejszymi ustaleniami), to środkową wartością tego zakresu jest 471, a różnica pomiędzy tą wartością a wartościami granicznymi wynosi 41. Środkową wartością zakresu pracy potencjometru jest 512,

a różnica pomiędzy wartością środkową a wartościami granicznymi wynosi 512. W związku z tym:

```
usertemp = 471 + ( (potencjometr  
- 512) * .08)
```

gdzie potencjometr jest wartością odczytaną z wejścia, do którego podłączony jest potencjometr, a symbol gwiazdki w języku C używany jest jako znak mnożenia. To wszystko.

Zajmując się programowaniem, przedzej czy później zetkniesz się z matematyką. Nie unikniesz jej, ale bardzo rzadko przekroczy ona program szkoły średniej.

W udoskonalonej wersji programu również należy zaimplementować histerezę. Pierwszą instrukcję if zmodyfikowałbym w następujący sposób:

```
if (ledstate == 1 && digitemp >  
(usertemp + 10) )
```

Drugą z instrukcji if zmodyfikowałbym w następujący sposób:

```
if (ledstate == 0 && digitemp <  
(usertemp - 10) )
```

W ten sposób osiągnąłbym histerezę na poziomie około 10 wartości wygenerowanych przez przetwornik A/C.

Możesz samodzielnie spróbować wykonać opisaną przeze mnie modyfikację. Pamiętaj o konieczności deklaracji zmiennej przed jej zastosowaniem.

## Eksperyment 34: Udoskonalona kostka

W ostatnim eksperymencie udoskonaliśmy przedmiot wykonany w eksperymencie numer 24 (wykonaliśmy kostkę do gry, której obwód bazował na układach logicznych). Tym razem układy logiczne zastąpimy programem wykonywanym przez mikrokontroler. Kilkanaście linii kodu może zastąpić kilka komponentów obwodu, a zamiast timera 555, licznika i trzech układów logicznych możemy zastosować pojedynczy mikrokontroler. Projekt ten stanowi

doskonały przykład praktycznego zastosowania mikrokontrolera. Oczywiście w obwodzie wciąż pozostały diody LED i rezystory ograniczające.

### Potrzebne będą:

- płytka prototypowa, drut połączeniowy, szczypce do cięcia drutu, przyrząd do zdejmowania izolacji z drutu, multimeter z przewodami probierczymi,
- standardowe diody LED, liczba: 7,
- rezystory 333 Ω, liczba: 7,
- płytka Arduino Uno, liczba: 1,
- laptop lub komputer stacjonarny z wolnym portem USB, liczba: 1,
- kabel USB z jednej strony zakończony wtykiem typu A, a z drugiej wtykiem typu B, liczba: 1.

### Ograniczenia nauki przez odkrywanie

Nauka przez odkrywanie doskonale nadaje się do poznawania komponentów elektronicznych. Komponent można zainstalować na płytce, podłączyć go do zasilania i obserwować skutki wykonanych czynności. Metoda prób i błędów jest stosowana nawet podczas projektowania obwodów i wnoszenia do nich poprawek.

Pisanie programów to zupełnie inna bajka. Musisz stosować się do odpowiednich zasad i postępować logicznie. W przeciwnym wypadku stworzysz kod, który będzie sprawiać wiele problemów. Tworząc kod, musisz zaplanować go wcześniej. Modyfikacja kodu jest czasochłonna i może wiązać się z koniecznością usunięcia całego stworzonego wcześniej programu.

Nie lubię planowania, ale jeszcze bardziej nie lubię tracić czasu. W związku z tym przed przystąpieniem do pracy wolę zaplanować ostateczną formę projektu. W kolejnych sekcjach opiszę cały proces planowania. Przepraszam, że tym razem nie będziesz mógł od razu czerpać przyjemności wynikającej

z łączenia ze sobą komponentów. Jeżeli nie wyjaśniję na początku procesu tworzenia programu, to mógłbyś odnieść wrażenie, że programowanie jest o wiele prostsze niż w rzeczywistości.

## Losowość

Na początek należy odpowiedzieć na następujące pytanie: Co tak naprawdę ma robić program, który chcę napisać? Odpowiedź na to pytanie jest bardzo ważna, ponieważ jeżeli sam nie potrafisz zdefiniować celów, które chcesz osiągnąć, to mikrokontroler nie zrobi tego za Ciebie. Proces ten przypomina proces opisany w eksperymencie numer 15, w którym tworzyłem listę zadań stojących przed alarmem, ale w przypadku mikrokontrolera musimy stworzyć coś o wiele bardziej szczegółowego.

Podstawowe wymaganie jest bardzo proste. Chcę stworzyć program, który wygeneruje liczbę losową i wyświetli ją za pomocą diod LED ułożonych tak, aby przypominały oczka kostki do gry.

Podstawą działania tego projektu jest wygenerowanie liczby losowej, a więc musisz dowiedzieć się czegoś na temat generowania takich liczb. Na początek zajrzyjmy na witrynę Arduino. Nie znajdziemy tam tak wiele informacji, jak chciałbym, ale na początek warto tam zajrzeć.

Otwórz witrynę Arduino. Kliknij zakładkę *Learning* i wybierz opcję *Reference*. Tam znajdziesz sekcję *Random Numbers*. Jak widzisz, istnieje specjalna funkcja Arduino przeznaczona do generowania liczb losowych — `random()`.

Nie jest to nic dziwnego — praktycznie wszystkie języki programowania wysokiego poziomu zostały wyposażone w jakiś mechanizm generowania liczb losowych. Mechanizm ten zawsze wykonuje jakieś sprytne operacje matematyczne umożliwiające wygenerowanie ciągu liczb, który osobie postronnej będzie wydawał się na tyle długi, że nie zorientuje się ona, w którym momencie sekwencja zostaje powtórzona. Problem w tym, że sekwencja jest tworzona w wyniku obliczeń, a więc przy każdym

uruchomieniu programu będzie rozpoczynała się od tego samego punktu.

Co zrobić, aby zacząć tę sekwencję od innego miejsca? Funkcja `randomSeed()` inicjalizuje generator liczb, odczytując stan jednego ze złączy mikrokontrolera, do którego nie podłączono żadnych komponentów. Złącze takie odbiera promieniowanie elektromagnetyczne obecne w otoczeniu, a nigdy nie wiemy, jak ono jest silne. W związku z tym generowanie liczb losowych za pomocą funkcji `randomSeed()` wydaje się dobrym pomysłem, ale musimy pamiętać, że do jednego z pinów nie możemy podłączać żadnych komponentów.

Przerwijmy na razie omawianie funkcji `randomSeed()` i założymy, że do generowania liczb losowych używam funkcji `random()`. Jak działałby mój program?

Gracz wciskałby przycisk, w wyniku czego wyświetlana byłaby losowo wygenerowana liczba oczek. Gotowe! Gdyby gracz musiał „rzucić kostką” po raz kolejny, to wyświetlona zostałaby kolejna liczba oczek z losowo wygenerowanego ciągu.

Wydaje się to dobrym, ale niezbyt interesującym rozwiązaniem. Nie jest ono również wiarygodne. Gracze będą zastanawiać się, czy generowane liczby są naprawdę losowe. Uważam, że problem leży w tym, że użytkownik nie ma kontroli nad tą procedurą.

W poprzedniej wersji tego projektu podobało mi się to, że losując liczbę, użytkownik przerywał szybkie wyświetlanie kolejnych liczb losowych.

Może program powinien to emulować. Zamiast korzystać z funkcji `random()`, możemy w kółko bardzo szybko wyświetlać kolejne liczby od 1 do 6 (czynność taką wykonywał układ licznika w poprzedniej wersji tego projektu).

Potencjalny problem polega na tym, że gdy program doliczy od 1 do 6, to mikrokontroler może potrzebować kilku milisekund, aby rozpocząć liczenie od początku, a więc szóstka będzie wyświetlana nieco dłużej od pozostałych liczb.

Może istnieje możliwość połączenia ze sobą dwóch koncepcji. Mogę zastosować generator liczb losowych do stworzenia ciągu liczb, a następnie wyświetlać je kolejno w krótkich odstępach czasu aż do momentu wcisnięcia przez użytkownika przycisku zatrzymującego działanie programu.

Podoba mi się takie rozwiązanie, ale co dalej? Mógłbym dodać do projektu kolejny przycisk uruchamiający ponownie szybkie wyświetlanie kolejnych liczb, ale nie jest to koniecznie. Można to zrobić za pomocą tego samego przycisku. Po pierwszym wcisnięciu zatrzymywałby wyświetlanie kolejnych liczb, a po drugim uruchamiał je ponownie.

Jak widzisz, zdefiniowałem już swoje oczekiwania względem programu. Pomogą mi one w kolejnym etapie planowania — określaniu instrukcji obsługiwanych przez mikrokontroler.

## Pseudokod

Lubię tworzyć **pseudokod** — ciąg instrukcji zapisanych w języku użytkownika, które można z łatwością przetłumaczyć na język komputera. Oto plan działania programu ulepszonej wersji kostki zapisany w pseudokodzie. Pamiętaj o tym, że instrukcje te będą wykonywane bardzo szybko, a więc wyświetlane cyfry będą rozmażane.

Główna pętla programu:

- Krok 1. Wybierz liczbę losową.
- Krok 2. Zmień liczbę na wzór utworzony z zapalonych diod LED.
- Krok 3. Sprawdź, czy wcisnęto przycisk.
- Krok 4. Jeżeli nie wcisnęto przycisku, wróć do kroku numer 1 i wybierz kolejną liczbę losową (powtórz szybko dotychczasową sekwencję instrukcji). W przeciwnym wypadku...
- Krok 5. Zatrzymaj wyświetlającą liczbę.
- Krok 6. Poczekaj, aż gracz wcisnie przycisk po raz drugi, a następnie wróć do kroku numer 1.

Czy widzisz jakieś potencjalne problemy związane z tą sekwencją kodu? Spójrz na nią z punktu widzenia mikrokontrolera. Czy dysponowałbym wszystkimi niezbędnymi elementami, gdybym sam musiał wykonać takie instrukcje?

Nie dysponowałbym. Brakuje pewnych instrukcji. Instrukcja kroku numer 2 mówi o zapaleniu właściwych diod LED, ale nie ma instrukcji, która by je wyłączała!

Musisz zapamiętać, że:

- Komputer wykonuje **tylko** określone operacje.

Jeżeli chcesz, aby diody LED zostały wyłączone przed wyświetleniem kolejnej liczby, musisz umieścić w programie odpowiednie polecenie.

Gdzie należy je umieścić? Wyświetlacz powinien być czyszczony przed wybraniem kolejnej liczby i jej wyświetleniem. W związku z tym polecenie wygaszające wyświetlacz należy umieścić na początku funkcji `loop`. Zapiszę je jako krok zerowy.

- Krok 0. Wyłącz wszystkie diody LED.

Nie uwzględniono tutaj jeszcze jednego szczegółu. W poprzednim cyklu nie wszystkie diody LED musiały być włączone. Jeżeli wyłączymy wszystkie diody LED, to wyłączymy również diody, które będą już wyłączone. Mikrokontrolerowi nie zrobi to różnicy, ale wykonanie dodatkowych operacji spowolni działanie programu. Aby poprawić wydajność programu, najlepiej byłoby wyłączać tylko te diody LED, które zostały wcześniej włączone.

Implementacja tej koncepcji zwiększy złożoność programu, ale być może wcale nie będzie to konieczny zabieg. Użytkownicy pierwszych komputerów musieli **optymalizować** programy, aby zmniejszyć liczbę wykonywanych operacji, ale nowoczesne mikrokontrolery są na tyle szybkie, że nie musimy już martwić się wykonywaniem przez ich procesory zbędnych operacji polegających na wyłączeniu nieaktywnych diod. Diody LED będą wyłączańskie przez procedurę niesprawdzającą ich statusu.

## Sygnały wejściowe przycisków

Czego jeszcze brakuje w pseudokodzie?

Brakuje tam pewnych elementów związanych z obsługą przycisków.

Przypomnę jeszcze raz założone cele działania programu. Wyświetlanie kolejnych liczb jest przerwane po wcisnięciu przez gracza przycisku. Na wyświetlaczu pozostaje ostatnia liczba. W kroku numer 6 mikrokontroler czeka w nieskończoność na ponowne wcisnięcie przycisku przez użytkownika, które spowoduje ponowną aktywację procesu wyświetlania kolejnych liczb.

Jak użytkownik może wcisnąć ponownie przycisk, nie zwalniając go wcześniej?

Oto czynności, które wykona mikrokontroler zaprogramowany dotychczasowym pseudokodem. Pamiętaj o tym, że są one wykonywane bardzo szybko:

- Program każe mikrokontrolerowi sprawdzić przycisk.
- Mikrokontroler odkrywa, że przycisk jest wcisnięty.
- Na wyświetlaczu zostaje pokazana ostatnia liczba. Mikrokontroler czeka na ponowne wcisnięcie przycisku.
- Jednak przycisk jest wciąż wcisnięty, ponieważ użytkownik nie zdążył jeszcze go zwolnić.
- Mikrokontroler „dochodzi do wniosku”, że przycisk jest wcisnięty, a więc należy ponownie uruchomić szybkie wyświetlanie kolejnych liczb.

W związku z tym liczba wylosowana przez użytkownika będzie wyświetlana tylko przez ułamek sekundy.

Oto rozwiązanie tego problemu — krok, który należy dodać do sekwencji:

- Krok 5a. Poczekaj, aż gracz zwolni przycisk.

Dzięki temu ponowne losowanie nie zostanie uruchomione bez woli gracza.

Czy to już wszystko?

Obawiam się, że nie. Może wydawać Ci się to dość pracochłonne, ale niestety właśnie jest programowanie. Jeżeli ktoś powiedział Ci, że programowanie polega na połączeniu ze sobą kilku poleceń, to niestety muszę Cię poinformować, że takie sytuacje zdarzają się bardzo rzadko.

Wciąż nie rozwiązaliśmy jeszcze jednego problemu związanego z przyciskiem. W kroku numer 6 każemy mikrokontrolerowi czekać z rozpoczęciem kolejnego losowania aż do ponownego wcisnięcia przycisku. No dobra, użytkownik wciska przycisk, a na wyświetlaczu pojawiają się kolejne liczby, ale mikrokontroler działa tak szybko, że zdąży wygasić wyświetlacz i ponownie rozpocząć wyświetlanie liczb, zanim użytkownik zdąży zwolnić przycisk. Mikrokontroler po dojściu do kroku numer 4 wykryje, że przycisk jest nadal wcisnięty, i ponownie zatrzyma proces losowania.

Jak rozwiązać ten problem? Może powinieneś dodać siódmy krok informujący mikrokontroler, aby czekał na zwolnienie przycisku.

To niezbyt intuicyjne. Nie wiem, czy każdy gracz zrozumie konieczność wcisnięcia przycisku i **zwolnienia go** przed rozpoczęciem losowania. Oczywiście można stworzyć instrukcję, w której poinformujemy użytkowników, że jest to wymóg programu, ale to dość **kiepskie rozwiązanie**.

- Program powinien pracować zgodnie z oczekiwaniami użytkownika. Nie powinniśmy zmuszać użytkownika do podporządkowywania się wymogom programu.

Tak czy inaczej, koncepcja oczekiwania na zwolnienie przycisku przed rozpoczęciem wyświetlania kolejnych liczb nie sprawdzi się w praktyce. Istnieje jeszcze jeden problem: bezwładność styków. Styki poruszają się naprzemiennie, zwierając i rozwierając obwód podczas wciskania i zwalniania przycisku. Gdy użytkownik zwolni przycisk, program rozpoczęcie kolejne losowanie, ale po kilku milisekundach ponownie sprawdzi stan przycisku. Jeżeli wibrujące styki przycisku będą ze sobą zwarte, to losowanie

zostanie przerwane. Zachowania wibrujących styków nie da się przewidzieć.

Tego typu problemy spotykamy, gdy mikrokontroler musi współpracować z otaczającym nas światem. Mikrokontroler oczekuje precyzji i stabilności, ale rzeczywistość jest nieprecyzyjna i niestabilna.

Zanim zdecydowałem się na wybór sposobu rozwiązania tego problemu, musiałem go dobrze przemyśleć.

Jednym rozwiązaniem jest powrót do koncepcji zastosowania dwóch przycisków: jednego uruchamiającego losowanie, a drugiego zatrzymującego je. Po wcisnięciu przycisku uruchamiającego losowanie mikrokontroler może ignorować jego status i bezwładność styków, jednocześnie czekając na wcisnięcie przez użytkownika przycisku zatrzymującego losowanie.

Jako użytkownik wołalbym korzystać z prostszego urządzenia wyposażonego w jeden przycisk. Chyba istnieje jakieś inne rozwiązanie tego problemu?

Postanowiłem jeszcze raz przypomnieć sobie, czego oczekuję od programu. Chcę, aby program wracał do szybkiego wyświetlania kolejnych liczb po drugim wcisnięciu przycisku. Po wcisnięciu przycisku program powinien ignorować jego stan aż do momentu zwolnienia go przez użytkownika i ustania wibracji jego styków.

Dlaczego po prostu nie zablokować przycisku na sekundę lub dwie? Tak naprawdę byłby to dość dobry pomysł, ponieważ proces losowania liczb losowych powinien trwać chwilę, zanim użytkownik będzie mógł zatrzymać losowanie. Jeżeli wyświetlacz będzie przez chwilę wyświetlał kolejne liczby losowe, to działanie naszego układu będzie wydawało się „bardziej losowe”.

Załóżmy, że zablokuję przycisk na dwie sekundy od momentu rozpoczęcia losowania. Krok czwarty powinien być sformułowany w następujący sposób:

- Krok 4. Jeżeli przycisk nie został przyciśnięty LUB proces wyświetlania kolejnych liczb trwa

mniej niż dwie sekundy, to wróć i wyświetl kolejną liczbę losową. W przeciwnym wypadku...

Zwróć uwagę na słowo klucz LUB. Funktor ten jest przydatnym operatorem logicznym.

## Zegar systemowy

Uważam, że rozwiązałem wszystkie problemy związane z obsługą przycisku, ale zauważylem nowy problem. Muszę jakoś odmierzyć dwie sekundy.

Czy mikrokontroler jest wyposażony w zegar systemowy? Prawdopodobnie tak. Być może język C może uzyskać do niego dostęp i odmierzyć odpowiednią ilość czasu.

Funkcja `millis()` mierzy czas w milisekundach. Działa ona jak zegar. Rozpoczyna pracę od wartości zero (jest zerowana przy każdym uruchomieniu programu). Funkcja potrafi przybierać tak wysokie wartości, że aby ponownie osiągnąć wartość zero, Arduino musiałaby pracować nieprzerwanie przez około 50 dni. To z pewnością nam wystarczy.

Istnieje jeszcze jeden problem. Arduino nie pozwala na wyzerowanie zegara systemowego na żądanie. Zegar ten działa jak stoper odmierzający czas działania programu, ale w przeciwnieństwie do stopera nie można go zatrzymać.

Jak można z niego skorzystać? Skorzystam z niego tak, jak korzystam z zegara wiszącego w mojej kuchni. Gdy chcę ugotować jajka na twardo, zapamiętuję godzinę, o której woda zaczęła się gotować. Założymy, że stało się to o 17:02, a jajka chcę gotować przez siedem minut. W głowie wykonuję operację dodawania siedmiu minut do 17:02 i wiem, że gotowanie jajek powinien skończyć o 17:09.

W głowie porównuję wskazania działającego zegara z określonym wcześniej czasemwyjęcia jaj z wody. Pytam siebie o to, czy zegar wskazał już 17:09? Jaja będą ugotowane, gdy zegar wskaże godzinę 17:09 lub późniejszą.

W programie musimy wprowadzić zmienną pełniąącą funkcję pamięci. Zapiszemy w niej czas rozpoczęcia procesu szybkiego wyświetlania kolejnych liczb zwiększonego o dwie sekundy. Następnie muszę zaimplementować funkcję sprawdzającą, czy zegar osiągnął już obliczoną wartość.

Zmiennej tej nadam nazwę `ignore`, ponieważ będzie ona przechowywała informację określającą moment, w którym mikrokontroler powinien przestać ignorować przycisk. Do kroku czwartego możemy dodać pytanie „Czy zegar systemowy przekroczył już wartość zapisaną w funkcji `ignore`?”. Jeżeli zegar przekroczył tę wartość, to mikrokontroler może ponownie sprawdzać stan przycisku.

Nie mogę wyzerować zegara systemowego, ale rozpoczynając każde kolejne losowanie, mogę przypisać nową wartość do zmiennej `ignore` tak, aby była ona bieżącą wartością `millis()` zwiększoną o dwie sekundy.

## Ostateczna wersja pseudokodu

Pamiętając o wszystkich wymienionych problemach, stworzyłem nową, mam nadzieję ostatnią, wersję pseudokodu programu:

- Przed rozpoczęciem głównej pętli programu określ tryb pracy cyfrowych pinów, a także przypisz zmiennej `ignore` bieżący czas zwiększonego o dwie sekundy.
- Krok 0. Wyłącz wszystkie diody LED.
- Krok 1. Wybierz liczbę losową.
- Krok 2. Zamień liczbę na odpowiedni wzór oczek i wyświetl go za pomocą odpowiednich diod LED.
- Krok 3. Sprawdź, czy przycisk został wciśnięty.
- Krok 4. Sprawdź, czy zegar systemowy osiągnął już wartość zapisaną w funkcji `ignore`.
- Krok 4a. Jeżeli przycisk nie został jeszcze wciśnięty LUB jeżeli zegar systemowy nie osiągnął wartości równej wartości

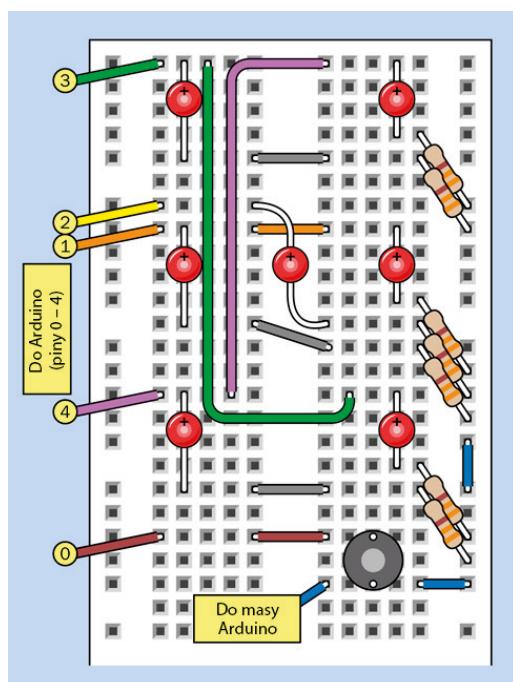
przypisanej zmiennej `ignore` albo wyższej, to wróć z powrotem do kroku numer 0. W przeciwnym wypadku...

- Krok 5. Zatrzymaj obecnie wyświetlana wartość.
- Krok 5a. Poczekaj, aż gracz zwolni przycisk.
- Krok 6. Poczekaj, aż użytkownik ponownie wciśnie przycisk, i ponownie uruchom szybkie wyświetlanie liczb.
- Krok 7. Przypisz zmiennej `ignore` wartość wskazywaną przez zegar systemowy zwiększoną o dwie sekundy.
- Wróć do kroku numer 0.

Czy teraz program będzie działać poprawnie? Sprawdźmy to.

## Praca nad płytą obwodu

Na rysunku 5.92 pokazano siedem diod LED zainstalowanych na płytce prototypowej. Wyświetlają one



Rysunek 5.92. Siedem diod LED wyświetlających liczbę wylosowanego oczka

liczbę wylosowanych oczek. Układ ten przypomina rozwiążanie widoczne na rysunku 4.141, ale Arduino dostarcza przez swoje piny prąd o maksymalnym natężeniu 40 mA, a więc nie muszę łączyć par diod szeregowo. Pojedynczy pin może zasilać parę diod LED połączonych równolegle, a więc standardowe diody LED można zabezpieczać pojedynczo rezystorami 330 Ω.

Na przewodach naniesiono takie same numery jak na rysunku 4.141. Nie mają one nic wspólnego z wylosowanymi liczbami. Umożliwiają po prostu identyfikację przewodów. Przewody oznaczone numerami od 0 do 4 należy podłączyć do cyfrowych wyjść płytka Arduino Uno oznaczonych numerami od 0 do 4. Ułatwia to prawidłowe połączenie komponentów.

Cyfrowe złącze płytka Arduino oznaczone numerem 0 będzie pełniło funkcję wejścia umożliwiającego sprawdzanie stanu przycisku. Pamiętaj o tym, że odbierając dane przesypane za pomocą interfejsu USB, Arduino korzysta z pinów oznaczonych numerami 0 i 1. Jeżeli masz jakieś problemy z załadowaniem programu do pamięci mikrokontrolera, odłącz tymczasowo przewód od złącza oznaczonego numerem 0.

Nie podłączaj jeszcze przewodu masowego płytka prototypowej do Arduino. Bezpieczniej będzie, gdy najpierw załadasz program do pamięci mikrokontrolera. Dzięki temu mikrokontroler będzie wiedział, które piny mają pełnić funkcje wyjść, a które wejść. Poprzedni program mógł korzystać z pinów w inny sposób, a mikrokontroler po podłączeniu do zasilania automatycznie uruchamia program zapisany w pamięci. Może to spowodować uszkodzenia złaczego Arduino, ponieważ:

- Nie można podłączać żadnego napięcia do cyfrowych pinów skonfigurowanych jako wyjścia.

## Kod programu

Listing 5.3 przedstawia kod programu, który napisałem na podstawie pseudokodu. Ten sam kod, ale pozbawiony komentarzy przedstawia listing 5.4

(łatwiej go przepisać). Wpisz kod programu w oknie środowiska programistycznego Arduino.

**Listing 5.3.** Program obsługujący ulepszoną kostkę do gry

```
// Udoskonalona kostka do gry
// Autor: Charles Platt
int spots = 0;
// Liczba podświetlonych punktów.
int outpin = 0;
// Numer pinu wyjścia.
long ignore = 0;
// Moment, w którym program ma przestać
// ignorować przycisk.
void setup ()
{
    pinMode(0, INPUT_PULLUP);
    pinMode(1, OUTPUT);
    pinMode(2, OUTPUT);
    pinMode(3, OUTPUT);
    pinMode(4, OUTPUT);
    ignore = 2000 + millis();
}
void loop()
{
    // Najpierw wygaszamy wszystkie diody.
    for (outpin = 1; outpin < 5;
        outpin++)
    {
        digitalWrite (outpin, LOW);
    }
    // Wybierz liczbę losową z zakresu
    // od 1 do 6.
    spots = random (1,7);
    // Wyświetl wylosowaną liczbę za
    // pomocą właściwej kombinacji diod.
```

```

if (spots == 6)
{
    digitalWrite (1, HIGH); }
//Boczna para oczek.

if (spots == 1 || spots == 3
|| spots == 5)
{
    digitalWrite (2, HIGH); }
//Środkowe oczko.

if (spots > 3)
{
    digitalWrite (3, HIGH); }
//Oczka lewej przekątnej.

if (spots > 1)
{
    digitalWrite (4, HIGH); }
//Oczka prawej przekątnej

//Dodaj opóźnienie poprawiające jakość
//wyświetlania oczek.

delay (20);

//Po upłynięciu dwóch sekund przestań
//ignorować stan przycisku.

//Jeżeli przycisk jest wcisnięty, wywołaj
//funkcję checkbutton.

if ( millis() > ignore &&
digitalRead(0) == LOW )
{
    checkbutton(); }

}

//Funkcja ta oczekuje na zwolnienie
//przycisku, a następnie czeka na jego
//ponowne wcisnięcie.

void checkbutton()
{
    delay (50);
//Wcisnięto przycisk, oczekaj, aż ustanie
//stuki przycisku.

    while (digitalRead(0) == LOW)
//Gdy przycisk jest wcisnięty...
    {}

}

//nie wykonuj żadnej operacji i czekaj.

delay (50);
//Zwolniono przycisk, oczekaj, aż ustanie
//stuki przycisku.

while (digitalRead(0) ==
HIGH) //Gdy przycisk jest zwolniony...

{}

//nie wykonuj żadnej operacji i czekaj.

ignore = 2000 + millis();
//Określ nowy czas ignorowania przycisku.

}

//Wróć na początek funkcji loop.


```

**Listing 5.4.** Kod programu pozbawiony komentarzy

```

int spots = 0;
int outpin = 0;
long ignore = 0;
void setup ()
{
    pinMode(0, INPUT_PULLUP);
    pinMode(1, OUTPUT);
    pinMode(2, OUTPUT);
    pinMode(3, OUTPUT);
    pinMode(4, OUTPUT);
    ignore = 2000 + millis();
}

void loop()
{
    for (outpin = 1; outpin < 5;
outpin++)
    {
        digitalWrite (outpin, LOW);
    }

    spots = random (1,7);
    if (spots == 6)
    {
        digitalWrite (1, HIGH); }


```

```

if (spots == 1 || spots == 3
|| spots == 5)
{
    digitalWrite (2, HIGH); }

if (spots > 3)
{
    digitalWrite (3, HIGH); }

if (spots > 1)
{
    digitalWrite (4, HIGH); }
delay (20);

if ( millis() > ignore &&
digitalRead(0) == LOW )
{
    checkbutton(); }

}

void checkbutton()
{
    delay (50);

    while (digitalRead(0) == LOW)
    {}

    delay (50);

    while (digitalRead(0) ==
HIGH)
    {}

    ignore = 2000 + millis();
}

```

Przepisując kod, w drugiej instrukcji `if` trafisz na znak, który nie był wcześniej omówiony. Tak naprawdę możesz go nigdy wcześniej nie stosować. Jest to pionowa kreska. W systemie Windows używa się ją, wciskając klawisz *Shift* oraz klawisz `|` znajdujący się nad klawiszem *Enter*. W kodzie drugiej instrukcji `if` zastosowano dwie pary tych symboli. Zagadnienie to wyjaśnię, opisując kolejne linie programu.

Gdy skończysz przepisywać kod, w menu *Szkic* uruchom opcję *Weryfikuj/Kompiluj*. W ten sposób sprawdzisz, czy nie popełniłeś błędów.

Komunikaty niektórych błędów mogą być trudne do zrozumienia. Komunikaty odwołują się do numerów linii kodu, ale numery te nie są widoczne na ekranie! Podawanie numerów linii i niewyświetlanie ich obok kodu to chyba jakaś pomyłka. Czy można włączyć numerowanie linii? Zagadnienie to nie jest poruszane w pomocy środowiska programistycznego Arduino. Na internetowym forum Arduino znajdziesz wiele postów napisanych przez użytkowników narzekających na brak numeracji linii kodu.

Posty są wyświetlane w kolejności chronologicznej, zaczynając od najstarszych. Jeżeli przejdziesz w dół do nowych postów, to zobaczyś, że problem ten został rozwiązany. Wejdź w *Preferencje* znajdujące się w menu *Plik* i zaznacz opcję włączającą numerowanie linii kodu.

Komunikaty błędów mogą być trudne do zrozumienia, ale istnieje zbiór rzeczy, które należy sprawdzić przed przystąpieniem do dalszych poszukiwań źródła błędu.

- Mogłeś zapomnieć o umieszczeniu średnika na końcu którejś instrukcji.
- Mogłeś pominąć zamknięcie nawiasu klamrowego. Pamiętaj o tym, że po każdym znaku `{` zawsze musi pojawić się znak `}`.
- Nazwy poleceń często są kombinacją małych i wielkich liter, a przez pomyłkę możesz zapisać je małymi literami. Środowisko programistyczne nazwy poleceń wyróżnia za pomocą czerwonej czcionki. Jeżeli zobaczyś, że któraś z nazw jest zapisana czarną czcionką, to z pewnością popełniłeś w niej błąd.
- Mogłeś zapomnieć o umieszczeniu nawiasów obok nazwy funkcji takiej jak np. `void loop()`.
- W miejscu, w którym powinny znajdować się dwa znaki równości, możesz przez pomyłkę wstawić tylko jeden. Pamiętaj o tym, że `=` jest operatorem przypisywania wartości, a `==` jest operatorem porównywania.

- W miejscach, w których występują podwójne symbole | i &, mogłeś przez pomyłkę umieścić tylko jeden symbol.

Gdy po uruchomieniu polecenia *Weryfikuj/Kompiluj* nie zostaną wyświetlane żadne komunikaty błędów, to załóż program do pamięci Arduino. Teraz powinieneś podłączyć przewód łączący masę płytka prototypowej z Arduino. Diody LED powinny zacząć błyskać. Poczekaj kilka sekund i wcisnij przycisk. Losowanie zostanie zakończone, a diody wyświetla wylosowaną liczbę. Wciśnij przycisk ponownie, a rozpoczęcie się kolejne losowanie. Przytrzymaj wcisnięty przycisk, a po upływie dwóch sekund ignorowania stanu przycisku losowanie zostanie ponownie zatrzymane.

Dokonaliśmy skutecznej implementacji pseudokodu.

Jak działa napisany przeze mnie program?

## Krótkie i długie wartości całkowitoliczbowe

W programie zastosowałem wiele wyrażeń, które nie były wcześniej omawiane, a także jedną naprawdę ważną koncepcję.

Jednym z nowych słów jest `long`. Do tej pory posługiwaliśmy się danymi typu `int` (`integer`), ale zakres ich wartości jest ograniczony. Zmienne typu `int` mogą przechowywać wartości całkowitoliczbowe od -32 768 do +32 767. W celu zapisania większych wartości można skorzystać ze zmiennej typu `long`. Zmienne tego typu mogą przechowywać wartości od -2 147 483 648 do 2 147 483 647.

Dlaczego za każdym razem nie posługiwaliśmy się zmiennymi typu `long`? Nie musielibyśmy się wtedy przejmować ograniczeniami zmiennych typu `int`. To prawda, ale zmienne typu `long` są przetwarzane (przynajmniej) dwa razy dłużej od zmiennych typu `int` i zajmują dwa razy więcej miejsca w pamięci, a mikrokontroler firmy Atmel został wyposażony w dość małą ilość pamięci.

Zegar systemowy (funkcja `millis()`) liczy czas w milisekundach. Gdyby był on ograniczony do

32 767 milisekund, to mógłby pracować zaledwie przez nieco ponad pół minuty. Potrzebujemy większego zakresu zapisywanych wartości, a więc funkcja `millis()` zapisuje czas jako wartość całkowitoliczbową typu `long`. Skąd to wiem? Znalazłem te informacje w dokumentacji dotyczącej języka programowania. Aby nauczyć się języka programowania, musisz zapoznać się z jego dokumentacją.

Definiując zmienną `ignore` (zmienna ta jest przeznaczona do zapisywania czasu), musiałem pamiętać o tym, że musi być ona kompatybilna z typem danych generowanych przez zegar. W związku z tym w definicji zmiennej umieściłem słowo klucz `long`.

Co się stanie, jeżeli spróbujesz przypisać zmiennej typu `integer` (lub `long integer`) wartość przekraczającą jej zakres? Twój program będzie działał nieprawidłowo. Musisz dbać o to, aby nigdy do tego nie doszło.

## Funkcja `setup`

Budowa funkcji `setup` jest dość prosta. Nie korzystaliśmy wcześniej z instrukcji `pinMode()`, ale zapewne domyślasz się, że definiują one tryb pracy złącza.

Pierwszej z tych instrukcji przypisano parametr `INPUT_PULLUP`. Zabieg ten jest bardzo praktyczny. Wspomniany parametr aktywuje rezystor podciągający wbudowany w mikrokontroler, a więc nie musisz stosować takiego rezystora w obwodzie. Miej na uwadze, że aktywowany jest rezistor **podciągający**, a nie **ściągający**. W związku z tym stan złącza wejściowego jest normalnie wysoki. Wciśnięcie przycisku powoduje zwarcie go z masą, a więc wygenerowanie stanu niskiego. Zapamiętaj, że:

- Gdy przycisk jest wcisnięty, funkcja `digitalRead()` zwraca wartość `LOW`.
- Gdy przycisk jest zwolniony, funkcja `digitalRead()` zwraca wartość `HIGH`.

## Pętla for

Na początku funkcji `void loop()` znajduje się pętla `for` (jej składnia rozpoczyna się od słowa `for`). Umożliwia ona proste liczenie określonego zbioru liczb. Każda kolejna liczba jest zapisywana w zmiennej, co powoduje usunięcie poprzedniej liczby. Pętla `for` charakteryzuje się następującą składnią:

- Po zarezerwowanym słowie `for` w nawiasie umieszczane są trzy parametry.
- Parametry oddziela się od siebie średnikami.
- Pierwszy parametr jest pierwszą wartością, która zostaje zapisana w określonej zmiennej (jest to tzw. kod inicjujący). W zaprezentowanym programie pierwszą wartością jest `1`. Wartość ta zostanie zapisana w utworzonej przez mnie zmiennej `outpin`.
- Drugim parametrem jest wartość, przy której zatrzyma się liczenie obiegów pętli (jest to tzw. warunek zatrzymania). Pętla przestaje być wykonywana, gdy wartość przypisana zmiennej będzie o jeden mniejsza od ograniczenia. W przypadku omawianego programu ograniczenie to `< 5`, czyli „mniejsze od 5”. W związku z tym pętla będzie liczyć od 1 do 4, korzystając ze zmiennej `outpin`.
- Trzeci parametr określa wartość dodawaną do zmiennej podczas każdego obiegu pętli (jest to tzw. współczynnik iteracji). W przypadku analizowanego programu dodawaną wartością jest jeden, a w języku C możemy to zapisać za pomocą dwóch znaków `++`. W związku z tym zapis `outpin++` można odczytać jako „wykonując każdy obieg pętli, dodaj 1 do zmiennej `output`”.

Pętle `for` umożliwiają określenie różnych warunków. Są one dość wszechstronne. Poszukaj informacji na temat obsługiwanych warunków w materiałach źródłowych dotyczących języka obsługiwaneego przez mikrokontroler Arduino. Pętla `for` zastosowana w omawianym programie liczy od 1 do 4, ale z łatwością można ją zmodyfikować, tak aby liczyła do 100 do 400 lub w dowolnym innym zakresie

ograniczonym zakresem wartości całkowitoliczbowych użytych w pętli (`int` lub `long`).

Podczas każdego obiegu pętli mikrokontroler wykonuje określone operacje. Procedura ta jest definiowana w nawiasach klamrowych umieszczonych po definicji pętli. Procedura ta — jak każda inna — może składać się z wielu operacji kończących się średnikiem. Analizowana procedura składa się tylko z jednej operacji — zapisania stanu niskiego (`LOW`) na pinie określonym przez zmienną `outpin`. Zmienna `outpin` przyjmuje kolejne wartości znajdującej się w zakresie od 1 do 4, a więc pętla `for` generuje niskie sygnały wyjściowe na cyfrowych złączach oznaczonych numerami od 1 do 4.

Już wiesz, o co tu chodzi? Pętla wyłącza wszystkie diody LED.

Czy diodę można wyłączyć w prostszy sposób? Oczywiście, można to zrobić za pomocą ciągu czterech poleceń:

```
digitalWrite (1, LOW);  
digitalWrite (2, LOW);  
digitalWrite (3, LOW);  
digitalWrite (4, LOW);
```

Chciałem przedstawić zasadę działania pętli `for`, ponieważ jest to jeden z podstawowych i ważnych elementów języka obsługiwaneego przez Arduino. Pętla ta przydaje się w sytuacjach, w których trzeba np. wyłączyć dziewięć diod LED lub wykonać sto błysków diodą LED. Pętla `for` jest wydajnym rozwiązaniem do stosowania w sytuacjach wymagających wielokrotnego powtarzania jakiejś czynności.

## Funkcja generująca liczby losowe

Po wyzerowaniu wyświetlacza przez pętlę `for` uruchamiana jest funkcja `random()`, która wybiera liczbę z zakresu podanego w nawiasach. Chcemy, aby kostka wyświetlała liczby z zakresu od 1 do 6, dlaczego więc w nawiasach podaliśmy zakres od 1 do 7? Funkcja tak naprawdę wybiera wartości niecałkowite z zakresu od 1,00000001 do 6,99999999, co daje nam dziesiątkę możliwości.

a następnie odrzuca część będącą ułamkiem dziesiętnym. W związku z tym 7 jest wartością graniczną, która nigdy nie jest osiągana, a funkcja będzie generowała liczby z zakresu od 1 do 6.

Wylosowana liczba jest zapisywana w zmiennej `spots` (wartość ta określa liczbę oczek).

## Instrukcje `if`

Teraz program sprawdza wartość przypisaną do liczby `spots` i zapala odpowiednie diody LED.

Pierwsza instrukcja `if` jest dość prosta. Powoduje ona wygenerowanie wysokiego sygnału na pinie numer 1 (do tego pinu podłączone są diody LED znajdujące się po lewej i prawej stronie) tylko wtedy, gdy wylosowana zostanie liczba 6.

Dlaczego nie zapalamy również diod LED leżących na przekątnych? Diody te są włączane również w przypadku wylosowania innej liczby, a warto zadać o wydajność programu i ograniczyć liczbę instrukcji warunkowych `if`. Za chwilę zrozumiesz, jak to działa.

W kolejnej instrukcji `if` zastosowano wspomniany wcześniej symbol kreski poziomej. W języku C `||` jest funktem LUB. W związku z tym instrukcja ta zapala środkową diodę LED, podając wysoki sygnał na pin numer 2 w przypadku wylosowania liczby 1 lub 3, lub 5.

Trzecia instrukcja `if` aktywuje dwie diody LED zainstalowane po przekątnej, jeżeli wartość przypisana zmiennej `spots` jest większa od 3. Diody te przydają się podczas wyświetlania liczb 4, 5 i 6.

Ostatnia instrukcja `if` zapala pozostałe diody LED zainstalowane po przekątnej, jeżeli wartość przypisana zmiennej `spots` jest większa od 1.

Logik działania instrukcji `if` możesz przeanalizować, patrząc na układ diod widoczny na rysunku 4.141. Bramki logiczne widoczne na tym rysunku wykonują inne operacje logiczne niż zaprezentowany program, ponieważ przetwarzają one sygnał generowany przez układ licznika, ale diody LED w obu

wersjach projektu są połączone ze sobą w ten sam sposób.

## Szybkość migania

Pod instrukcjami `if` umieściłem polecenie `delay` powodujące przerwanie wykonywania programu na 20 milisekund — moim zdaniem wyświetlane liczby wyglądają wtedy ciekawiej. Bez tego polecenia diody LED migłyby tak szybko, że kolejne wyświetlane liczby zlewałyby się ze sobą. Polecenie `delay` sprawia, że użytkownik może rozróżnić wyświetlane liczby, ale są one zmieniane zbyt szybko, aby można było zatrzymać wyświetlacz na interesujączej gracza liczbie.

Funkcji `delay` możesz przypisać — w zależności od swoich preferencji — nieco wyższą lub nieco niższą wartość.

## Tworzenie nowej funkcji

Teraz coś ważnego. Dotarliśmy do kroków o oznaczeniach 3, 4 i 4a. Przypomnijmy sobie ich treść:

- Krok 3. Sprawdź, czy przycisk został wciśnięty.
- Krok 4. Sprawdź, czy zegar systemowy osiągnął już wartość zapisaną w funkcji `ignore`.
- Krok 4a. Jeżeli przycisk nie został jeszcze wciśnięty LUB jeżeli zegar systemowy nie osiągnął wartościowej wartości przypisanej zmiennej `ignore` albo wyższej, to wróć z powrotem do kroku numer 0. W przeciwnym wypadku...

Wszystkie te operacje można wykonać za pomocą jednej funkcji `if`. Funkcja ta w pseudokodzie miałaby następującą postać:

- Wróć do kroku numer 0, jeżeli przycisk nie jest wciśnięty lub zegar systemowy nie osiągnął jeszcze wartości zapisanej w zmiennej `ignore`.

Widzę tu jeden potencjalny problem. Wyrażenie „wróć do...” sugeruje, że chcę skierować mikrokontroler

do określonego miejsca w programie. Co prawda może się to wydawać czymś normalnym, ale pisząc programy w języku C, należy unikać przenoszenia sterowania programu z jednej jego części do drugiej.

Dzieje się tak, ponieważ duża liczba instrukcji „przejdź tu” i „przejdź tam” sprawia, że działanie programu będzie trudne do zrozumienia dla innych, a także dla Ciebie, gdy zajrzesz do programu po np. półroczej przerwie.

Język C zakłada, że każda część programu będzie znajdowała się w oddzielnym bloku. Kod bloku może zostać **wywołany** w dowolnym momencie. Blok instrukcji można traktować jak postusznego sługę, który wykonuje jedną czynność, np. wyniesienie śmieci lub zmywanie naczyń. Gdy czynność taka ma być wykonana, wystarczy zwołać sługę, posługując się jego imieniem.

Bloki kodu określamy mianem **funkcji**. Określenie to może wydawać się nieadekwatne, ponieważ wcześniej mieliśmy do czynienia z funkcjami `setup()` i `loop()`, ale tak naprawdę możliwe jest tworzenie własnych funkcji, które będą działały podobnie jak te, które omawialiśmy wcześniej.

Doszedłem do wniosku, że właściwym rozwiąza niem będzie przeniesienie operacji sprawdzania stanu przycisku do zewnętrznej funkcji o nazwie `checkbutton()`. Funkcji tej mogę nadać dowolną inną nazwę, o ile nie byłaby ona słowem zarezerwowanym już do czegoś innego.

Funkcję `checkbutton()` znajdziesz w dolnej części kodu programu. Przed jej nazwą podano słowo `void` — funkcja ta nie zwraca żadnej wartości do programu.

`void checkbutton()` jest **nagłówkiem** funkcji, po którym wewnętrz nawiasów klamrowych podawany jest kod procedury. Funkcja ta wykonuje następujące operacje:

- Odczekaj 50 ms, aż styki przycisku przestaną się poruszać.
- Poczekaj na zwolnienie przycisku.

- Odczekaj kolejne 50 ms, aż styki zwolnionego przycisku przestaną się poruszać.
- Poczekaj, aż przycisk zostanie ponownie wciśnięty (innymi słowy, poczekaj, aż przycisk przestanie być zwolniony).
- Zmień wartość przypisaną zmiennej `ignore`.

Co zrobi kontroler po wykonaniu całego kodu tej funkcji? To proste — przejdzie z powrotem do linii kodu znajdującej się bezpośrednio za linią, która wywołała funkcję. Czyli gdzie? Bezpośrednio pod omówioną wcześniej funkcją `if`. Funkcję wywołuje się, podając jej nazwę, a także parametry ujęte w nawiasy. Niektóre funkcje wymagają podania parametrów, ale nie mamy takich przykładów w analizowanym kodzie.

W programie możesz umieścić dowolną liczbę funkcji wykonujących różne zadania. Aby dowiedzieć się więcej na ten temat, powinieneś zająrzeć do jakiegoś podręcznika programowania w języku C. W dokumentacji Arduino nie znajdziesz zbyt wiele szczegółowych informacji na temat funkcji. Zagadnienia związane z funkcjami są dość trudne do zrozumienia — funkcje mogą zwracać wartości, a ponadto istnieje również możliwość zwracania wartości przez funkcje do innych części programu. Tym niemniej funkcje są najważniejszym elementem języka C.

## Struktura

Linia kodu zaczynająca się od `if ( millis() > ignore` wykonuje operacje opisane w kroku numer 4 pseudokodu. Jedynym wyjątkiem jest to, że działa ona na odwrót. Zamiast decydować o tym, czy skierować mikrokontroler na początek programu, kod ten określa, czy należy wywołać funkcję `checkbutton()`. Wcześniej operację tę opisałem słowami: „wróć do kroku numer 0, jeżeli przycisk nie jest wciśnięty lub zegar systemowy nie osiągnął jeszcze wartości zapisanej w zmiennej `ignore`”. Później zmodyfikowałem tę operację i teraz można ją opisać słowami: „jeżeli skończył się czas ignorowania przycisku i przycisk jest wciśnięty, to przejdź do funkcji `checkbutton()`”.

Po wykonaniu tej funkcji i powrocie do kodu znajdującego się po wywołaniu tej funkcji mikrokontroler dochodzi do końca funkcji `loop`, która jest automatycznie powtarzana.

Tak naprawdę ten program wykonuje w kółko tylko jedną czynność. Wybiera liczbę losową, a następnie wyświetla ją za pomocą diod LED. Działanie programu jest zatrzymywane po wcisnięciu przycisku, ale ponowne jego wcisnięcie spowoduje kontynuację pracy programu. Operacja losowania i wyświetlania liczb jest przerywana tylko przez procedurę sprawdzającą stan przycisku.

W związku z tym naturalną strukturą tego programu jest umieszczenie kodu losującego i wyświetlającego liczby w funkcji `loop`, która jest na chwilę przerwana odwołaniem do funkcji `checkbutton()`.

W dokumentacji Arduino nie znajdziesz informacji dotyczących struktury programu, ponieważ dokumentacja ma na celu jak najszybsze przygotowanie użytkownika do pracy z mikrokontrolerem. W związku z tym twórcy Arduino wymagają utworzenia tylko dwóch następujących po sobie funkcji: `setup` i `loop`.

Tworząc rozbudowany program, należy dzielić jego kod na własne funkcje, dzięki czemu kod będzie bardziej uporządkowany. Więcej informacji na ten temat znajdziesz w samouczkach dotyczących języka C.

Oczywiście, jeżeli Arduino ma wykonywać jedną, prostą czynność, taką jak np. włączanie grzejnika, gdy temperatura w pokoju spadnie, to praktycznie cały kod programu możesz umieścić wewnątrz funkcji `loop`. W takim przypadku nie musisz dzielić programu na dodatkowe funkcje. Mikrokontroler oferuje o wiele więcej możliwości, ale chcąc wykonać coś bardziej ambitnego, takiego jak np. symulator kostki do gry, musisz stworzyć o wiele dłuższy kod. Podział kodu na funkcje ułatwia pracę nad programem.

Inną zaletą korzystania z funkcji jest możliwość użycia ich w przyszłości w innych programach. Funkcja `checkbutton()` może zostać zastosowana w dowolnej grze, w której działanie programu ma zostać zatrzymane przez wcisnięcie przycisku

i wznowione po ponownym wcisnięciu tego przycisku przez gracza.

W swoich programach możesz stosować również funkcje napisane przez innych użytkowników, którzy nie roszczą sobie praw autorskich z tytułu napisanego przez siebie kodu. W internecie znajdziesz wiele darmowych funkcji napisanych w języku C. Niektóre z nich zostały stworzone specjalnie z myślą o Arduino. Istnieją np. funkcje przeznaczone do sterowania pracą różnych wyświetlaczów alfanumerycznych. Na podstawie tego można wysnuć wniosek, o którym programiści często zapominają:

- Nie należy starać się wynaleźć ponownie koła!

Nie musisz tracić czasu na samodzielne tworzenie funkcji, jeżeli ktoś już je napisał za Ciebie.

Istnieje jeszcze jeden powód, który sprawia, że funkcje są bardzo ważnym elementem języka C.

## Czy nie jest to zbyt skomplikowane?

Im więcej programów napiszesz, tym sprawniej będziesz je tworzył. Na początku proces tworzenia programów może wydawać się czymś bardzo trudnym, ale po pewnym czasie będziesz bez większego zastanowienia tworzył pętle `for`. Wszystko to, co na początku wydaje się trudne, po pewnym czasie staje się oczywiste.

Tak twierdzi wielu programistów. Czy to prawda?

Czasem tak, a czasem nie. Uważam, że każdy może sterować techniką znajdująca się wokół nas, ale tworzenie programów komputerowych to zupełnie ekstremum.

Prowadziłem kiedyś zajęcia będące wstępem do programowania i zauważałem, że niektórym uczniom programowanie wydaje się czymś zupełnie naturalnym, a innym czymś ekstremalnie trudnym. Nie zawsze wiązało się to z ich inteligencją.

Pod koniec kursu, który trwał 36 godzin (12 tygodni), jeden z uczniów samodzielnie napisał program symulujący pracę automatu do gier typu jednoręki

bandyta. Stworzył grafikę obracających się kół, a także wygrywanych pieniędzy.

W tej samej grupie miałem również ucznia będącego studentem farmacji. Był on bardzo inteligentnym i wykształconym człowiekiem, ale pomimo usiłnych starań ciągle mylił składnie nawet tak prostych instrukcji jak i f. Osoba ta stwierdziła, że programowanie jest irytujące, ponieważ sprawia, że pomimo swojej inteligencji czuje się jak głupiec.

Ten uczeń miał rację. Był inteligentny, ale nie mogłem mu pomóc. Dzięki niemu nauczyłem się, że:

- Aby być dobrym programistą, trzeba myśleć jak komputer.

Z jakiegoś powodu nie udawało się to temu farmaceutce. Jego mózg nie potrafił pracować w ten sposób. Był on w stanie opisać mi skład leku, podać jego strukturę molekularną i wiele innych informacji, ale takie umiejętności nie były przydatne podczas pisania programów.

Początkowo Arduino było przedstawiane jako urządzenie dla osób kreatywnych, które nie określali siebie mianem programistów. Powinno ono być tak proste do zaprogramowania, że każdy dałby sobie z tym radę.

Kłopot w tym, że pamiętam wprowadzenie języka HTML, który również miał być tak łatwy, że każdy powinien móc zakodować własną stronę internetową. Niektórym się to udało, ale z pewnością nie wszystkim. Dzisiaj niewielka część użytkowników internetu tworzy ręcznie kod HTML. Jestem jedną z takich osób, ale po prostu to lubię.

Cofnijmy się do początków znanych nam komputerów. Stworzono wtedy język BASIC, który również miał być tak łatwy, że każdy mógłby się nim posługiwać. Na początku lat 80. ubiegłego wieku, wraz z pojawiением się komputerów osobistych, przewidywano, że ich użytkownicy będą za jego pomocą tworzyć proste programy, np. ułatwiające zarządzanie finansami lub będące bazą przepisów. Wtedy wielu ludzi próbowało programować, ale ile osób robi to wciąż dzisiaj?

Piszę o tym, abyś wiedział, że jeżeli programowanie sprawia Ci trudność, to nie jest to nic strasznego. Jestem pewny, że dysponujesz innymi zdolnościami. Jedną z takich zdolności może być np. tworzenie różnych urządzeń poprzez łączenie ze sobą komponentów elektronicznych. Projektowanie obwodów wydaje mi się o wiele bardziej trudnym zadaniem od programowania, ale z pewnością znajdzie się ktoś uważający, że programowanie jest bardziej trudne.

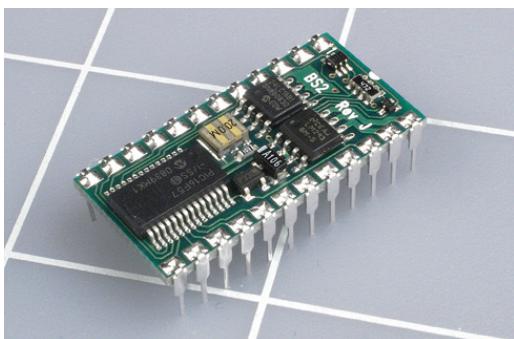
## Rozbudowa programu obsługującego kostkę

Projekt ten, podobnie jak jego wersja przedstawiona w eksperymencie numer 24, może być rozbudowany przez dodanie drugiego ekranu. Dzięki płytce Arduino jest to zadanie bardzo łatwe — mikrokontroler jest wyposażony w większą liczbę cyfrowych wyjść, które mogą sterować pracą dodatkowych diod LED. Wystarczy, że zduplikujesz sekcję programu, która zaczyna się wyzerowaniem wyświetlacza, a kończy funkcją `delay(20);`. W kodzie programu zmodyfikuj numery pinów w funkcji `digitalWrite()` tak, aby program odwoływał się do dodatkowych diod LED. To wszystko!

## Inne mikrokontrolery

Wspominałem wcześniej o mikrokontrolerze PICAXE. Charakteryzuje się on dobrą dokumentacją i wsparciem technicznym. Obsługiwany przez niego język jest łatwiejszy od C. Dla czego PICAXE nie jest tak popularne jak Arduino? Nie wiem. Może to wynikać z jego nazwy. Jest to z pewnością mikrokontroler, którym powinieneś się zainteresować. Zacznij od przeczytania artykułu na jego temat znajdującego się w serwisie Wikipedia. BASIC Stamp ma bogatszą składnię języka i obsługuje więcej urządzeń peryferyjnych (włączając w to ekran graficzny oraz małą klawiaturę zaprojektowaną specjalnie na potrzeby kontrolera). Możesz dokonać zakupu tego mikrokontrolera wykonanego na bazie komponentów przeznaczonych do montażu powierzchniowego i mającego formę miniaturowej płytki, którą można wpiąć w płytke

prototypową. To doskonałe rozwiązanie przedstawione na rysunku 5.93.



Rysunek 5.93. Mikrokontroler BASIC Stamp zbudowany jest z układów scalonych montowanych powierzchniowo na płytce z pinami o rozstanie jednej dziesiątej cala, pozwalającym na wstawienie go do płytki prototypowej lub perforowanej

Wadą tego mikrokontrolera jest wyższa cena samego chipu, jak i współpracujących z nim urządzeń w porównaniu do świata PICAXE, a także bardziej skomplikowany proces ładowania programu do pamięci układu.

Nowe urządzenia, takie jak Raspberry Pi, rozszerzają możliwości mikrokontrolera do tego stopnia, że można je uznać za pełnoprawne komputery.

W momencie, w którym czytasz tę książkę, na rynku z pewnością będzie jeszcze więcej urządzeń tego typu. Przed zdecydowaniem się na naukę obsługi jednego z nich warto poświęcić dzień lub dwa na przejrzenie jego dokumentacji i informacji na jego temat na forach dyskusyjnych.

Przed rozpoczęciem przygody z jakimś nowym mikrokontrolerem zawsze szukam w internecie informacji o potencjalnych problemach i trudnościach związanych z danym mikrokontrolerem. Zwykle wpisuję w wyszukiwarce Google frazę

*nazwa\_mikrokontrolera problemy*

Oczywiście zamiast frazy *nazwa\_mikrokontrolera* należy podać nazwę mikrokontrolera, który Cię zainteresował.

Nie wynika to z tego, że jestem z natury przeciwnikiem nowości. Po prostu nie chcę tracić czasu

na pracę z urządzeniem sprawiającym problemy, których nie da się rozwiązać.

## Wyprawa w nieznane

Czas na jakieś ogólne podsumowanie.

Jeżeli poświęciłeś swój czas i przeprowadziłeś samodzielnie większość z projektów zawartych w tej książce, masz za sobą bardzo intensywne wprowadzenie do najbardziej fundamentalnych obszarów elektroniki.

Jakie tematy ominęły Cię po drodze? Oto kilka obszarów, które stoją przed Tobą otworem do samodzielnego poznawania. Jak zwykle po więcej informacji odsyłam do sieci.

Podejście, które przyjęłem — pozbawione formalizmów i oparte na nauce przez odkrywanie — jest ubogie pod względem wiedzy teoretycznej. Unikałem wprowadzania rachunku matematycznego, którego należy się spodziewać na niemal każdym kursie poświęconym elektronice. Jeżeli masz zacięcie matematyczne, możesz wykorzystać je do znacznie lepszego zrozumienia przyczyn funkcjonowania obwodów w określony sposób.

Nie opisałem zagadnień związanych z kodem binarnym. Nie zbudowałeś sumatora jednocyfrowego. Praca nad nim jest doskonałym sposobem na zrozumienie pracy komputerów na najniższym poziomie. Jeżeli Cię to interesuje, to odsyłam Cię do lektury książki *Elektronika. Od praktyki do teorii. Kolejne eksperymenty*.

Nie przedstawiłem Ci fascynujących i jednocześnie zagadkowych właściwości prądu zmennego. Tutaj również wszechobecna jest matematyka. Tematem samym w sobie jest prąd o wysokiej częstotliwości.

Z powodów wyjaśnianych już wcześniej unikałem stosowania układów scalonych montowanych powierzchniowo. Nic nie stoi jednak na przeszkodzie, abyś Ty zbadał ten obszar przy relatywnie niskim nakładzie finansowym, szczególnie jeśli interesuje Cię budowa urządzeń o miniaturowych rozmiarach.

Nie było słowa na temat lamp próżniowych, ponieważ w tej chwili mają one jedynie znaczenie jako element historii elektroniki. Jest w nich jednak coś pięknego, szczególnie jeśli zostaną zamknięte w pięknej, stylowej obudowie. W rękach doświadczonego rzemieślnika wzmacniacze i radia lampowe mogą stać się dziełem sztuki.

Nie pokazałem Ci, w jaki sposób wytrawiać własne płytki drukowane. Realizacją takich projektów zajmują się jedynie wybrane osoby, a sam proces wymaga stworzenia bardzo dokładnych rysunków przy użyciu odpowiedniego oprogramowania. Jeżeli dysponujesz takimi zasobami, możesz spróbować wyprodukować własne obwody drukowane. Nie-wykluczone, że będzie to pierwszy krok w kierunku masowej produkcji Twoich układów elektronicznych.

Zupełnie pominałem zagadnienie elektrostatyki. Wyładowania przy wysokich napięciach nie mają szczególnych zastosowań praktycznych i wiążą się z nimi pewne zagrożenia, ale z drugiej strony stanowią spektakularne zjawisko, a informacje na temat budowy odpowiednich urządzeń są dostępne w sieci. Może warto spróbować.

Nie opisałem tu również zagadnień związanych ze wzmacniaczami operacyjnymi i wysokopoziomowymi układami logicznymi, ale znajdziesz je w książce *Elektronika. Od praktyki do teorii. Kolejne eksperymenty*.

## Zakończenie

Uważam, że celem książki stanowiącej wprowadzenie do danego zagadnienia jest umożliwienie poznania całego wachlarza dostępnych możliwości, a następnie pozostawieni Tobie decyzji, którą ze ścieżek chcesz podążyć dalej. Elektronika jest idealnym hobby dla osób, które lubią realizować samodzielne projekty, ponieważ niemal każde zastosowanie — poczynając od robotyki, przez sterowane radiowo modele samolotów, telekomunikację, aż po urządzenia programowalne — można odkrywać w zaciszu własnego domu i przy ograniczonych zasobach.

Mam nadzieję, że odkrywanie dalej samodzielnie tajników elektroniki w dziedzinie, która zainteresowała Cię najbardziej, będzie dla Ciebie satysfakcyjnym doświadczeniem, a przede wszystkim zajęciem sprawiającym dużo radości.

# Narzędzia, wyposażenie, komponenty i zasoby

6

Niniejszy rozdział podzieliłem na pięć części.

**Zestawy.** Istnieje wiele zestawów zawierających komponenty i zapasy niezbędne do wykonania projektów opisanych w tej książce. Zobacz sekcję „Zestawy”.

**Szukanie komponentów i zakupy w internecie.** Zamiast kupować zestawy komponentów, możesz samodzielnie skompletować wszystkie rzeczy niezbędne do wykonania projektu. W sekcji „Szukanie komponentów i zakupy w internecie” udzielę Ci kilku porad ułatwiających korzystanie ze sklepów internetowych.

Na **listach zasobów i komponentów** znajdziesz wszystkie rzeczy niezbędne do wykonania poszczególnych projektów. Listy zasobów znajdziesz w sekcji „Zasoby”, a listy komponentów znajdziesz w sekcji „Komponenty”.

**Kupowanie narzędzi i wyposażenia.** Stworzyłem listę wszystkich narzędzi wymienionych na początku każdego rozdziału i zasugerowałem pewne źródła zakupu. Patrz sekcja „Kupowanie narzędzi i wyposażenia”.

**Dystrybutorzy.** Tutaj znajdziesz listę różnych dostawców i sklepów, a także wyjaśnienie skrótów stosowanych we wcześniejszej części tego rozdziału. Patrz sekcja „Dystrybutorzy”.

## Zestawy

W momencie oddawania książki do druku wciąż trwały prace nad stworzeniem zestawów zawierających komponenty niezbędne do przeprowadzenia poszczególnych eksperymentów. Zestaw powinien zawierać wszystkie komponenty niezbędne do

wykonania projektów przedstawionych w rozdziałach 1., 2. i 3. Dodatkowy zestaw będzie zawierał komponenty przydatne podczas pracy nad eksperymentami opisanymi w rozdziale 4. Być może wprowadzony do obrotu zostanie dodatkowy zestaw.

Więcej informacji na ten temat znajdziesz na stronie <http://www.plattkits.com/>.

Obecnie współpracujący ze mną sklep internetowy nie prowadzi wysyłki do Polski, ale w przyszłości może to się zmienić. Pamiętaj o tym, że zestawy komponentów niezbędnych do wykonania projektów opisanych w tej książce możesz znaleźć również w ofercie innych dystrybutorów.

## Szukanie komponentów i zakupy w internecie

Szukanie komponentów w internecie sprawiło problem wielu czytelnikom pierwszego wydania tej książki. W związku z tym postanowiłem udzielić kilku ogólnych porad związanych z szukaniem rzeczy w internecie. Zacznę od najbardziej podstawowych spraw, a później opiszę bardziej złożone problemy. Osoby, które są obeznane z poszukiwaniem komponentów w internecie, mogą znaleźć tu praktyczne, nowe wskazówki.

Pełną listę dystrybutorów znajdziesz w sekcji „Dystrybutorzy”. Na początek chciałbym przedstawić Ci krótką listę dostawców, z których usług sam korzystam.

**Podzespoły elektroniczne** są sprzedawane w wielu serwisach internetowych, które nie na-rzucają minimalnej wielkości zamówienia. Dużymi

dystrybutorami są np. firmy takie jak Mouser, Digikey i Newark. Ich serwisy znajdziesz pod adresami:

- <http://pl.mouser.com/>,
- <http://www.digikey.com/>,
- <http://www.newark.com/>.

Wymienione powyżej serwisy są firmami amerykańskimi i zapewne nie wszystkie operują w Polsce. Warto więc zatrzymać się na następujące witryny:

- <http://elfaelektronika.pl/>,
- <http://elektronika-sklep.pl/>,
- <http://www.eltronix.pl/>,
- <http://pl.farnell.com/>,
- <http://www.tme.eu/>.

Komponenty możesz znaleźć również w serwisach aukcyjnych takich jak eBay i Allegro. Ceny komponentów są tam niższe (dotyczy to szczególnie dostawców azjatyckich). Korzystanie z tych serwisów może okazać się mniej opłacalne w przypadku zakupu mniejszej ilości komponentów takich jak np. pojedyncze układy logiczne.

**Narzędzia i wyposażenie** znajdziesz w ofercie serwisów aukcyjnych takich jak eBay i Allegro, a także u dystrybutorów takich jak Amazon i Sears. Narzędzia niezbędne do wykonania projektów są również w ofercie marketów budowlanych.

Na stronie firmy McMaster-Carr (<http://www.mcmaster.com/>) znajdziesz wiele ciekawych artykułów i informacji na temat np. różnych rodzajów tworzyw sztucznych lub zalet stosowania różnych wiertel.

## Sztuka szukania

Najłatwiej jest szukać komponentu o konkretnym numerze części (o ile nim dysponujesz). Numer taki możesz wprowadzić w wyszukiwarce znajdującej się na stronie interesującego Cię dystrybutora. Algorytm wyszukiwarki cechuje się zwykle pewną elastycznością, np. po wpisaniu w wyszukiwarce serwisu <http://pl.mouser.com/> frazy 7402 otrzymasz w wynikach wyszukiwania układ SN7402N produkowany

przez firmę Texas Instruments — przypominam, że symbol SN oznacza, że komponent został wyprodukowany przez firmę Texas Instruments, a symbol N oznacza, że jest to podstawowy układ scalony.

Wyszukiwarki nie potrafią znajdować części, których producenci oznaczyli je dodatkowymi symbolami wstawionymi w środku nazwy. Wspomniana wyszukiwarka pominie np. układy należące do rodziny 74HC02, ponieważ w środku nazwy został wstawiony symbol HC.

## Skorzystaj z komunikatora

Załóżmy, że dysponujesz tylko fragmentem numeru części, nie wiesz, czy część nie wyszła z użycia, lub po prostu potrzebujesz pomocy. Nie przeocz opcji skorzystania z pomocy. Duże serwisy zawierają opcję umożliwiającą kontakt ze sprzedawcą, który może udzielić Ci pomocy. Z pomocy możesz skorzystać, nawet kupując pojedyncze komponenty.

Najlepiej jest korzystać z pomocy w formie komunikatora tekstowego. Rozwiązywanie takie pozwala na skopiowanie numeru komponentu i błyskawiczne uzyskanie informacji dotyczącej dostępności komponentu tego typu.

## Google i podzespoły

Jeżeli chcesz porównać komponenty dostępne w różnych sklepach, to skorzystaj z wyszukiwarki internetowej takiej jak np. Google. Co prawda są inne wyszukiwarki, ale ta najlepiej nadaje się do naszych potrzeb.

Jeżeli numer części jest długi i skomplikowany, to masz dużą szansę na znalezienie niezbędnego komponentu i uniknięcie przeglądania nieadekwatnych ofert. Jeżeli wpiszesz w Google numer 7402, to w wynikach wyszukiwania pojawią się informacje na temat koloru o tym numerze w skali Pantone, a także dokumenty publikowane przez różne ministerstwa pod tym właśnie numerem. Wpisanie w wyszukiwarce hasła 74HC02 zawęzi zbiór wyników do układów logicznych.

Niestety w wynikach wyszukiwania otrzymasz dużo odnośników do serwisów zajmujących się odsprzedażą dokumentacji komponentów. Firmy takie zbierają dokumentacje różnych producentów sprzętu elektronicznego, a następnie umieszczają je na stronach zawierających reklamy, z wyświetlania których czerpią korzyści. Tego typu strony są irytujące, ponieważ wyświetlanie kolejnych stron dokumentacji wiąże się z otwieraniem kolejnych reklam. Korzystanie z takich stron to po prostu strata czasu. W związku z tym często w wyszukiwarce wpisuję hasło **datasheet** poprzedzone minusem (pomija to wyświetlanie dokumentacji komponentów w wynikach wyszukiwania).

74HC02 -datasheet

Google nie poprawia literówek we wpisywanym numerze komponentu. Wyszukiwarka uwzględnia to, że wpisując komponenty, prawdopodobnie miałeś na myśli „komponenty”, ale nie uwzględnia tego, że wpisując 84HC02, miałeś na myśli układ 74HC02.

## Dokumentacja

A co, jeżeli szukasz dokumentacji, bo chcesz sprawdzić specyfikację jakiegoś komponentu? Wejdź na stronę jednego z większych dystrybutorów i znajdź interesującą Cię część, a następnie poszukaj przycisku **datasheet**. Kliknięcie go spowoduje otwarcie wielostronowego dokumentu (prawie zawsze w formacie PDF) stworzonego przez producenta komponentu. Przeglądanie tego dokumentu jest o wiele wygodniejsze niż korzystanie z komercyjnych stron znalezionych za pomocą wyszukiwarki Google.

## Ogólne zasady korzystania z wyszukiwarki

Jeżeli szukasz jakiegoś komponentu, to wpisanie w Google jego typu spowoduje wyświetlenie listy wyników zawierającej wiele nieadekwatnych wpisów. Założymy, że szukasz hasła:

przełącznik

W wynikach wyszukiwania otrzymałem strony oferujące sprzedaż właczników do światła, stronę lokalnej winiarni, informacje o przełącznikach sieciowych (urządzeniach podobnych do routerów), a także stronę organizacji zajmującej się pośrednictwem pracy. Jak uniknąć tak nieprecyzyjnych wyników wyszukiwania?

Do wyszukiwanej frazy dodaj słowo definiujące obszar, którym jesteś zainteresowany. Lepsze wyniki uzyskasz, wpisując hasło:

przełącznik elektronika

Jeżeli potrzebujesz przełącznika DPDT przystosowanego do prądu o natężeniu 1 A, to wpisz:

"przełącznik dpdt" 1a

Zwróć uwagę na to, że interesującą mnie frazę ujętem w cudzysłów. Dzięki temu wyniki wyświetcone przez wyszukiwarkę będą charakteryzować się większą trafnością. Wyszukiwarka nie rozróżnia wielkich i małych liter. Zapisanie terminu „dpdt” wielkimi literami nie zwiększy trafności uzyskanych wyników.

Wyniki wyszukiwania możesz zawęzić, dodając źródło, np.:

"przełącznik dpdt" 1a farnell

Po co dopisywać nazwę dystrybutora, skoro można wejść na jego stronę i skorzystać ze znajdującej się tam wyszukiwarki? Wyszukiwarka na stronie internetowej dostawcy charakteryzuje się mniejszą funkcjonalnością od wyszukiwarki Google (może np. nie rozpoznawać zastosowania cudzysłowu).

Na szczęście większość dostawców pozwala na indeksowanie zawartości ich stron przez crawlery Google i możliwe jest wchodzenie bezpośrednio na podstrony znajdujące się w wynikach wyszukiwania.

## Wykluczanie

Minus pozwala na wyeliminowanie z wyników wyszukiwania niechcianych elementów. Jeżeli np. interesują Cię tylko pełnowymiarowe przełączniki, to w wyszukiwarce możesz wpisać następującą frazę:

"przełącznik dpdt" 1a farnell  
-miniaturaowy

Znak minus to kolejny element składni, który może być nieobsługiwany przez wyszukiwarki znajdujące się na stronach dystrybutorów.

## Alternatywy

Nie zapomnij o możliwości stosowania operatorów logicznych AND i OR. Jeżeli w danym projekcie możesz zastosować przełącznik jednobiegowy, dwupozycyjny i równie dobrze przełącznik dwubiegowy, dwupozycyjny, to w wyszukiwarce możesz wpisać następującą frazę:

przełącznik dpdt OR spdt 1a  
-miniaturaowy

Korzystanie z takiej składni może być problematyczne, ponieważ w elektronice funkcjonuje kilka konwencji nazywania komponentów. Przełącznik DPDT może być określany mianem przełącznika 2P2T, a przełącznik SPDT może być określany mianem przełącznika 1P2T. W celu ujęcia wszystkich nazw będziesz musiał zastosować wiele poleceń OR.

## Zbyt dużo pisania?

Osobiście uważam, że dobrze skonstruowane pytanie pozwoli uniknąć długotrwałego przeglądania wyników wyszukiwania. Jeżeli nie chcesz wpisywać długich zapytań, to możesz poszukać niezbędnych komponentów w inny sposób. Kliknij zakładkę *Grafika* znajdująca się w górnym pasku wyszukiwarki Google. W wynikach możesz zobaczyć wszystkie rodzaje przełączników. Nasze mózgi są doskonale przystosowane do rozróżniania obrazów, a więc przeglądanie wyników wyszukiwania grafiki będzie przebiegało sprawniej od przeglądania wyników wyszukiwania tekstu.

## Katalog dystrybutora

Innym rozwiązaniem jest wejście na stronę internetową większego dystrybutora komponentów, takiego jak np. Mouser i Farnell, i wybranie w katalogu komponentów zakładki „przełączniki”. Po wyświetleniu

tej zakładki zobaczysz różne rodzaje przełączników. Po wybraniu danego rodzaju wyświetlane zostaną kolejne opcje pozwalające stopniowo zawęzać wyniki wyszukiwania.

Na stronach większych dostawców, takich jak np. Mouser, znajdziesz okno pozwalające na określenie parametrów poszukiwanego komponentu (znamionowego napięcia, natężenia itp.). Korzystanie z tych opcji może być irytujące, ponieważ katalogi często nie są zarządzane w sposób inteligentny. Niektóre przełączniki przystosowane do pracy przy natężeniu prądu równym pół ampera są umieszczone jako 0,5 A, a inne przełączniki tego samego typu są umieszczone w oddzielnej kategorii 500 mA. Kategorie te są identyczne, ale osoby je tworzące najprawdopodobniej kopią dane ze specyfikacji podanych przez producenta, tymczasem niektórzy producenci postępują się amperami, a inni miliamperami.

Jak rozwiązać ten problem? Zaznacz kilka kategorii jednocześnie. Np. w systemie Windows wcześniej w tym celu klawisz *Ctrl*, a następnie wybierz kategorię 0,5 A oraz 500 mA, a także wszystkie inne, które Ci pasują (prąd o natężeniu 0,5 A może płynąć również przez przełączniki przystosowane do prądu 1 A i większego).

## Co kliknąć najpierw?

Korzystając z kategorii na stronie dystrybutora, warto wybierać tylko te właściwości, które muszą być koniecznie zachowane. Jeżeli szukasz np. układów logicznych, to zaznacz najpierw opcję ograniczającą wyświetlanie czipy do wersji przeznaczonych do montażu przeplatanyego. Z pewnością nie chcesz pracować z komponentami przeznaczonymi do montażu powierzchniowego. Zauważ, że obudowa typu DIP (obudowa podłużna dwurzędowa) to praktycznie to samo co obudowa typu PDIP (plastikowa typu DIP). Obudowy tych typów są zawsze przeznaczone do montażu przeplatanyego.

Prawie wszystkie układy, których identyfikatory rozpoczynają się od litery S, przeznaczone są do montażu powierzchniowego, a chcemy unikać tego typu

układów. W oznaczeniach układów przeznaczonych do montażu powierzchniowego często stosowany jest akronim SMT (ang. *surface-mount*).

## Szukanie a rzeczywistość

Oto przykład, który opisuje sposób, w jaki szukam komponentu zastosowanego w tej książce. Potrafiłem określić funkcję, jaką ma pełnić ten komponent, ale nie znałem jego numeru części.

Szukam licznika z 3-bitowym wyjściem, który miał być zastosowany w obwodzie symulującym rzut kostką do gry. Wszedłem na stronę firmy Mouser Electronics i wpisałem w wyszukiwarce słowo counter (z ang. licznik).

Gdy pisałem to słowo w polu wyszukiwarki, wyświetlona została sugestia autouzupełnienia pola: Counter `ics` (z ang. licznik układy scalone).

Układ scalony to inne określenie czipu. Kliknąłem więc tę sugestię, co spowodowało uzyskanie 821 wyników wyszukiwania. W małym rozwijanym oknie mogę zawężać wyniki wyszukiwania do producenta, typu licznika, rodziny układów logicznych i innych opcji. Jak korzystać z tego okna?

Przewinąłem zawartość okna w poziomie tak, aby móc wybrać opcję montażu czipu. Miałem do wyboru dwie opcje: *SMD/SMT* (układy montowane powierzchniowo) i *through-hole* (montaż przeplatany — układy takie można montować na płytce prototypowej, a korzystanie z nich nie wymaga posiadania lupy). Wybrałem opcję wyświetlania układów przeznaczonych do montażu przeplatanego i uruchomiłem filtrowanie, klikając przycisk *Apply Filters*. Otrzymałem 177 wyników.

Wszystkie układy logiczne stosowane w tej książce są typu HC i należą do rodziny 7400, a więc wszedłem w okno wyboru rodziny układu (*Logic Family*) i kliknąłem opcję *74HC*. Jednak to nie wszystko, co zrobiłem. Wiedziałem, że firma Mouser umieszcza często te same rzeczy pod różnymi nazwami, i po chwili szukania znalazłem jeszcze opcję *HC*. Zaznaczyłem obie opcje.

Teraz otrzymałem 52 wyniki wyszukiwania. W polu typ licznika (*Counter Type*) zaznaczyłem opcję binarny (*Binary*), ponieważ potrzebowałem licznika z wyjściem binarnym. Teraz otrzymałem 33 wyniki wyszukiwania.

Na liście nie znalazłem układów 3-bitowych, ale mogłem zastosować układ 4-bitowy i zignorować najwyższy bit. W oknie znalazłem menu pozwalające na określenie liczby bitów (*Number of Bits*). Wybrałem w nim opcje *4* i *4-bit*.

Potrzebowałem licznika liczącego rosnąco, a więc w polu *Counting sequence* wybrałem opcję *Up*. Tym razem otrzymałem 9 wyników wyszukiwania! Czas im się przyjrzeć. Chciałem korzystać z najbardziej dostępnego układu. Określiłem to na podstawie dostępności danego komponentu. W magazynach firmy Mouser znajdowało się ponad 7000 sztuk układu SN74HC393N firmy Texas Instruments.

Aby upewnić się, że układ ten spełnia moje oczekiwania, otworzyłem jego dokumentację. Był to 14-pinowy układ, przez którego wyjścia mógł płynąć prąd o maksymalnym natężeniu 25 mA, zasilany nominalnym napięciem 5 V (termin „nominalny” oznacza „standardowo stosowany”). Tak, to standardowy układ logiczny należący do rodziny 74HCxx. Zawierał on dwa 4-bitowe liczniki, a ja potrzebowałem tylko jednego, ale postanowiłem zignorować ten fakt, ponieważ nie stawił problemu, a dodatkowy licznik mógłby zostać przeze mnie zastosowany później podczas rozbudowy projektu.

Czip 74HC393 kosztował równowartość około 2 zł. Postanowiłem kupić sześć takich układów. Kosztowało mnie to tylko około 12 zł. Zacząłem zastanawiać się nad dodaniem do koszyka innych małych i lekkich komponentów, które mógłbym kupić bez ponoszenia dodatkowej opłaty za przesyłkę, ale najpierw wydrukowałem dokumentację układu 74HC393 i włożyłem ją do teczki, w której gromadzę noty aplikacyjne komponentów.

Zadanie to wymagało wykonania wielu kliknięć, ale zajęło mi mniej niż 10 minut i znalazłem dokładnie to, czego potrzebowałem.

Komponent ten mogłem znaleźć w inny sposób. Więziem, że potrzebuję układu z rodziną 74xx, a więc mogłem wybrać z zakładek przeglądarki umieszczoną tam wcześniej stronę [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_7400\\_series\\_integrated\\_circuits](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_7400_series_integrated_circuits).

Na stronie tej wymieniono wszystkie układy logiczne należące do rodziny 74xx, które zostały wyprodukowane. Po otwarciu tej strony możesz wcisnąć kombinację klawiszy *Ctrl+F* i wpisać frazę pozwalającą na znalezienie 4-bitowego licznika binarnego:

#### 4-bit binary counter

Fraza ta musi być wpisana dosłownie (jeżeli pomyliłeś się i wpiszesz 4 bit, to nie zostanie ona znaleziona). W ten sposób znajdziesz 13 układów scalonych. Możesz porównać ich funkcje. Po wybraniu odpowiedniego czipu możesz skopiować jego numer i wkleić go do wyszukiwarki znajdującej się na stronie dystrybutora takiego jak Mouser, co pozwoli na błyskawiczne znalezienie tego komponentu w ofercie dystrybutora.

Problem w tym, że Wikipedia nie informuje, które układy są stare i praktycznie wyszły z produkcji. Pisząc tę książkę, chciałem korzystać z popularnych układów, które będą produkowane jeszcze przez długi czas. Staraj się również unikać starych układów, ponieważ pracując z nowoczesnymi komponentami, zdobędziesz wiedzę przydatną w przyszłości.

Właściwy komponent mogłem odnaleźć w jeszcze innym sposobie. Mogłem znaleźć za pomocą wyszukiwarki Google dyskusję na temat stosowania liczników. Jak widzisz, w celu znalezienia odpowiedniego komponentu nie musisz znać jego dokładnego numeru.

## Serwisy aukcyjne

Często kupuję różne komponenty w serwisie eBay, ponieważ można trafić tam na przeceny, a ponadto sprzedawcy oferujący swoje produkty w tym serwisie są pewnymi firmami i oferują szybką wysyłkę. Zanim zaczniesz korzystać z tego serwisu, warto czegoś się o nim dowiedzieć.

Po pierwsze, kliknij przycisk *Zaawansowane* znajdujący się obok przycisku *Wyszukaj*. Będziesz mógł ograniczyć wyniki wyszukiwania do przedmiotów sprzedawanych przez krajowych sprzedawców (pozwala to na uniknięcie długiego oczekiwania na przesyłkę od sprzedawcy z innego kontynentu). Ponadto możesz ograniczyć wyniki wyszukiwania tylko do aukcji typu „kup teraz”. Możesz również wprowadzić cenę minimalną, co pozwala na wyeliminowanie z wyników wyszukiwania rzeczy, które są zbyt tanie, aby były dobre. Zanim rozpocznę wyszukiwanie, zwykle w menu *Sortuj według* wybieram opcję *Cena z wysyłką: najpierw najniższa*.

Przed zakupem komponentu warto sprawdzić opinię o sprzedawcy. Jeżeli sprzedawca posiada 99,8% pozytywnych opinii, to można mu zaufać. Nigdy nie miałem problemu ze sprzedającymi posiadającymi 99,9% pozytywnych opinii, ale czasem byłem roczarowany przebiegiem transakcji u sprzedawców posiadających 99,7% pozytywnych opinii.

Powyższe stwierdzenia dotyczyły sprzedawców z USA, ale jeżeli sprzedawca pochodzi z Azji (Chin, Hongkongu, Tajlandii itd.), to nie musisz aż tak bardzo przejmować się oceną sprzedającego, ponieważ wielu kupujących wystawia sprzedającym negatywne komentarze, ponieważ nie otrzymują towaru tak szybko, jak by tego chcieli. Sprzedawcy z innych kontynentów zastrzegają, że przesyłka małych paczek może trwać od 10 do 14 dni, ale pomimo to wielu kupujących wystawia takim sprzedawcom nieprzychylne opinie. Nigdy nie miałem negatywnych doświadczeń z azjatyckimi sprzedawcami. Przesyłki zawsze do mnie docierały, a produkt był zawsze zgodny z opisem. Zakupy u takich sprzedawców wymagają po prostu cierpliwości.

Po znalezieniu właściwego komponentu lepiej kliknąć przycisk *Dodaj do koszyka* niż *Kup teraz*, ponieważ pozwala to na znalezienie innych komponentów w ofercie tego samego sprzedawcy i wysłanie ich we wspólnej paczce. Dzięki temu nie będziesz musiał kilkakrotnie płacić za ich przesyłkę.

W oknie *Informacje o sprzedającym* kliknij opcję *Odwiedź sklep*, a jeżeli sprzedawca nie ma sklepu w serwisie eBay, to kliknij *Zobacz inne przedmioty sprzedającego*. Teraz będziesz mógł przeszukać ofertę sprzedawcy. Po dodaniu wszystkich poszukiwanych komponentów do koszyka czas sfinalizować transakcję.

Zamiast szukać azjatyckich firm w serwisie eBay, możesz kupić produkty bezpośrednio za pomocą ich stron internetowych. Popularnym dystrybutorem komponentów jest tajlandzka firma Tayda Electronics (na liście „Dystrybutorzy” oznaczyłem ją skrótem *tay*).

## Amazon

Serwis Amazon (<http://www.amazon.com/>) nie jest zbyt dobrym źródłem komponentów, ale myślę, że jest dobrym źródłem narzędzi i zasobów takich jak drut i cyna. Głównym problemem tego serwisu jest to, że nie lubi on wyświetlać na początku najtańszych opcji. Opcję tę musisz zaznaczać przy każdym wyszukiwaniu, produkty znajdują się w różnych kategoriach, a nie ma możliwości zmiany sposobu sortowania listy wyników. Nawet gdy ustawisz wyniki wyszukiwania w kolejności od najtańszych do najdroższych, to Amazon, w przeciwieństwie do serwisu eBay, nie jest na tyle inteligentny, aby wziąć pod uwagę koszt dostawy. Kombinerki kosztujące 19,90 zł plus 24 zł za dostawę będą wyświetlane jako tańsze od kombinerek kosztujących 22 zł plus 10 zł za dostawę. Zaletą serwisu Amazon jest to, że przesyłka jest realizowana bardzo szybko, a w przypadku jednorazowego zakupu dużej liczby przedmiotów istnieje możliwość ich darmowej wysyłki.

## Wyłączanie automatycznego uzupełniania

Ostatnia wskazówka dotycząca korzystania z wyszukiarki Google. Domyslnie wyszukiwarka podaje Ci listę fraz podobnych do wpisywanego przez Ciebie ciągu. To mnie irytuje, a więc zdecydowałem się na wyłączenie tej funkcji. Możesz ją wyłączyć również w swojej przeglądarce.

Uruchom wyszukiarkę za pomocą następującego adresu (wpisz go w polu adresu przeglądarki): <http://www.google.pl/webhp?complete=0>.

Możesz dodać ten adres do listy ulubionych stron. Teraz wyszukiarka Google nie będzie próbowała zgadywać, co chcesz wpisać w polu wyszukiwania. Będzie czekała, aż skończysz pisać.

Adres ten możesz zadeklarować jako adres domyślnej strony wyświetlanej po uruchomieniu przeglądarki.

## Czy warto zadawać sobie tyle trudu, aby znaleźć niezbędne komponenty?

Wszystkie zaprezentowane techniki wyszukiwania mogą wydawać Ci się trudne do zapamiętaj. W związku z tym wraz z firmą Maker Shed pracujemy nad wprowadzeniem do obrotu zestawów zawierających wszystkie komponenty niezbędne do wykonania projektów opisanych w tej książce. Po zakupie takiego zestawu nie będziesz musiał szukać żadnych komponentów.

A co, jeżeli będziesz chciał kiedyś wykonać projekt spoza tej książki? Założmy, że znajdziesz w internecie jakiś ciekawy schemat, będziesz chciał zmodyfikować projekt opisany w tej książce lub będziesz chciał samodzielnie opracować jakiś układ. Wtedy będziesz musiał dokonać samodzielnego zakupu niezbędnych komponentów. Nawet wtedy, gdy wszystkie komponenty kupisz u jednego dostawcy, to i tak przydadzą Ci się przedstawione wcześniej techniki wyszukiwania informacji w internecie.

## Lista zasobów i komponentów

Zdjęcia i ogólne informacje znajdziesz na początku każdego rozdziału — patrz sekcje: „Lista zakupów: eksperymenty od 1 do 5”, „Lista zakupów: eksperymenty od 6 do 11”, „Lista zakupów: eksperymenty od 12 do 15”, „Lista zakupów: eksperymenty od 16 do 24”.

W tej sekcji znajdziesz listy zawierające wszystkie komponenty i zasoby, ale najpierw chciałbym zdefiniować te dwa pojęcia.

**Zasoby** to np. cyna i drut. Polecam Ci jednorazowy zakup zasobów niezbędnych do wykonania wszystkich eksperymentów opisanych w tej książce. Bez sensu jest zastanawianie się, ile centymetrów drutu będzie potrzebne do wykonania danego projektu.

**Komponenty** stają się integralną częścią każdego z projektów. Komponenty zastosowane w jednym projekcie mogą zostać użyte w drugim pod warunkiem wymontowania ich z pierwszego obwodu. W związku z tym do komponentów zaliczyłem również płytę prototypową.

## Zasoby

Następujące zasoby wystarczą do wykonania wszystkich projektów opisanych w tej książce. W sekcji „Dystrybutorzy” znajdziesz listę dystrybutorów posiadających w swojej ofercie niezbędne zasoby, a także wyjaśniono w niej użyte przeze mnie skróty.

### Drut montażowy

Potrzebujesz drutu o średnicy 0,64 mm w postaci jednożyłowego przewodu. Kup druty o przynajmniej dwóch różnych kolorach izolacji (czerwony i niebieski). Dobrze byłoby, gdybyś kupił jeszcze druty o dwóch dowolnych innych kolorach. Możesz korzystać z przewodów przeznaczonych do użycia w samochodach, ale muszą być to przewody typu drut. W wyszukiwarce wpisz frazę:

drut 0,64mm

lub

drut 22awg

AWG jest znormalizowanym systemem średnic drutów używanym w USA. Niezbędny drut możesz znaleźć w ofercie dystrybutorów takich jak *all*, *elg* i *jam* lub w ofercie serwisów hobbystycznych takich jak *ada* lub *spk*.

Ile drutu potrzebujesz? Jeżeli chcesz wykonać wszystkie eksperymenty, łącznie z eksperimentami o numerach 26, 28, 29, 30 i 31, w których badane jest zjawisko indukcji, to potrzebujesz tak naprawdę

60 metrów drutu. Nawijając cewki, możesz tymczasowo łączyć ze sobą druty o różnych kolorach. Drut użyty do nawinięcia cewki może zostać rozwinięty i użyty w innym eksperymencie.

Jeżeli nie chcesz wykonywać eksperimentów badających zjawisko indukcji, to kup trzy szpule po 7,5 m drutu. Możesz znaleźć mniejsze szpule drutu, ale ich zakup jest mniej opłacalny.

### Gotowe przewody połączeniowe

Nie lubię korzystać z fabrycznie poprzycinanych przewodów połączeniowych, ale jeżeli chcesz z nich korzystać, to wystarczy Ci jedno pudełko przewodów tego typu. Ponadto kup 7,5 m drutu, który będzie niezbędny do wykonywania połączeń dłuższych od najdłuższego przewodu w zestawie. Aby znaleźć tego typu przewody, musisz wpisać odpowiednią frazę w wyszukiwarce Google. Zacznię od:

przewody połączeniowe pudełko

Słowo „pudełko” jest elementem kluczowym. Wpisanie go powoduje automatyczne wyeliminowanie z wyników wyszukiwania giętkich przewodów zakończonych wtykami, które zwykle są sprzedawane w zestawach i wiązkach, a nie w pudełkach. Moim zdaniem korzystanie z przewodów tego typu nie jest dobrym pomysłem.

### Przewód typu splot

Przewód tego typu jest dodatkowym elementem łączącym pracę, gdy połączenie musi zostać wykonane za pomocą giętkego przewodu. Wystarczy, że kupisz szpulę zawierającą 7,5 m takiego przewodu.

### Spojwo lutownicze

Cyna lutownicza jest zwykle sprzedawana na wagę. Informacje na temat wad i zalet cyny zawierającej ołów znajdziesz w sekcji „Spojwo lutownicze (niezbędne)” znajdującej się w rozdziale 3. Kupuj tylko cynę **przeznaczoną do elektroniki** zawierającą **topik**. Grubość cyny może ważyć się od 0,5 mm do 1 mm. Do wykonania lutowanych wersji kilku projektów wystarczy Ci około metra spoiwa lutowniczego. W ofercie serwisów aukcyjnych takich jak

eBay lub Allegro można znaleźć fiołki zawierające tak niewielką ilość cyny. Spoiwo lutownicze znajdziesz również w ofercie dystrybutorów takich jak *all*, *elg*, *jam*, *ada*, *amz* i *spk*.

### Koszulki termokurczliwe

Koszulki nie są niezbędne do wykonania projektów, ale są przydatne. Wystarczy, jeśli kupisz trzy małe koszulki termokurczliwe o małych rozmiarach. Koszulki są przeznaczone do stosowania w samochodowych instalacjach elektrycznych, a więc można znaleźć je nie tylko w sklepach z podzespołami elektronicznymi, ale również w sklepach budowlanych lub samochodowych.

### Płytki perforowane bez ścieżek

Wymagana jest tylko w eksperymencie numer 14, ale możesz skorzystać z niej w celu wykonania stałej wersji każdego z projektów opisanych w tej książce. Do wykonania trzech projektów wystarczy Ci płytka o wymiarach  $10 \times 20$  cm. Znalezienie płytki bez ścieżek może być trudne. Na większości płytek naniesiono miedziane lub niklowe pola lutownicze. Uważam, że są one zbędne podczas punktowego łączenia komponentów, ponieważ zwiększą ryzyko powstania zwarcia. W celu znalezienia płytki bez ścieżek wpisz w Google:

płytki uniwersalna czysta elektronika

Czasami płytki tego typu określane są mianem płytEK prototypowych, perforowanych lub uniwersalnych. W chwili pisania tej książki firma Keystone Electronics produkuje bardzo małe, tanie płytki pozbawione ścieżek, które znajdziesz w asortymencie sklepów takich jak *mou* i *dkg*. Płytki tego typu znajdują się również w ofercie firmy *jam*.

### Płytki perforowane ze ścieżkami

Płytki tego typu doskonale nadają się do wykonania ostatecznej wersji eksperymentu numer 18, ale oczywiście możesz skorzystać z niej w celu wykonania ostatecznych wersji innych projektów. Na płytce tą naniesiono taki sam schemat ścieżek, jaki znajduje się wewnątrz płytki prototypowej. Płytki

takie mogą okazać się trudne do znalezienia, ponieważ wzory ścieżek nanoszonych na płytce są różne, a wzór, którego szukasz, nie ma powszechnie przyjętej nazwy.

Obecnie w ofercie sklepu *amz* znajduje się „płytki lutowana” BusBoard SB830. W asortymencie sklepu *ada* znajdziesz podobną płytę o nazwie Perma-Proto. Inną opcją jest płytka GC Electronics 22-508 (znajdziesz ją w asortymencie sklepu *jam*).

Zestaw Schmartboard 201-0016-31 (dostępny w asortymencie *mou*) składa się z płytka prototypowej oraz płytka perforowanej o identycznych wymiarach. Producent zaleca założenie płytka perforowanej na płytce prototypowej i przekładanie złącz komponentów przez obie płytki podczas opracowywania i testowania obwodu. Po zdjęciu płytka perforowanej z prototypowej komponenty będą już zainstalowane we właściwych miejscach. Wystarczy je przymocować. Rozwiążanie takie nie sprawdza się w przypadku komponentów o bardzo krótkich złączach.

### Śruby

Potrzebujesz śrub i nakrętek M3 z nylonowym kołnierzem zapobiegającym poluzowaniu. Tak małych śrub niezbędnych do przykręcenia płytka perforowanej do wnętrza obudowy prawdopodobnie nie znajdziesz we wszystkich sklepach budowlanych. Polecam Ci zakup śrub z płaskim łbem o długości 10 i 12 mm. Moim ulubionym dystrybutorem tego typu śrub jest McMaster-Carr.

### Obudowy projektów

Obudowy różnią się przede wszystkim ceną. Najtańsze obudowy są wykonane z tworzywa sztucznego typu ABS. Obudowy znajdziesz w ofercie dystrybutorów takich jak *all*, *elg* i *jam*, a także w sklepach hobbystycznych takich jak *ada* i *spk*.

### Komponenty

W tej sekcji znajdziesz ilości i charakterystyki rezystorów, kondensatorów i innych komponentów niezbędnych do wykonania projektów opisanych

w tej książce. W dziale „Dystrybutorzy” znajdziesz listę dystrybutorów i wyjaśnienie użytych przeze mnie skrótów. Największymi dostawcami są dgk, eby, mou i nwk. Tańską opcją może okazać się skorzystanie z oferty firm takich jak all, elg, jam i spk, ale ich asortyment nie jest tak różnorodny, a przy kupowaniu komponentów u kilku różnych dystrybutorów należy brać pod uwagę koszt przesyłki. Czasami bardziej opłacalny jest zakup nieco droższych komponentów u jednego dostawcy, ponieważ pozwala to na zmniejszenie kosztów wysyłki.

### Rezystory

Możesz korzystać z rezystorów dowolnego producenta. Długość zacisków zwykle nie ma znaczenia. We wszystkich projektach opisanych w tej książce możesz korzystać z rezystorów o mocy 0,25 W (są one najpopularniejsze). Możesz korzystać z komponentów charakteryzujących się tolerancją 10%. Paski na rezystorach tego typu są bardziej czytelne od pasków na komponentach charakteryzujących się tolerancją 5% lub 1%, ale jeżeli chcesz, możesz stosować również takie rezystory.

W tabeli 6.1 przedstawiono liczby rezystorów niezbędnych do wykonania kolejnych projektów. Zakup zbiorczych opakowań rezystorów i kondensatorów jest bardziej opłacalny od zakupu określonej liczby pojedynczych komponentów niezbędnych do wykonania poszczególnych eksperymentów. Kupując opakowania zbiorcze, oszczędzisz czas i pieniądze.

- Jeśli chcesz dysponować odpowiednią liczbą rezystorów niezbędnych do wykonania *wszystkich* projektów przedstawionych w tej książce oraz kilkoma zapasowymi komponentami, to kup przynajmniej po 10 sztuk następujących rezystorów: 47  $\Omega$ , 220  $\Omega$ , 330  $\Omega$ , 1 k $\Omega$ , 2,2 k $\Omega$ , 4,7 k $\Omega$ , 6,8 k $\Omega$ , 10 k $\Omega$ , 47 k $\Omega$ , 100 k $\Omega$ , 220 k $\Omega$ , 330 k $\Omega$ , 470 k $\Omega$ , 680 k $\Omega$ , 1 M $\Omega$ . Ponadto kup rezystory 20  $\Omega$  i 470  $\Omega$ . Najlepiej kupować rezystory w opakowaniach zbiorczych. Podane liczby zakładają, że komponenty po użyciu w celach

demonstracyjnych zostaną zastosowane w kolejnych projektach.

**Tabela 6.1.** Liczba rezystorów niezbędnych do wykonania eksperymentów przedstawionych w kolejnych rozdziałach

Rezystory	Rozdziały					Suma
	1.	2.	3.	4.	5.	
47 $\Omega$				2	1	3
100 $\Omega$				6		6
150 $\Omega$				6		6
220 $\Omega$				8		8
330 $\Omega$				3	8	11
470 $\Omega$	2	6	4	12		24
680 $\Omega$				10		10
1 k $\Omega$	2	2	1	4		9
2,2 k $\Omega$	1			5		6
6,8 k $\Omega$					1	1
10 k $\Omega$		1	1	41	4	47
47 k $\Omega$				1		1
100 k $\Omega$		2	1	4		7
220 k $\Omega$		2				2
330 k $\Omega$				1		1
470 k $\Omega$		4	2			6
1 M $\Omega$		1		4		5

### Kondensatory

Kondensatory możesz kupić od tych samych dostawców co rezystory. W projektach możesz stosować kondensatory dowolnego producenta. Najlepiej, aby zaciski kondensatora były wyprowadzone z tej samej strony jego obudowy. W obwodach zasilanych prądem o napięciu 12 V najlepiej jest korzystać z komponentów przystosowanych do pracy pod maksymalnym napięciem przynajmniej 16 V. Możesz stosować kondensatory przystosowane do

pracy przy wyższych napięciach, ale będą one większych rozmiarów. W naszych obwodach nieważne są inne charakterystyki pracy, takie jak maksymalna temperatura i impedancja.

Kondensatory ceramiczne będą sprawne przez kilka kolejnych dziesięcioleci, a trwałość kondensatorów elektrolitycznych jest dyskusyjna. Przy większych pojemnościach będziesz musiał korzystać z kondensatorów elektrolitycznych, ponieważ większe kondensatory ceramiczne są drogie. Osobiście korzystam z kondensatorów ceramicznych, gdy pojemność jest mniejsza od  $10 \mu\text{F}$ , a gdy pojemność jest większa od  $10 \mu\text{F}$ , korzystam z kondensatorów elektrolitycznych. Na jeszcze większą oszczędność pieniędzy pozwala stosowanie kondensatorów elektrolitycznych już od pojemności  $1 \mu\text{F}$ .

W tabeli 6.2 przedstawiono dokładną liczbę kondensatorów niezbędnych do wykonania projektów przedstawionych w poszczególnych rozdziałach.

- Jeśli chcesz dysponować odpowiednią liczbą kondensatorów niezbędnych do wykonania *wszystkich* projektów przedstawionych w tej książce oraz kilkoma zapasowymi komponentami, to kup przynajmniej po 5 sztuk następujących rezystorów:  $0,022 \mu\text{F}$ ,  $0,047 \mu\text{F}$ ,  $0,33 \mu\text{F}$ ,  $1 \mu\text{F}$ ,  $2,2 \mu\text{F}$ ,  $3,3 \mu\text{F}$ ,  $10 \mu\text{F}$ ,  $100 \mu\text{F}$ ,  $220 \mu\text{F}$ . Ponadto kup przynajmniej po 10 sztuk następujących kondensatorów:  $0,01 \mu\text{F}$  i  $10 \mu\text{F}$ . Potrzebujesz po dwie sztuki następujących kondensatorów:  $15 \mu\text{F}$ ,  $22 \mu\text{F}$ ,  $68 \mu\text{F}$ ,  $1000 \mu\text{F}$ . Podane liczby zakładają, że komponenty po użyciu w celach demonstracyjnych zostaną zastosowane w kolejnych projektach.

## Pozostałe komponenty

W tabeli 6.3 przedstawiono minimalne liczby pozostałych komponentów niezbędnych do wykonania projektów opisanych w rozdziale 1., 2. i 3. Zakładam, że wykonując kolejne eksperymenty, będziesz demontował komponenty, rozcierając wykonane wcześniej obwody. Wykonanie projektów opisanych

**Tabela 6.2.** Liczba kondensatorów niezbędnych do wykonania eksperymentów przedstawionych w kolejnych rozdziałach

Kondensatory	Rozdziały					Suma
	1.	2.	3.	4.	5.	
$0,01 \mu\text{F}$		2		18	3	23
$0,022 \mu\text{F}$				1		1
$0,047 \mu\text{F}$				1		1
$0,1 \mu\text{F}$		3		9		12
$0,33 \mu\text{F}$		2		5		7
$1 \mu\text{F}$		2		4	2	8
$2,2 \mu\text{F}$					1	1
$3,3 \mu\text{F}$	2	2	3			7
$10 \mu\text{F}$	1		8	1		10
$15 \mu\text{F}$				1		1
$22 \mu\text{F}$				2		2
$33 \mu\text{F}$	1					1
$68 \mu\text{F}$				2		2
$100 \mu\text{F}$		2		5	1	8
$220 \mu\text{F}$	1	1			3	5
$1000 \mu\text{F}$	2			2		4

w rozdziale 4. wymaga posiadania komponentów niezbędnych do wykonania projektów opisanych we wcześniejszych rozdziałach oraz dodatkowych, wymienionych w kolumnie obok. W tabeli nie ujęto komponentów niezbędnych do wykonania eksperymentów przedstawionych w rozdziale 5., ponieważ eksperymenty te charakteryzują się dużą różnorodnością. Listę niezbędnych komponentów znajdziesz na początku każdego projektu opisanego w tym rozdziale.

**Tabela 6.3.** Minimalne liczby komponentów niezbędnych do wykonania projektów przy założeniu, że komponenty te będą wykorzystane w kolejnych eksperymentach. Do wykonania projektów z rozdziału 4. potrzebujesz komponentów wymienionych w obu kolumnach.

Komponenty inne niż rezystory i kondensatory	Rozdziały: 1., 2. i 3.	Dodatkowe komponenty niezbędne do wykonania projektów przedstawionych w rozdziale 4.	
Standardowe diody LED	4	2	
Niskoprądowe diody LED	1	15	
Bateria 9 V	1		
Złącze baterii 9 V	1		
Ognisko 1,5 V	1		
Koszyk na ognisko 1,5 V	1		
Płytką prototypowa	1		
Potencjometr dostrojczy 500 kΩ	1		
Potencjometr dostrojczy 100 kΩ		1	
Potencjometr dostrojczy 20 kΩ lub 25 kΩ		1	
Tranzystor 2N2222	6		
Mały głośnik	1		
Przełącznik	2		
Mikroprzełącznik	2	6	
Przełącznik suwakowy SPDT		2	
Przekaźnik DPDT 9 V DC	2		
Dioda 1N4001	1		
Płytką perforowaną 7,5×15 cm	1		
Bezpiecznik 3 A	2		
Potencjometr 1 kΩ	2		
Cytryny (lub sok cytrynowy)		2	
Galwanizowane kątowniki 2,5 cm		4	
Dioda 1N4148		3	
Układ czasowy 555 typu TTL		4	
Wyświetlacz siedmiosegmentowy (LED)		3	
Licznik 4026B		3	
2-wejściowa bramka NAND 74HC00		1	
2-wejściowa bramka AND 74HC08		1	
Regulator napięcia LM7805		1	
2-wejściowa bramka OR 74HC32		1	
2-wejściowa bramka NOR 74HC02		1	
3-wejściowa bramka OR 74HC27		1	
Licznik 74HC393		1	

Jeżeli boisz się przypadkowego uszkodzenia układu scalonego lub tranzystora (komponenty te są podatne na uszkodzenia), to kup tych komponentów o jedną sztukę więcej, niż wynika to z tabeli 6.3.

A gdybyś chciał zachować niektóre z wykonanych projektów i nie mógł wykorzystać zainstalowanych w nich komponentów do pracy nad kolejnymi projektami? W takim wypadku skorzystaj z tabel zawierających komponenty niezbędne do wykonania poszczególnych projektów, znajdujących się w dalszej części tego rozdziału. Planując zakupy, uwzględnij potrzebę posiadania dodatkowych komponentów — ich liczbę określ na podstawie tabel odwołujących się do interesujących Cię projektów.

W dalszej części tego rozdziału znajdziesz informacje na temat kupowania pozostałych komponentów.

W dziale „Dystrybutorzy” znajdziesz listę dystrybutorów i wyjaśnienie użytych przeze mnie skrótów. Większość niezbędnych komponentów znajdziesz w ofercie dostawców takich jak *all*, *eby*, *elg*, *jam* i *spk*. W ofercie dystrybutorów takich jak *dgk*, *mou* i *nwk* możesz natknąć się na promocje.

## Zakupy: Rozdział 1.

Komponenty niezbędne do wykonania eksperymentów opisanych w rozdziale 1. przedstawiono w tabeli 6.4 (ominięto w niej rezystory i kondensatory).

**Tabela 6.4.** Komponenty inne niż rezystory i kondensatory niezbędne do wykonania eksperymentów opisanych w rozdziale 1.

Komponenty (rozdział 1.)	Eksperymenty			Suma	
	1	2	3	4	5
Standardowa dioda LED			1	2	3
Niskoprądowa dioda LED				1	1
Bateria 9 V	1		1	1	3
Ognisko 1,5 V		2			2
Koszyk baterii 1,5 V		1			1
Bezpiecznik 3 A		2			2
Cytryny (lub sok cytrynowy)				2	2
Galwanizowane kątowniki 2,5 cm				4	4
Potencjometr 10 kΩ			2		2
Woda dejonizowana (1 szklanka)				1	1

### Standardowe diody LED

Przykładami takich diod są Lumex SLX-LX5093ID i Lite-On LTL-10223W, ale możesz korzystać z diod dowolnego producenta. Diody LED o średnicy 5 mm łatwiej jest utrzymać w palcach, ale diody LED o średnicy 3 mm łatwiej jest zainstalować na płytce prototypowej, na której „panuje tłok”.

Typowy prąd przewodzenia takiej diody to 20 mA, a napięcie przewodzenia wynosi około 2 V (diody niebieskie i białe będą wymagały wyższego napięcia). Jeżeli w jakimś serwisie aukcyjnym znajdziesz tani zestaw diod LED, to diody te będą z pewnością standardowe.

### Niskoprądowe diody LED

Diody takie powinny charakteryzować się pradem przewodzenia 3,5 mA lub niższym. Przykładem takiej diody jest Kingbright WP710A10LID, ale producent takiej diody, jej rozmiar i kolor jest bez znaczenia. Diody tego typu mogą być stosowane we wszystkich eksperymentach — wymagałyby jednak podwojenia rezystancji chroniącej je przed zbyt dużym natężeniem prądu, ponieważ przez niskoprądowe diody LED może płynąć maksymalny prąd 6 mA, a czasami niższy.

### Baterie i ogniska

Baterię alkaliczną 9 V znajdziesz w każdym supermarketie i sklepie osiedlowym. Możesz również korzystać z ładowanych akumulatorów 9 V.

Ogniska AA 1,5 V używane w eksperymencie numer 2 muszą być alkaliczne. Nie używaj w tym eksperymencie akumulatorów.

### Złącza baterii i koszyki

Wystarczy Ci tylko jeden koszyk na pojedyncze ognisko 1,5 V. Koszyki takie określa się również mianem **zasobnika baterii**. Kup koszyk przeznaczony na pojedyncze ognisko AA (nie kupuj koszyków przeznaczonych na 2, 3 lub 4 ogniska). Przykładem takiego zasobnika jest Eagle 12BH311A-GR.

Kup przynajmniej 3 złącza baterii 9 V, ponieważ możesz chcieć pozostawić je podłączone do kilku wykonanych obwodów. Złącza takie określa się czasem mianem **klipsów baterii**. Przykładem takich złącz jest złącze 235 firmy Keystone i Jameco Reliapro BC6-R. Możesz kupić najtańsze złącza, jakie uda Ci się znaleźć, ale upewnij się, że jest ono wyposażone w przewody.

## Bezpiecznik

W eksperymencie numer 2 najlepiej jest korzystać z samochodowego bezpiecznika 3 A, ponieważ jego złącza łatwo jest chwycić za pomocą zacisków typu krokodyl. Bezpiecznik taki znajdziesz w każdym sklepie samochodowym. Możesz również kupić wkład bezpiecznika typu 2AG (jest to najmniejszy typ bezpiecznika stosowany w urządzeniach elektronicznych). Powinien on również przepalać się jak najszybciej. Unikaj bezpieczników charakteryzujących się opóźnionym czasem reakcji. Napięcie znamionowe bezpiecznika nie ma wpływu na przebieg eksperymentu. Przykładem właściwego bezpiecznika jest Littelfuse 0208003.MXP.

## Potencjometr

Pełnowymiarowy potencjometr 1 kΩ stosowany w eksperymencie numer 4 powinien mieć średnicę 2,5 cm, ale możesz korzystać z potencjometru o średnicy około 1 cm. Nie musisz zwracać uwagi na parametry takie jak moc znamionowa, tolerancja, a także długość, rodzaj i średnica wałka. Wybierz potencjometr liniowy, jednoobrotowy, przeznaczony do montażu w obudowie. Potencjometr powinien być również wyposażony w zaciski typu ucho. Kup dwa takie potencjometry. Przykładami odpowiednich potencjometrów są: Alpha RV24AF-10-15R1-B1K-3 i Bourns PDB181-E420K-102B.

## Sok i kątowniki

Jeżeli w eksperymencie numer 5 korzystasz z butelkowanego soku, to upewnij się, że nie jest on rozwodniony i nie zawiera dodatku cukru. Zamiast soku z cytryn możesz zastosować ocet.

Kątownik o długości 2,5 cm stosowany w eksperymencie numer 5 musi być galwanizowany. Zamiast takiego kątownika możesz zastosować uchwyt do rur lub obejmę. Kupisz je tanio w każdym sklepie budowlanym.

## Woda dejonizowana

Woda dejonizowana określana jest również mianem wody destylowanej. Możesz ją znaleźć w większości

supermarketów. Nie korzystaj z wody mineralnej. Woda używana w eksperymetach musi być pozbawiona mineralów.

## Zakupy: Rozdział 2.

Komponenty niezbędne do wykonania eksperymetów opisanych w rozdziale 2. przedstawiono w tabeli 6.5 (pominieto w niej rezystory i kondensatory).

**Tabela 6.5.** Komponenty inne niż rezystory i kondensatory niezbędne do wykonania eksperymetów opisanych w rozdziale 2.

Komponenty (rozdział 2.)	Eksperymenty						Suma
	6	7	8	9	10	11	
Standardowa dioda LED	1		2	1	1	1	6
Bateria 9 V	1	1	1	1	1	1	6
Złącze baterii 9 V			1	1	1	1	4
Płytki prototypowe			1	1	1	1	4
Potencjometr dostrojczy 500 kΩ					1		1
Tranzystor 2N2222						1	6
Głośnik (mały)						1	1
Przełącznik SPDT	2						2
Mikroprzełącznik	1	1	2				4
Przekaźnik DPDT 9 V DC	2	1					3

## Płytki prototypowe

Płytki zaliczyłem do komponentów, ponieważ nie można ich oddzielić od obwodu — tworzą one podstawkę obwodu. Musisz zdecydować, ile obwodów chcesz zachować na płytach prototypowych, a ile możesz rozmontować w celu wykonania kolejnych eksperymetów na tej samej płytce. Najlepiej pracujesz na płytach wyposażonych w pojedyncze szyny zasilające biegające wzdułż przeciwnych boków płytki. Polecam zakup płytek zawierających po 700

otworów montażowych (patrz rysunek 2.10). Płytki tego typu znajdziesz, wpisując w Google hasło:

płytnka prototypowa 700  
i

płytnka stykowa 700

Jeżeli chcesz, to możesz pracować na płytach z podwójnymi szynami zasilającymi. Będziesz wtedy po prostu korzystać tylko z pojedynczych szyn.

### Potencjometry dostrojczce

Zalecane potencjometry dostrojczce pokazałem po lewej i prawej stronie rysunku 2.22. W tekście odwołującym się do tego rysunku opisałem pozostałe rodzaje potencjometrów. Moc znamionowa potencjometrów nie ma znaczenia podczas pracy nad eksperymentami przedstawionymi w tej książce. Najlepiej, aby potencjometr był jednoobrotowy. Złącza potencjometru muszą znajdować się w odległości będącej wielokrotnością 2,54 mm. Przykładem potencjometru dostrojczego 500 kΩ jest T73YP504KT20 firmy Vishay.

### Tranzystory

Przed zakupem tranzystorów 2N2222 przeczytaj koniecznie sekcję „Tranzystory (niezbędne)” (znajdziesz ją w rozdziale 2.), z której dowiesz się, na co powinieneś zwrócić uwagę, kupując tranzystory.

### Przełącznik

Potrzebujesz przełączników przeznaczonych do montażu w obudowie. Najlepiej, aby przełączniki były wyposażone w zaciski śrubowe, ale ucha lutownicze są również akceptowalne. Możesz korzystać z przełączników typu SPDT lub DPDT. Podczas pracy nad eksperymentami opisanymi w tej książce nie musisz zwracać uwagi na dopuszczalne napięcie i natężenie prądu płynącego przez przełącznik. Przykładem odpowiedniego przełącznika jest NKK S302T, ale w serwisach aukcyjnych takich jak eBay i Allegro możesz znaleźć wiele tańszych modeli.

### Mikroprzełącznik

Najlepiej korzystać z mikroprzełączników takich jak ten, który został pokazany na rysunku 2.19 (jego złącza oddalone są od siebie o 5 mm, dzięki czemu można z łatwością zainstalować go na płytce prototypowej). Unikaj popularniejszych mikroprzełączników wyposażonych w cztery złącza. Przykładem dobrego mikroprzełącznika jest Alps SKRGAFD-010 (znajdziesz go między innymi w asortymencie firmy Mouser). Również dobrze możesz korzystać z dowolnego mikroprzełącznika, którego dwa piny są oddalone od siebie o 5 mm (przykładem takich komponentów jest seria Panasonic EVQ-11).

### Przekaźnik

Informacje na temat polecanego przekaźnika DPDT 9 V DC znajdziesz w sekcji „Przekaźniki (niezbędne)” (znajdziesz ją w rozdziale 2.). Sprawdzitem stabilność pracy następujących przekaźników: Omron G5V-2-H1-DC9, Axicom V23105-A5006-A201 i Fujitsu RY-9W-K.

## Zakupy: Rozdział 3.

Komponenty niezbędne do wykonania eksperymentów opisanych w rozdziale 3. przedstawiono w tabeli 6.6 (pominieto w niej rezystory i kondensatory).

**Tabela 6.6.** Komponenty inne niż rezystory i kondensatory niezbędne do wykonania eksperymentów opisanych w rozdziale 3.

Komponenty (rozdział 3.)	Eksperymenty			Suma
	13	14	15	
Standardowa dioda LED	2	1	1	4
Źródło prądu stałego o napięciu 9 V	1	1	1	3
Płytnka prototypowa			1	1
Tranzystor 2N2222		3	1	4
Dioda 1N4001			1	1
Przekaźnik DPDT 9 V DC			1	1

Wiele z komponentów niezbędnych do wykonania projektów opisanych w rozdziale 3. zostało wymienionych w tabelach dotyczących poprzednich rozdziałów.

### Zasilacz

Zasilacz musi dostarczać prąd stały o napięciu 9 V. Zagadnienia związane z zakupem zasilacza opisane w sekcji „Zasilacz (niedbany)” (znajdziesz ją w rozdziale 3.). Zasilacz powinien dostarczyć maksymalny prąd o natężeniu przynajmniej 500 mA (0,5 A).

Jeżeli chcesz kupić zasilacz mogący dostarczać prąd o różnych napięciach, to wpisz w wyszukiwarce hasło:

stabilizowany zasilacz  
uniwersalny

Przed zakupem zasilacza spójrz na jego fotografię i upewnij się, że wyposażono go w mały przełącznik pozwalający na zmianę napięcia wyjściowego.

### Dioda

Polecam zakup diody przełącznikowej 1N4001, ponieważ jest tania i wszechstronna. Kup 8 – 10 takich diod. Ponadto kup tyle samo diod sygnałowych 1N4148.

### Złącza typu goldpin

Te miniaturowe gniazda i wtyki są opcjonalne. Przykładem takich złączy są produkty firmy Mill-Max o numerach katalogowych 800-10-064-10001000 i 801-93-050-10-001000, a także produkty firmy 3M o numerach katalogowych 929974-01-36RK i 929834-01-36-RK.

## Zakupy: Rozdział 4.

Komponenty niezbędne do wykonania eksperymentów opisanych w rozdziale 4. przedstawione w tabeli 6.7 (pominięto w niej rezystory i kondensatory).

### Przełącznik ślizgowy

Polecam Ci zakup przełącznika ślizgowego SPDT wyposażonego w trzy piny oddalone od siebie o 2,54 mm (patrz rysunek 4.5). Dobrym przykładem

takiego komponentu jest przełącznik EG1218 produkowany przez firmę E-switch. Kupując przełącznik, pamiętaj o tym, że musi on być zakończony pinami przeznaczonymi do lutowania, które można włożyć w otwory montażowe płytki prototypowej. Innym dobrym przykładem jest przełącznik NKK CS12ANW03, ale po wpisaniu w wyszukiwarce frazy:

przełącznik ślizgowy do montażu  
na płytce

lub

przełącznik suwakowy do montażu  
na płytce

znajdziesz wiele tańszych komponentów tego typu. Stosując przełączniki do wykonywania eksperymentów opisanych w tej książce, nie musisz zwracać uwagi na materiał, jakim pokryte są styki przełącznika, ani na maksymalne dopuszczalne natężenie i napięcie prądu płynącego przez przełącznik.

### Układy scalone (kości)

Zagadnienia związane z zakupem kości opisano w sekcji „Wiedza niezbędna: Wybór układów scalonych” (znajdziesz ją w rozdziale 4.). W tabeli 6.7 wymieniono wszystkie niezbędne układy scalone (z wyjątkiem dodatkowego układu czasowego 555 potrzebnego podczas pracy nad eksperymentem numer 29), ale warto kupić przynajmniej po jednym egzemplarzu więcej, ponieważ kości można bardzo łatwo uszkodzić np. poprzez podłączenie do niewłaściwego napięcia, skierowanie do nich prądu o odwrotnej polaryzacji lub dopuszczenie do przepływu zbyt dużego prądu przez ich wyjścia. Układy scalone są również narażone na działanie ładunków elektrostatycznych.

Mözesz korzystać z kości dowolnego producenta. Podczas zamawiania układów scalonych musisz zwrócić szczególną uwagę na ich obudowę. Wszystkie czipy muszą być umieszczone w obudowach typu DIP (obudowa podłużna dwurzędowa z pinami oddalonymi od siebie o 2,54 cm). Obudowy tego typu często określa się również akronimem PDIP

**Tabela 6.7.** Komponenty inne niż rezystory i kondensatory niezbędne do wykonania eksperymentów opisanych w rozdziale 4.

Komponenty (rozdział 4.)	Eksperymenty										Suma
	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
Standardowe diody LED	1	4	3	2		1	2		1	14	
Niskoprądowe diody LED					2	1	1	3	15	22	
Źródło prądu stałego o napięciu 9 V	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	
Płytki prototypowa	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	
Potencjometr dostrojczy 20 kΩ lub 25 kΩ	1				1					2	
Potencjometr dostrojczy 100 kΩ		1								1	
Potencjometr dostrojczy 500 kΩ	1									1	
Mikroprzelłącznik	2	1	1	3	2	8	2		1	20	
Przełącznik ślizgowy SPDT				2	1		2	2	2	9	
Dioda 1N4001				1		1				2	
Dioda 1N4148			1				3			4	
Układ czasowy 555 typu TTL	1	4	4	3		1	2		1	16	
Głośnik (mały)		1	1							2	
Wyświetlacz siedmiosegmentowy (LED)					3					3	
Licznik 4026B					3					3	
2-wejściowa bramka NAND 74HC00						1		1		2	
2-wejściowa bramka AND 74HC08						1	1		1	3	
Regulator napięcia LM7805						1	1	1	1	5	
Przekaźnik DPDT 9 V				1		1				2	
Tranzystor 2N2222			2			1				3	
2-wejściowa bramka OR 74HC32							1		1	2	
2-wejściowa bramka NOR 74HC02								1		1	
3-wejściowa bramka NOR 74HC27									1	1	
Licznik 74HC393									1	1	

(plastikowa obudowa podłużna dwurzędowa). Obudowy tego typu są również opisywane jako „przeznaczone do montażu powierzchniowego”. Obok

określeń DIP i PDIP podaje się często liczbę pinów, np. DIP-14 i PDIP-16. Wybierając kość, nie musisz zwracać uwagi na tę liczbę.

Oznaczenia obudów układów przeznaczonych do montażu powierzchniowego rozpoczynają się od litery S, np. SOT i SSOP. Nie kupuj żadnych układów w obudowach, których oznaczenia rozpoczynają się od S.

W eksperymetach opisanych w tej książce korzystamy tylko i wyłącznie z układów z rodziny HC (szynkowe układy CMOS) o ogólnych oznaczeniach takich jak np. 74HC00, 74HC08 itp. Do oznaczeń tych dodaje się dodatkowe liczby i litery jako przedrostki i przyrostki. Te dodatkowe kombinacje liter są dodawane przez producentów. W związku z tym dwa układy o oznaczeniach SN74HC00DBR (Texas Instruments) i MC74HC00ADG (On Semiconductor) są praktycznie identycznymi komponentami działającymi w ten sam sposób. Przyjrzyj się uważnie. W każdym z tych oznaczeń znajdziesz oznaczenie ogólne 74HC00.

Stare układy logiczne typu TTL, takie jak np. układy z serii 74LS00, sprawiają problemy związane z kompatybilnością. Nie korzystaj z nich podczas wykonywania eksperymentów przedstawionych w tej książce.

### *Układ czasowy 555*

W przeciwieństwie do układów logicznych układ czasowy musi być typu TTL (określa się go również mianem wersji bipolarnej). Nie korzystaj z układu 555 w wersji CMOS. Oto wskazówki dotyczące zakupu tego układu:

Wersja TTL tego układu, której potrzebujesz, jest często określana mianem układu TTL lub układu bipolarnego. W dokumentacji tej wersji tego układu powinieneś znaleźć informację określającą minimalne napięcie na 4,5 lub 5 V. Nieaktywny układ powinien pobierać prąd o natężeniu przynajmniej 3 mA. Przez wyjście układu może płynąć prąd o maksymalnym natężeniu 200 mA. Oznaczenia komponentów tego typu zwykle rozpoczynają się od LM555, NA555, NE555, SA555 i SE555. Wersje TTL układu czasowego 555 są najtańsze.

Na pierwszej stronie dokumentacji tego układu wykonanego w technologii CMOS znajdziesz z pewnością akronim „CMOS”. Większość układów tego typu może być zasilana prądem o minimalnym napięciu 2 V. Pobór prądu przez nieaktywny układ tego typu jest wyrażany w mikroamperach, a nie miliamperach. Przez wyjście takiego układu może płynąć prąd o maksymalnym natężeniu 100 mA. Do końca tego typu zaliczamy między innymi: TLC555, ICM7555 i ALD7555. Najtańsza wersja CMOS układu czasowego 555 będzie prawie dwa razy droższa od najtańszej wersji TTL tego układu.

### *Wyświetlacz siedmiosegmentowy*

Wyświetlacz niezbędny do wykonania eksperymentu numer 19 musi być wykonany na bazie diod LED. Jego wysokość powinna wynosić 1,4 cm. Diody LED powinny pobierać prąd o małym natężeniu i najlepiej, aby były koloru czerwonego. Wyświetlacz powinien móc pracować przy napięciu 2 V przy natężeniu około 5 mA. Dobrymi przykładami takich wyświetlaczów są: Avago HDSP-513A, Lite-On LTS-546AWC i Kingbright SC56-11EWA.

## **Zakupy: Rozdział 5.**

Komponenty niezbędne do wykonania eksperymentów opisanych w rozdziale 5. przedstawiono w tabeli 6.8 (pominięto w niej rezystory i kondensatory).

### *Magnesy neodymowe*

Polecam korzystanie z popularnego europejskiego dystrybutora supermagnete.de (<http://www.supermagnete.de/>).

### *Drut o średnicy 1,29 mm*

Drut ten jest potrzebny tylko do wykonania anteny w eksperymencie numer 31. Jeżeli drut ten wydaje Ci się zbyt drogi, to antenę wykonaj z 15 lub 30 metrów drutu o średnicy 0,64 mm. Jeżeli mieszkasz dość blisko nadajnika, to takie rozwiązanie powinno również umożliwić odbiór sygnału radiowego.

**Tabela 6.8.** Komponenty inne niż rezystory i kondensatory niezbędne do wykonania eksperymentów opisanych w rozdziale 5.

Komponenty (rozdział 5.)	Eksperymenty										Suma
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	
Standardowe diody LED								1		7	8
Niskoprądowe diody LED		1		2							3
Źródło prądu o napięciu 9 V	1					1					2
Płytki prototypowa				1		1			1	1	4
Spinacz biurowy	1										1
Dioda 1N4001		1									1
Magnes neodymowy		1									1
Tani głośnik			1								1
Mikroprzelłącznik				1	1						2
Przełącznik ślizgowy					4						4
Potencjometr dostrojczy 1 kΩ					1						1
Potencjometr dostrojczy 1 MΩ					1						1
Układ czasowy 555 typu TTL					1						1
Plastikowy pojemnik					1						
Głośnik o średnicy przynajmniej 10 cm					1						1
Wzmacniacz LM386					1						1
Tranzystor 2N2222						1					1
Drut o średnicy 1,29 mm (15 m)							1				1
Żylka wykonana z tworzywa sztucznego (3 m)							1				1
Słuchawka o wysokiej impedancji							1				1
Dioda germanowa							1				1
Arduino Uno								1	1	1	3
Kabel USB zakończony z jednej strony wtykiem A, a z drugiej wtykiem B								1	1	1	3
Termistor o ujemnym współczynniku temperaturowym 10 kΩ								1			1

## *Słuchawka o wysokiej impedancji*

Aby znaleźć odpowiednią słuchawkę, wpisz w wyszukiwarce frazę:

słuchawka do radia kryształkowego

Jeżeli wpiszesz tę frazę w wyszukiwarce serwisu aukcyjnego Allegro lub eBay, to w wynikach wyszukiwania znajdziesz przedwojenne słuchawki nadające się do podłączenia do projektu przedstawionego w tej książce.

## *Dioda germanowa*

Diodę tego typu możesz znaleźć w ofercie tego samego dystrybutora, u którego znalazłeś słuchawkę o wysokiej impedancji. Oferują ją również dystrybutorzy: *dgk, mou i nwk*.

## *Płytki Arduino Uno*

Więcej informacji związanych z zakupem Arduino zamieszczono w sekcji „Czy należy bać się podróbek?” (znajdziesz ją w rozdziale 5.).

## *Termistor*

Termistor Vishay 01-T-1002-FP jest komponentem polecanym do zastosowania w eksperymencie numer 33. Jeżeli chcesz korzystać z innego komponentu, to musisz znaleźć termistor charakteryzujący się ujemnym współczynnikiem temperaturowym (komponent typu NTC) o dokładności 1% lub 5% ze złączami w formie drutów.

## **Kupowanie narzędzi i wyposażenia**

Listę komponentów znajdziesz w sekcji „Komponenty”, a listę dystrybutorów znajdziesz w sekcji „Dystrybutorzy”.

Zdjęcia i ogólne informacje dotyczące narzędzi i wyposażenia znajdziesz na początku każdego rozdziału — patrz sekcje: „Lista zakupów: eksperymenty od 1 do 5”, „Lista zakupów: eksperymenty od 6 do 11”, „Lista zakupów: eksperymenty od 12 do 15”. Pracując nad eksperymentami opisanymi w rozdziałach 3.

i 4., nie będziesz potrzebował żadnych dodatkowych narzędzi.

Produkty stale pojawiają się na rynku, a także stale z niego znikają. W związku z tym nie podaję nazw producentów oraz nie przytaczam konkretnych modeli. Właściwego wyboru możesz dokonać dzięki specyfikacjom i fotografiom. Praktycznie wszystkie narzędzia znajdziesz szybko w ofercie serwisów aukcyjnych Allegro i eBay.

Droższe narzędzia są wykonane w sposób bardziej precyzyjny i są wytrzymalsze, ale do pracy nad projektami opisanymi w tej książce wystarczą Ci najtańsze narzędzia.

Rozwinięcia trzyliterowych skrótów znajdziesz w sekcji „Dystrybutorzy”. W sekcji tej znajdziesz również adresy stron internetowych pozwalających na zakup poszczególnych komponentów.

## **Narzędzia i sprzęt niezbędne do pracy nad projektem opisany w rozdziale 1.**

Fotografie narzędzi i ich opisy znajdziesz na początku rozdziału 1.

Jeżeli nie określono inaczej, to potrzebujesz jednej sztuki danego narzędzia.

## *Multimetr*

Opis funkcji multimetru znajdziesz w sekcji „Multimetr” (patrz rozdział 1.). Multimetry znajdziesz w ofercie dystrybutorów takich jak *all, amz, eby i jam*.

## *Przewody probiercze zakończone zaciskami typu krokodyl*

Potrzebujesz przewodów zakończonych z dwóch stron zaciskami krokodylkami o długości około 2,5 cm. Przewód łączący zaciski powinien mieć długość około 30 – 40 cm (nie większą). Potrzebujesz przynajmniej trzech przewodów tego typu w kolorze czerwonym i trzech w kolorze czarnym.

Przydadzą Ci się również dodatkowe przewody w innych kolorach.

Aby je znaleźć, wpisz w wyszukiwarce frazę:

*przewody z zaciskami typu krokodyl*

Kup 10 przewodów tego typu. Znajdziesz je w ofercie dystrybutorów: *all, eby, jam i spk*.

Unikaj przewodów obustronnie zakończonych wtykami. Przewody tego typu także określa się czasem mianem przewodów probierczych.

### ***Okulary ochronne***

Okulary tego typu znajdziesz w większości marketów budowlanych i u dystrybutorów takich jak *amz, eby, har, hom i wal*. Najlepiej byłoby kupić okulary z certyfikatem ANSI Z87. Unikaj okularów z kolorowymi szkłami.

## **Narzędzia i sprzęt niezbędne do pracy nad projektem opisanym w rozdziale 2.**

Fotografie narzędzi i ich opisy znajdziesz na początku rozdziału 2.

### ***Małe kombinerki o długich szczękach***

Powinny one mieć całkowitą długość około 12 cm, a wewnętrzne części szczęk powinny być płaskie, a nie okrągłe. Znajdziesz je między innymi w ofercie serwisów takich jak *amz, eby, mcm, mic*, a także w serwisie aukcyjnym Allegro.

### ***Szczypce do cięcia drutu***

Poszukaj szczypiec o łącznej długości około 12 cm. Znajdziesz je w ofercie serwisów takich jak *amz, eby, har, hom, nor, mcm*, a także w serwisie aukcyjnym Allegro.

### ***Szczypce precyzyjne***

Szczypce takie są opcjonalne. Znajdziesz je w ofercie serwisów takich jak *amz, eby, har, hom, nor i mcm*.

### ***Szczypce do zdejmowania izolacji***

Potrzebujesz szczypiec wyposażonych w otwory przeznaczone do ściągania izolacji z drutów o określonej średnicy. Niestety najpopularniejsze szczypce mogące ściągać izolację z przewodów o średnicy od 2,5 do 0,8 mm nie nadają się do pracy nad eksperymentami opisymi w tej książce.

Powinieneś kupić szczypce przystosowane do ściągania izolacji z drutów o średnicy 0,64 mm (22 AWG), ponieważ nie ma sensu utrudniać sobie pracy. W celu znalezienia szczypiec przystosowanych do ściągania izolacji z przewodów o średnicy od 0,8 mm do 0,2 mm wpisz w wyszukiwarce hasło:

*szczypce do zdejmowania izolacji  
20 30 awg*

W ten sposób powinieneś znaleźć szczypce wyposażone w otwory przeznaczone do ściągania izolacji z drutów o średnicy 0,81 mm, 0,64 mm, 0,51 mm, 0,40 mm, 0,32 mm i 0,25 mm. Znajdziesz je w ofercie serwisów takich jak *amz, eby, elg, jam i spk*, a także w serwisie aukcyjnym Allegro.

## **Narzędzia i sprzęt niezbędne do pracy nad projektem opisanym w rozdziale 3.**

Fotografie narzędzi i ich opisy znajdziesz na początku rozdziału 3.

### ***Lutownica o niskiej mocy***

Lutownica powinna charakteryzować się mocą 15 W. Jej grot powinien być płaski, smukły i mieć kształt stożka. Lutownice tego typu znajdziesz w ofercie serwisów takich jak *all, amz, eby, jam i mcm*, a także w serwisie aukcyjnym Allegro.

### ***Lutownica uniwersalna***

Lutownica taka powinna charakteryzować się mocą 30 – 40 W. Znajdziesz ją między innymi w ofercie serwisów takich jak *amz, eby, har, hom, mcm, nor i srs*, a także w serwisie aukcyjnym Allegro.

## *Statyw lutowniczy*

Statyw taki znajdziesz w ofercie serwisów takich jak *ada, amz, eby, jam i spk*, a także w serwisie aukcyjnym Allegro.

**Szkle powiększające**, określane również mianem **lupy**, znajdziesz w ofercie serwisu aukcyjnego Allegro oraz serwisów takich jak *amz, eby i wal*.

## *Przewody probiercze zakończone haczykami*

Przewody Pomona 6244-48-0 znajdziesz w ofercie serwisów takich jak *amz, dgk, mou i nwk*. Inne, tańsze modele znajdziesz w ofercie serwisów aukcyjnych takich jak eBay i Allegro. Znajdziesz tam również przewody obustronnie zakończone zaciskami typu krokodyl.

## *Opalarka*

Narzędzie to jest na tyle uniwersalne, że znajdziesz je w ofercie każdego marketu budowlanego i sklepu z elektronarzędziami. Znajdziesz je również w ofercie serwisów takich jak *amz, har, hom i nor*. W ofercie serwisów aukcyjnych takich jak Allegro i eBay znajdziesz również miniaturowe opalarki.

## *Sprzęt przydatny podczas rozlutowywania*

Różne narzędzia przydatne podczas rozlutowywania wykonanych wcześniej połączeń znajdziesz w ofercie serwisów takich jak *amz, elg, jam, spk*, a także portalu aukcyjnego takich jak eBay i Allegro.

## *Statyw lutowniczy*

Kupisz go w każdym sklepie sprzedającym lutownice.

## *Miniaturowa pita*

Moim ulubionym małym przyrządem do wykonywania nacięć jest nóż typu skalpel firmy X-Acto oznaaczony numerem #15. Ostrze to należy zamontować w specjalnej rękojeści. Znajdziesz je w ofercie marketów budowlanych, sklepów z artykułami plastycznymi i rzemieślniczymi. Do cięcia płytka perforowanych doskonale nadają się większe skalpeli firmy X-Acto oznaaczone numerami #234 i #239.

## *Gratownik*

Jeżeli nie znajdziesz go w markecie budowlanym znajdującym się w Twojej okolicy, to możesz poszukać tego narzędzia w ofercie sklepów specjalistycznych lub serwisów aukcyjnych takich jak eBay i Allegro. Gratowniki znajdziesz w ofercie dystrybutorów takich jak *amz, mcm, nor i srs*. Standardowo ostrza tych narzędzi są przystosowane do obsługi przez osoby praworęczne. Produkowane są ostrza przeznaczone dla osób leworęcznych, ale trudno je znaleźć. Ostrza charakteryzują się różną twardością, np. ostrze oznacone etykietą E300 jest przystosowane do obrabiania miękkich metali i większości tworzyw sztucznych.

## *Suwmiarka*

Lubię suwmiarki firmy Mitutoyo, ale istnieje wiele tańszych marek. Na stronie internetowej wymienionej firmy znajdziesz opisy wszystkich produkowanych przez nią suwmiarek. Dystrybutora tej marki znajdziesz, wpisując w Google hasło „Mitutoyo”. Wielu majsterkowiczów lubi korzystać z suwmiarek wyposażonych w cyfrowy wyświetlacz umożliwiający wyświetlanie wyników przeprowadzonych pomiarów w centymetrach i calach. Osobiście wolę korzystać z suwmiarki niewymagającej do pracy baterii.

## *Miedziane zaciski typu krokodyl*

Zakup małej liczby tego typu zacisków nie jest dużym wydatkiem. Znajdziesz je w ofercie dużych dystrybutorów komponentów elektronicznych, jak na przykład *dgk, mou i nwk*.

## *Dystrybutorzy*

W niniejszej sekcji wyjaśniono trzyliterowe skróty nazw dystrybutorów.

Na wielu z wyżej wymienionych stron znajdziesz praktyczne poradniki i przydatne informacje. Przeglądając je, możesz zdobyć cenną wiedzę.

Wymienione powyżej serwisy są firmami amerykańskimi i zapewne nie wszystkie operują w Polsce.

**Tabela 6.9. Dystrybutory i ich skrócone nazwy**

Skrót	Nazwa	Adres
ada	Adafruit	<a href="http://www.adafruit.com/">http://www.adafruit.com/</a>
all	All Electronics	<a href="http://www.allelectronics.com/">http://www.allelectronics.com/</a>
amz	Amazon	<a href="http://www.amazon.com/">http://www.amazon.com/</a>
dgk	Digi-Key	<a href="http://www.digikey.com/">http://www.digikey.com/</a>
eby	eBay	<a href="http://www.ebay.pl/">http://www.ebay.pl/</a>
elg	Electronic Goldmine	<a href="http://www.goldmine-elec-products.com/">http://www.goldmine-elec-products.com/</a>
evl	Evil Mad Scientist	<a href="http://www.evilmadscientist.com/">http://www.evilmadscientist.com/</a>
har	Harbor Freight	<a href="http://www.harborfreight.com/">http://www.harborfreight.com/</a>
hom	Home Depot	<a href="http://www.homedepot.com/">http://www.homedepot.com/</a>
ins	Instructables	<a href="http://www.instructables.com/">http://www.instructables.com/</a>
jam	Jameco	<a href="http://www.jameco.com/">http://www.jameco.com/</a>
mcm	McMaster-Carr	<a href="http://www.mcmaster.com/">http://www.mcmaster.com/</a>
mic	Michaels crafts stores	<a href="http://www.michaels.com/">http://www.michaels.com/</a>
mou	Mouser Electronics	<a href="http://www.mouser.com/">http://www.mouser.com/</a>
nwk	Newark Electronics	<a href="http://www.newark.com/">http://www.newark.com/</a>
nor	Northern Tool	<a href="http://www.northerntool.com/">http://www.northerntool.com/</a>
plx	Parallax	<a href="http://www.parallax.com/">http://www.parallax.com/</a>
spk	Sparkfun	<a href="https://www.sparkfun.com/">https://www.sparkfun.com/</a>
srs	Sears	<a href="http://www.sears.com/tools/">http://www.sears.com/tools/</a>
tay	Tayda Electronics	<a href="http://www.taydaelectronics.com/">http://www.taydaelectronics.com/</a>

W związku z tym warto zatrzymać się na następujące witryny:

- <http://elfaelektronika.pl/>,
- <http://elektronika-sklep.pl/>,
- <http://www.eltronix.pl/>,
- <http://pl.farnell.com/>,
- <http://www.tme.eu/>,
- <http://www.botland.com.pl>,
- <http://www.sklep.avt.pl>,
- <http://www.nettigo.pl>.

## O autorze

**Charles Platt** zainteresował się komputerami po otrzymaniu w 1979 roku komputera Ohio Scientific C4P. Zajmował się pisaniem i sprzedażą oprogramowania za pośrednictwem poczty, a następnie uczył programowania w języku BASIC, MS-DOS-a i w końcu obsługi programów Adobe Illustrator i Photoshop. W latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku napisał pięć książek poświęconych informatyce.

Jest również autorem powieści science fiction, takich jak *The Silicon Man* (wydanej przez wydawnictwo Bantam, a później Wired Books) i *Protektor* (wydanej przez Avon Books). Przestał pisać powieści po rozpoczęciu współpracy z magazynem „Wired” w roku 1993. Kilka lat później został jednym z trzech redaktorów prowadzących tego czasopisma.

Charles rozpoczął pisanie artykułów do magazynu „MAKE” od jego trzeciego wydania i jest obecnie redaktorem prowadzącym magazynu. Zajmuje się także projektowaniem i budową prototypów urządzeń medycznych w warsztacie położonym w odludnej części północnej Arizony.

## Kolofon

Autorem fotografii widocznej na okładce jest Marc de Vinck.

# Skorowidz

## A

AC, 4, 17, *Patrz też:* prąd zmienny

akumulator, 5, 39

alarm antywłamaniowy, 140, 178

    czujnik, *Patrz:* czujnik alarmowy

amper, 3, 4, 8, 16, 29, 30

Ampère André-Marie, 18

analiza Boole'a, 213

antena, 296, 298

Arduino, 301, 302, 303

    nielicencjonowane, 304

    program, *Patrz:* program

    szkic, *Patrz:* program

środowisko programistyczne, 303, 304

    zasilanie, 313

Arduino Uno, 302, 303, 360

    instalacja, 304

        Linux, 305

        Mac OS, 307

        Windows, 306

    konfiguracja, 303

atom, 38

## B

Bardeen John, 97

BASIC Stamp, 257, 313, 338, 339

bateria, 4, 5, 7, 353

    alkaliczna, 5, 13

    drugiego rzędu, 39

elektrolit, *Patrz:* elektrolit

    litowa, 13

        rezystancja wewnętrzna, 35

    podstawowa, 39

    rezystancja, 34

    wielokrotnego ładowania, 39

    zasada działania, 10

    zwarcie, 13

Bell Alexander Graham, 275

bezpiecznik, 16, 354

    prąd znamionowy, 6, 17

    samochodowy, 6

bit, 245

błyskawica, 40

Boole George, 211, 213

bramka logiczna, 207, 208, 209, 213

    AND, 207, 210, 211, 213, 214, 322

    NAND, 207, 210, 211, 212, 213, 214, 239, 240

    NOR, 207, 213, 214, 239

    NOT, *Patrz:* inwerter

    OR, 207, 213, 214

    symbol, 213

    XNOR, 207, 213, 214

    XOR, 207, 213, 214

    zasady łączenia, 218

Brattain Walter, 97

brzęczek piezoelektryczny, 298

## C

Camenzind Hans, 167, 168

cążki, 46

cewka magnetyczna, 279, 294

    indukcja, 266

    samoindukcja, *Patrz:* samoindukcja

    symbol, 267

ciśnienie otoczenia, 286

cyfra binarna, 245, *Patrz też:* bit

częstotliwość, 171, 276

    filtrowanie, 280, 288, 300

    nośna, *Patrz:* nośna

czujnik

    alarmowy, 142

    magnetyczny, 157

czynniki losowe, 11

## D

Davies Ray, 292

DC, 4, 17, *Patrz też:* prąd stały

DeArmond Harry, 292

Dellepiane Flavio, 292

diagram Venna, 211

dielektryk, 78

dioda, 40, 117, 130, 147, 273  
anoda, 147  
elektroluminescencyjna,  
    Patrz: LED  
germanowa, 297, 299, 360  
katoda, 117, 147  
krzemowa, 297  
LED, Patrz: LED  
zabezpieczająca, 149  
DIP, 154, 155  
dokumentacja, 343  
drut  
    cynowany, 50  
    do przyłączania, 49  
    grubość, 48  
    montażowy, 49, 348  
    nawojowy, 269, 271  
Dummer Geoffrey, 157  
dzielnik napięcia, 94, 317  
dźwięk, 276, Patrz też: generator  
    dźwięku  
    częstotliwość, Patrz: częstotliwość  
    przesterowanie, 289, 292  
    prycinanie, 290, 291  
    zniekształcenia, 289  
dżul, 35, 41

## E

efekt  
    fuzz, 291, 292  
    podłogowy, 291, 292, 293  
    tremolo, 292  
    vibrato, 292  
elektrolit, 14  
elektromagnes, 266, 267  
elektron, 10, 14, 38  
elektryczność, 38  
element  
    aktywny, 285  
    dyskretny, Patrz: komponent  
        dyskretny  
    pasywny, 279, 285

## F

Fairchild Semiconductor, 158  
fala  
    dźwiękowa, 276, 285  
        długość, 276  
    kwadratowa, 287  
    nośna, Patrz: nośna  
    radiowa AM, 294, 301  
    sinusoidalna, 285

farad, 77  
Faraday Michael, 77, 81  
Field Simon Quellen, 299  
flip-flop, Patrz: przerutnik  
Franklin Benjamin, 39  
funkcja  
    delay, 310, 311, 312, 322  
    digitalWrite, 310, 311, 312  
    ledstate, 322  
    loop, 322  
    millis, 328  
    nagłówek, 336  
    randomSeed, 325  
    setup, 309, 312, 322, 333  
    tworzenie, 335

## G

galwanometr, 19  
generator  
    dźwięku, 103, 104, 150  
        syreny, 177, 185  
    liczb, 325, 334  
    prądu, 271  
        zmiennego, 280  
głośnik, 273, 274, 275, 277, 281  
membrana, 105, 274  
niskiej częstotliwości, Patrz: woofer  
średnica, 55  
wysokiej częstotliwości, Patrz:  
    tweeter  
gniazdko  
    elektryczne, 18  
    zasilające, 116  
gratownik, 113, 361

## H

henr, 266  
Henry Joseph, 266, 267, 268, 275  
herc, 171, 276  
Hertz Heinrich, 171  
histereza, 320

## I

indukcja elektromagnetyczna, 81  
indukcyjność, 30, 266, 294  
instrukcja  
    if, 322, 334  
    loop, 310  
inwerter, 213  
izolacja termokurczliwa, 111, 114, 124, 349  
izolator, 9

## J

jednostki, 3, 4, 9, 15, 35, 77,  
138, 171  
cale, 138, 139, 140  
język programowania, 301, 302

## K

Kellogg Edward, 275  
Kilby Jack, 157  
klawiatura kodowanie  
matrycowe, 228  
knot rozłutowniczy, *Patrz: plecionka*  
kod binarny, 244, 245  
kombinerki  
o długich szczękach, 45, 361  
precyzyjne, 46, 361  
komparator, 165  
komponent, 349, 350, 351, 354  
dyskretny, 314, 315  
kondensator, 55, 279, 350  
budowa, 78, 79  
ceramiczny, 55, 78  
elektrolityczny, 55, 56, 78  
ładowanie, 81, 82, 83, 84, 273  
wykres, 85  
obejściowy, 104  
polaryzacja, 76, 78, 79  
poliestrowy, 288  
prąd  
przesunięcia, 88  
upływu, 86  
rozmiar, 90  
sprzęgający, 90, 102  
symbol, 78  
kontaktron, 143  
kość, 154, *Patrz też: układ scalony*  
krokodyl, 5, 111, 115, 360, 362  
kulomb, 40

## L

lampa próżniowa, 213  
LED, 6, 21, 26, 72, 277, 278, 353  
końcówka, 21  
napięcie  
progowe, 26  
przewodzenia, 21  
niskoprądowy, 6, 156, 353  
nota katalogowa, 31  
o wspólnej anodzie, 197  
o wspólnej katodzie, 197

prąd przewodzenia, 21  
specyfikacja producenta, 31  
standardowy, 6  
symbol, 60, 63  
wartość rezystora, 32  
wymiary, 138

## liczba

binarna, 245  
zespolona, 280

## licznik

binarny, 242, 243, 244  
łączenie w łańcuch, 252  
wyzwalanie, 245  
dziesiętny, 198, 199, 200, 207, 242  
blokada zegara, 200  
przeniesienie, 200  
wejście zegara, 200  
włączenie wyświetlania, 200  
wyjście kodowane, 198  
wyjście sygnału włączenia  
wyświetlania, 200  
zerowanie, 200

## linka

50, 51, 191  
logika, 211, 212  
lutowanie, 117, 118, 119, 120, 122, 123,  
187, 188, 191  
lutowica, 108, 117, 361  
ołówkowa, 109  
pistoletowa, 109

## Ł

ładunek elektryczny, 40

## M

magnes, 270, 272, 273  
neodymowy, 268, 272, 358  
Marconi Guglielmo, 299  
Maxwell James, 88  
miejsce pracy, 257, 261, 262  
miernik  
analogowy, 1  
cyfrowy, 2  
czasu reakcji, 194  
przeciążenie, 27  
przewody, 8  
test przewodzenia, 59  
zakres pomiarowy, 3, 10  
złącze  
 $V/\Omega$ , 8  
współne, 8  
mikrofon, 276, 277  
dynamiczny, 276

mikrokontroler, 301, 302, 310, 313, 314, 315  
BASIC Stamp, *Patrz*: BASIC Stamp  
PICAXE, *Patrz*: PICAXE  
Raspberry Pi, *Patrz*: Raspberry Pi  
trwałość, 314  
zegar systemowy, *Patrz*: zegar systemowy  
mikroprzełącznik, 52, 72, 355  
montaż  
    powierzchniowy, 154, 155  
    przeplatany, 6, 154, 155, 314  
Moore Gordon, 158  
multimetr, 1, 360, *Patrz też*: miernik

## N

napięcie, 14, 15, 26, 27, 35, 41, 83  
regulator, *Patrz*: regulator napięcia  
napięcie, 14, 15, 27, 35, *Patrz też*: prąd  
    pomiar, 28  
niuton, 41  
nośna, 300  
Noyce Robert, 157, 158

## O

obudowa, 154  
    podłużna dwurzędowa, *Patrz*: DIP  
obwód wykrywanie przerwań, 4  
odpowiedź galwaniczna, 18  
odsysacz, 109, 112  
ogniwo, *Patrz*: bateria  
Ohm Georg Simon, 9, 12  
Ohma prawo, *Patrz*: prawo Ohma  
om, 3, 4, 9, 29, 30  
opalarka, 111, 124, 362  
operator logiczny Boole'a, 213  
oscylator, 71, 74, 76, 98, 102

## P

PDIP, 154  
pętla for, 334  
PICAXE, 254, 257, 313, 314, 338  
plecionka, 112  
płytki  
    protoshield, 318  
    prototypowa, 48, 71, 72, 74, 115, 349  
        miniatura, 48  
        z podwójną szyną zasilającą, 49  
        z pojedynczą szyną zasilającą, 48  
    uniwersalna, *Patrz*: płytka  
        prototypowa  
podstawką, 155, 156  
pojemność, 4, 77, 81, 83, 294

## pole

    elektromagnetyczne, 19, 40, 41, 299  
    magnetyczne, 30, 265, 266, 267, 277  
    zmiana, 278  
połączenie  
    owijane, 121  
    równoległe, 30  
    szeregowe, 30  
potencjometr, 5, 23, 354  
    dostrojczy, 53, 93, 355  
    symbol, 63  
    testowanie, 24  
    wielobrotowy, 54  
półprzewodnik, 96  
prawo Ohma, 29, 30, 31  
prąd, 38, *Patrz też*: natężenie  
    konwencjonalny, 60, 61  
    przemienny, *Patrz*: prąd zmienny  
    przesunięcia, 88  
    stały, 17  
    upływu, 86  
    zmienny, 17, 89, 90, 273, 280  
    generator, *Patrz*: generator prądu  
        zmiennego  
program, 308, 313  
    komentarz, 309  
    kompilowanie, 309, 323, 332  
przekaźnik, 45, 52, 65, 66, 68, 74, 97, 98,  
    213, 355  
    blokujący, 68  
    budowa, 70  
    czułość, 53  
    DPDT, 53, 157  
    malosygnalowy, 69  
    napięcie  
        minimalne zadziałania, 71  
        znamionowe, 71  
    nieblokujący, 53  
    obciążalność styków, 71  
    obciążenie  
        indukcyjne, 71  
        rezystancyjne, 71  
    otwieranie, 69  
    polaryzacja, 53, 66  
    prąd pracy, 71  
    symbol, 68  
    zatrzaszkowy, 145  
przełącznik, 52, 56, 58, 355  
    biegunowy, 56  
    dwubiegunowy, 57, 61, 62  
    dwupozycyjny, *Patrz*: przełącznik  
        dwustabilny

dwustabilny, 61, 62  
DPDT, 52  
SPDT, 52, 57  
zaciski śrubowe, 52  
jednopozycyjny SPST, 57  
odbijanie styków, 237, 239, 240, 241  
sprawdzanie, 59  
ślizgowy, 156, 356  
przerutnik, 165, 238, 239  
z wejściem zegarowym, 241  
zatraskowy, 241  
przetwornik  
analogowo-cyfrowy (A/C), 316, 319  
piezoelektryczny, 298  
przewodnik, 9  
przewód  
kolor, 65  
połączeniowy, 5, 50, 348  
pomiarowy, 111  
probierczy, 5  
rezystancja, 33  
przybliżenie Wheelera, 266, 267  
przycisk symbol, 63  
pseudokod, 326

## R

radioodbiornik, 294, 297, 298, 299, 300  
Raspberry Pi, 314, 339  
reaktancja, *Patrz:* samoindukcja  
regulator napięcia, 156, 157, 208, 209,  
210, 318  
rezystancja, 9, 15, 30, 31, 83  
baterii, *Patrz:* bateria rezystancja  
cieplna, 132  
indukcyjna, *Patrz:* samoindukcja  
pomiar, 9, 22  
przewodu, *Patrz:* przewód rezystancja  
wewnętrzna, 34  
rezistor, 7, 19, 72, 279, 350  
moc dopuszczalna, 35, 36  
obudowa  
biała, 20  
kolor, 7, 20  
podciągający, 162  
sprawdzanie, 22  
symbol, 63  
ściągający, 162, 199  
tolerancja, 20, 22  
wartość, 20, 22  
Rice Chester, 275  
Richards Keith, 292  
różnica potencjalów, 26, 27, 30

## S

samoindukcja, 278  
schemat, 60, 61, 64  
logiczny, 210  
symbol, *Patrz:* symbol  
Scribner Charles, 60  
Shannon Claude, 212  
Shockley William, 97, 158  
Siemens Ernst, 275  
słowo  
pinMode, 309  
void, 309  
słuchawka o wysokiej impedancji, 297, 360  
SOIC, 154  
sonda logiczna, 153  
spowo lutownicze, 108, 114, 348  
z topikiem, 109, 114, 348  
sprzężenie zwrotne, 229  
stała czasowa, 83, 84  
statyw lutowniczy, 109, 110, 362  
stos Volty, 18  
subwoofer, 288  
suwmiarka, 113, 362  
sygnału zbocze narastające, 245  
symbol, 60, 61  
bramki logicznej, 213  
cewki, 267  
kondensatora, 78  
LED, 60, 63  
potencjometru, 63  
przekaźnika, 68  
przelącznika, 61, 62  
przycisku, 63  
rezystora, 63  
tranzystora, 93  
źródła prądu, 62  
system  
calowy, 138, 139, 140  
metryczny, 138, 139, 140  
średnic AWG, 48  
szczypce, *Patrz też:* kombinerki  
do cięcia drutu, 46, 361  
do zdejmowania izolacji, 47, 361  
szkło powiększające, 110

## T

tabela prawdy, 211, 212  
termistor, 316, 317, 360  
rezystancja znamionowa, 317  
termostat, 316  
Texas Instruments, 154, 157

Thomson J.J., 39  
transformator, 267  
tranzystor, 40, 45, 54, 60, 90, 97, 98, 213  
  2N2222, 54, 91  
  baza, 92  
  bias dodatni, 95  
  bipolarny, 92, 96, 169, 214  
    NPN, 92, 93, 96, 143  
    PNP, 92, 93, 96  
emiter, 92  
kolektor, 62, 92  
obudowa, 54, 91  
P2N2222, 54  
P2N2222A, 54  
polowy, 292  
prąd spoczynkowy, 96  
spolaryzowany zaporowo, 255  
stopień wzmacnienia, 54  
symbol, 93  
testowanie, 4  
współczynnik beta, 96  
zasada działania, 95  
tryb  
  astabilny, 162, 169, 170, 173, 174  
  bistabilny, 166  
  monostabilny, 159, 160, 161, 162  
tweeter, 288

**U**  
układ  
  Darlingtona, 198  
  logiczny 74HC00, 209, 210  
  RC, 81, 82, 163  
  scalony, 213, 356  
    4490, 242  
    4026B, *Patrz*: licznik dziesiętny  
    74HC393, 242, 243, 244, 245  
    74xx, 216, 217, 218  
  ATmega 328P-PU, 302, 303  
  bipolarny, *Patrz*: układ scalony TTL  
  CMOS, 169, 214, 215, 216  
  LM386, 281, 287, 298  
  LM7805, 208, 209  
  nazwa, 155, 216  
  obudowa, *Patrz*: obudowa  
  podstawa, *Patrz*: podstawa  
  skala integracji, 158  
  timera 555, 151, 158, 159, 163, 164, 165,  
    167, 168, 174, 200, 282, 287, 358  
  TTL, 169, 214, 215, 216  
  wejście pływające, 162  
uziemienie, 63

**V**  
Venn John, 211  
Venna diagram, *Patrz*: diagram Venna  
Volta Alessandro, 14, 18

**W**  
wat, 35, 41  
Watt James, 35, 36  
Wheelera przybliżenie, *Patrz*: przybliżenie  
  Wheelera  
wire wrap, *Patrz*: połączenie owijane  
woda  
  dejonizowana, *Patrz*: woda destylowana  
  destylowana, 12, 354  
wolt, 3, 4, 14, 15, 16, 29, 30, 41  
woofer, 288  
wyświetlacz  
  diody, 197  
  o wspólnej anodzie, 197  
  o wspólnej katodzie, 197  
  siedmiosegmentowy, 156, 195, 196, 197,  
    247, 358  
  sterownik, 198  
wzbudnik, *Patrz*: cewka magnetyczna  
wzmacniacz, 277  
  dźwięku, 280, 281, 282, 283, 284, 287  
  operacyjny, 298, 318

**Z**  
zamek szyfrowy, 219, 221  
zasilacz sieciowy, 62, 107, 356  
  jednonapięciowy, 107  
modyfikacja, 125  
uniwersalny, 107  
warsztatowy, 108  
zatrask, 230, 231, 232  
zegar systemowy, 328  
złączka goldpin, 116, 356  
zmienna, 322, 323  
  int, 323  
  long, 333  
  niekontrolowana, 11  
znak  
  &&, 322  
  ==, 322  
zworka, *Patrz*: przewód połączeniowy  
zwojniczka głośnikowa, 288, 289

# PROGRAM PARTNERSKI

GRUPY WYDAWNICZEJ HELION



1. ZAREJESTRUJ SIĘ
2. PREZENTUJ KSIĄŻKI
3. ZBIERAJ PROWIZJĘ

Zmień swoją stronę WWW  
w działający bankomat!

**Dowiedz się więcej i dołącz już dzisiaj!**

<http://program-partnerski.helion.pl>

GRUPA WYDAWNICZA

 Helion SA