Mikrokontrolery dla hobbystów

Projekty DIY w języku C i C++

Miguel Angel Garcia-Ruiz
Pedro Cesar Santana Mancilla

Helion

Tytuł oryginału: DIY Microcontroller Projects for Hobbyists: The ultimate project-based guide to building real-world embedded applications in C and C++ programming

Tłumaczenie: Marcin Machnik

ISBN: 978-83-283-8947-2

Helion S.A.
ul. Kościuszki 1c, 44-100 Gliwice
tel. 32 231 22 19, 32 230 98 63
e-mail: *helion@helion.pl*
WWW: *https://helion.pl* (księgarnia internetowa, katalog książek)

Drogi Czytelniku!
Jeżeli chcesz ocenić tę książkę, zajrzyj pod adres
https://helion.pl/user/opinie/mikhob
Możesz tam wpisać swoje uwagi, spostrzeżenia, recenzję.

Printed in Poland.

Spis treści

O autorach 11

O recenzentach 12

Przedmowa 13

Rozdział 1. Wprowadzenie do mikrokontrolerów i płytek z mikrokontrolerami 19

Wymogi techniczne 20
Wprowadzenie do mikrokontrolerów 21
Płytki z mikrokontrolerami 22
Przegląd wykorzystywanych w książce analogowych i cyfrowych elementów elektronicznych 23
Podstawowe elementy elektryczne 24
Dioda 26
Płytka prototypowa 28
Opis płytek Blue Pill i Curiosity Nano 29
Instalowanie IDE 31
Twój pierwszy projekt — migająca dioda LED 37
Uruchomienie kodu z migającą diodą na płytce Blue Pill 38
Uruchomienie kodu z migającą diodą na płytce Curiosity Nano 40
Podsumowanie 42
Dalsza lektura 42

Rozdział 2. Instalacja środowisk programistycznych oraz programowanie mikrokontrolerów w C 43

Wymogi techniczne 44
Wprowadzenie do programowania w C 44
Podstawowa struktura języka C 45
Wstęp do programowania mikrokontrolera Curiosity Nano 57

Wstęp do programowania mikrokontrolera Blue Pill **58**
Przykład — programowanie i wykorzystywanie wbudowanej w płytkę mikrokontrolera diody LED **61**
Programowanie diody na płytce Blue Pill 61
Podsumowanie **64**
Dalsza lektura **64**

Rozdział 3. Włączanie i wyłączanie diody przyciskiem **65**

Wymogi techniczne **66**
Przyciski **66**
Szum elektryczny przycisków **68**
Debouncing sprzętowy 69
Debouncing softwarowy 70
Podłączenie diody do płytki mikrokontrolera z wykorzystaniem wbudowanego rezystora podciągającego **72**
Softwarowy debouncing przycisku podłączonego do Blue Pill 73
Włączanie i wyłączanie diody przyciskiem podłączonym do płytki Curiosity Nano 76
Testowanie przycisku **78**
Podsumowanie **79**
Dalsza lektura **79**

Rozdział 4. Pomiar ilości światła za pomocą fotorezystora **81**

Wymogi techniczne **81**
Czujniki **82**
Definicja czujnika 82
Czym są moduły z czujnikami? 83
Fotorezystor **84**
Podłączanie fotorezystora do portu płytki mikrokontrolera **86**
Podłączenie fotorezystora do płytki Blue Pill 86
Podłączenie fotorezystora do płytki Curiosity Nano 89
Podłączenie modułu z fotorezystorem do płytek z mikrokontrolerem 92
Testowanie fotorezystora **95**
Podsumowanie **96**
Dalsza lektura **96**

Rozdział 5. Pomiar temperatury i wilgotności **97**

Wymogi techniczne **97**
Czujnik wilgotności i temperatury DHT11 **98**
Czym jest wilgotność względna? 98
Piny DHT11 i ich opis 99
Podłączenie modułu z czujnikiem DHT11 do płytki z mikrokontrolerem **100**
Podłączenie DHT11 do płytki Blue Pill 101
Podłączenie wyświetlacza LCD do Blue Pill 103
Podłączenie czujnika temperatury LM35 do płytki Curiosity Nano 106
Programowanie odbierania danych z czujnika **108**
Programowanie współpracy czujnika DHT11 z Blue Pill 108
Programowanie czujnika i wyświetlacza LCD 110
Programowanie współpracy czujnika LM35 z Curiosity Nano 111

Wyświetlanie danych o wilgotności i temperaturze w oknie monitora portu szeregowego **112**
Tworzenie wykresów 113
Podsumowanie **114**
Dalsza lektura **114**

Rozdział 6. Alarm świetlny SOS kodem Morse'a na jasnej diodzie LED **115**

Wymogi techniczne **116**
Kod Morse'a i sygnał SOS **116**
Superjasne diody LED i obliczanie niezbędnego rezystora **118**
Podłączenie rezystora i superjasnej diody LED do Blue Pill 120
Podłączenie superjasnej diody LED do Curiosity Nano 123
Programowanie sygnału SOS **126**
Sygnał SOS na Curiosity Nano 128
Testowanie alarmu świetlnego **129**
Podsumowanie **130**
Dalsza lektura **130**

Rozdział 7. Przełącznik akustyczny **132**

Wymogi techniczne **132**
Podłączenie mikrofonu do portu płytki z mikrokontrolerem **134**
Moduł z mikrofonem elektretowym 134
Podłączenie elementów 135
Programowanie przełącznika akustycznego **139**
Programowanie przełącznika na dwa klaśnięcia **141**
Programowanie przełącznika akustycznego z timerem między klaśnięciami **143**
Ulepszanie działania projektu **145**
Podsumowanie **146**
Dalsza lektura **146**

Rozdział 8. Czujnik gazów **147**

Wymogi techniczne **147**
Czujnik gazów MQ-2 **148**
Podłączenie czujnika MQ-2 do płytki z mikrokontrolerem **149**
Podłączenie na potrzeby odczytu cyfrowego 149
Podłączenie na potrzeby odczytu analogowego 153
Kod odczytujący stężenie gazów z modułu czujnika **154**
Kod do odczytu cyfrowego 155
Kod do odczytu analogowego 157
Test systemu **158**
Podsumowanie **163**
Dalsza lektura **163**

Rozdział 9. IoT — system rejestrujący temperaturę **164**

Wymogi techniczne **165**
Podłączenie czujnika temperatury do płytki Blue Pill **165**
Czujnik temperatury DS18B20 166
Podłączenie komponentów 167

Programowanie odczytu temperatury **170**
Podłączenie modułu ESP8266 **174**
Moduł Wi-Fi ESP8266 174
Podłączenie modułu Wi-Fi ESP8266 175
Programowanie wysyłania odczytów temperatury do sieci **178**
Podłączenie płytki Blue Pill do sieci **181**
Podsumowanie **183**
Dalsza lektura **183**

Rozdział 10. IoT — czujnik nawilżenia rośliny **184**

Wymogi techniczne **185**
Podłączenie czujnika wilgotności gleby do płytki Blue Pill **185**
Czujnik wilgotności gleby 185
Podłączenie elementów 186
Odczyt danych z modułu czujnika wilgotności gleby **189**
Programowanie wysyłania odebranych danych do sieci **191**
Wyświetlanie danych z czujnika przez sieć Wi-Fi **198**
Podsumowanie **200**
Dalsza lektura **201**

Rozdział 11. IoT — pomiar energii słonecznej (napięcia) **202**

Wymogi techniczne **203**
Podłączenie ogniwa fotowoltaicznego do płytki Blue Pill **203**
Ogniwo fotowoltaiczne 203
Czujnik napięcia B25 205
Podłączenie elementów 206
Odczyt danych z czujnika napięcia **209**
Programowanie wysyłania zmierzonych danych do internetu **211**
Prezentowanie danych z czujnika w internecie **214**
Podsumowanie **219**
Dalsza lektura **219**

Rozdział 12. Cyfrowy pomiar temperatury ciała **220**

Wymogi techniczne **221**
Programowanie komunikacji I2C **221**
Protokół I2C 221
Programowanie I2C 223
Podłączenie czujnika na podczerwień do płytki z mikrokontrolerem **226**
Czujnik MLX90614 226
Moduł GY-906 228
Podłączenie czujnika do Arduino Uno 229
Podłączenie Arduino Uno z Blue Pill 231
Prezentacja temperatury na wyświetlaczu LCD **232**
Test termometru **234**
Podsumowanie **235**
Dalsza lektura **236**

Rozdział 13. Alarm dystansu społecznego 237

Wymogi techniczne 238
Programowanie brzęczyka piezoelektrycznego 239
Podłączenie komponentów 240
Podłączenie czujnika ultradźwiękowego do płytki z mikrokontrolerem 242
Podłączenie komponentów 243
Programowanie odbierania danych z czujnika ultradźwiękowego 244
Test pomiaru odległości 246
Podsumowanie 250
Dalsza lektura 250

Rozdział 14. Timer dwudziestosekundowego mycia rąk 251

Wymogi techniczne 252
Programowanie licznika czasu (timera) 252
Prezentacja licznika na wyświetlaczu 254
Podłączenie czujnika ultradźwiękowego do Blue Pill 256
Co to jest czujnik ultradźwiękowy? 257
Jak działa czujnik ultradźwiękowy? 257
Składamy wszystko razem — pomyśl o obudowie ochronnej! 261
Test timera 262
Podsumowanie 264
Dalsza lektura 264

ROZDZIAŁ 3

Włączanie i wyłączanie diody przyciskiem

W tym rozdziale opiszemy i poćwiczymy włączanie i wyłączanie diody LED przyciskiem typu **tact switch** (przełącznikiem taktowym) podłączonym do płytki z mikrokontrolerem. Tego typu przycisk to przydatny komponent, który funkcjonuje jako przełącznik i jest używany do zamykania lub otwierania obwodu elektrycznego. Będziemy go stosować do inicjowania lub aktywowania procesu na płytce z mikrokontrolerem. Dane wejściowe przekazywane przez przycisk są istotne w wielu projektach z mikrokontrolerami, które wymagają udziału człowieka. Konkretnie zawartość rozdziału prezentuje się następująco:

- przedstawienie przycisków typu tact switch,
- wyjaśnienie kwestii zakłóceń elektrycznych przycisku,
- podłączenie do portu płytki mikrokontrolera diody LED z wykorzystaniem rezystora podciągającego,
- przetestowanie przycisku.

Z lektury tego rozdziału dowiesz się, jak podłączyć przycisk do płytek Curiosity Nano i Blue Pill oraz nauczysz się programować płytki w taki sposób, by dane z przycisku włączały lub wyłączały diodę. Poznasz także metody redukowania problemu **szumu elektrycznego** z przycisków. Przekonasz się, że próby rozwiązania tej kwestii nie są łatwe. W sekcji „Szum elektryczny przycisków" mówimy o tym, że nie wszystkie przyciski są w stu procentach wolne od błędów produkcyjnych i korzystanie z nich może indukować szumy elektryczne.

Wymogi techniczne

Narzędzia programistyczne, z jakich będziemy korzystać w tym rozdziale, to **MPLAB X IDE** oraz **Arduino IDE**. Kod użyty w tym rozdziale znajduje się w repozytorium tej książki w serwisie GitHub pod adresem:

https://github.com/PacktPublishing/DIY-Microcontroller-Projects-for-Hobbyists/tree/master/Chapter03.

Filmik dotyczący tego rozdziału znajdziesz pod adresem: *https://bit.ly/3cVfZLM*.

Przykładowe kody z tego rozdziału służą do włączania i wyłączania diody LED za pośrednictwem płytek Curiosity Nano i Blue Pill. Przewodnik na temat instalacji środowisk IDE i korzystania z nich znajdziesz w rozdziale pierwszym. W tym rozdziale będą nam także potrzebne następujące elementy elektroniczne:

- Płytka prototypowa.
- Płytki Blue Pill i Curiosity Nano.
- Kabel micro-USB do podłączenia płytek do komputera.
- Interfejs ST-Link/V2 do wgrania skompilowanego kodu na płytkę Blue Pill. Pamiętaj, że ST-Link/V2 wymaga czterech żeńsko-żeńskich przewodów Arduino ze zworkami.
- Jedna dioda LED. Jakiegokolwiek koloru. W ćwiczeniach zwykle korzystamy z czerwonej.
- Jeden rezystor 220 Ω o mocy 1/4 wata.
- Cztery męsko-męskie przewody Arduino ze zworkami do podłączenia rezystora i przycisku do płytek.
- Przycisk typu **tact switch**, normalnie otwarty (NO).

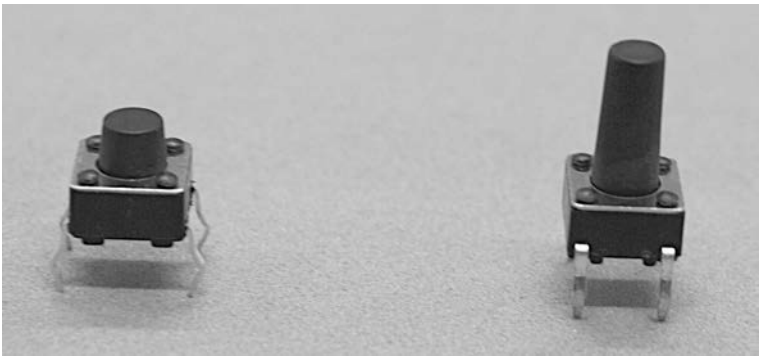
Następna sekcja zawiera zwięzłe wprowadzenie do przycisków używanych w obwodach elektrycznych.

Przyciski

Przycisk to urządzenie elektroniczne, które działa na zasadzie mechanicznego **przełącznika** i może służyć do zamknięcia lub otwarcia obwodu. Przyciski nazywa się także *chwilowymi* lub *impulsowymi*. Są one zbudowane z twardych materiałów w rodzaju plastiku i mają w środku maleńką metalową sprężynę, która odpowiada za zetknięcie dwóch przewodów lub styków, pozwalając na przepływ elektryczności po naciśnięciu przycisku (w przyciskach **normalnie otwartych**) lub po ich puszczeniu (w przyciskach **normalnie zamkniętych**). Po zwolnieniu przycisku sprężyna się wycofuje, obwód zostaje przerwany i przez styki przestaje płynąć prąd.

Przyciski przydają się do manualnego kontrolowania lub inicjowania procesów w obwodach elektrycznych, w tym takich z udziałem płytek z mikrokontrolerami. Poniższe zdjęcie przedstawia przycisk normalnie zamknięty (po lewej) i normalnie otwarty (po prawej).

Jak widać na rysunku 3.1, normalnie otwarty przycisk (ten po prawej) wygląda na wciśnięty. Zwróć uwagę, że nóżki podpina się do płytki z mikrokontrolerem.



Rysunek 3.1. Przyciski normalnie zamknięty (po lewej) i normalnie otwarty (po prawej)

> Normalnie otwarte i normalnie zamknięte przyciski mogą wyglądać identycznie w zależności od producenta i modelu. Jeśli nie masz pewności, podłącz przycisk do płytki z mikrokontrolerem i sprawdź, z jakim rodzajem masz do czynienia. Jeśli przycisk wysyła sygnał logiczny bez naciskania, jest normalnie zamknięty. W tym rozdziale nauczysz się podłączać przycisk do płytki z mikrokontrolerem.

Typowym zastosowaniem przycisku w projektach z mikrokontrolerami jest podłączanie masy lub dodatniego napięcia do pinu wejściowego lub odłączanie masy lub napięcia od tego pinu. Mikrokontroler odczytuje taką zmianę napięcia na porcie I/O (pinie) i inicjuje jakiś proces.

Przyciski mogą być różnej wielkości. Duże i solidne przydają się w zastosowaniach przemysłowych, gdy operator musi móc je szybko zlokalizować i wcisnąć. Mniejsze zwykle stosuje się w urządzeniach elektrycznych, takich jak klawiatury komputera czy telefony stacjonarne. W tym rozdziale użyjemy małego przycisku, który znajdziesz w wielu zestawach elementów elektronicznych, w tym takich z mikrokontrolerami. Co ciekawe, płytki Blue Pill i Curiosity Nano także są wyposażone w taki przycisk. W obu przypadkach służy on do resetowania uruchomionego na nich programu. Istnieją dwa rodzaje przycisków: **normalnie otwarte** i **normalnie zamknięte**. Przyjrzyjmy się im bliżej.

- **Normalnie otwarte.** Gdy przycisk nie jest naciskany, styki są rozwarte, czyli nie zamykają obwodu. Zwierają się (zamykają obwód) przy każdym naciśnięciu przycisku. Po wciśnięciu przycisku obwód zostanie zamknięty. To najpopularniejszy rodzaj przycisku. Przydaje się do chwilowej aktywacji lub inicjalizacji procesu, na przykład zresetowania mikrokontrolera.

- **Normalnie zamknięte.** W domyślnym stanie ten przycisk zamyka obwód, co oznacza, że jego styki są zwarte bez konieczności naciskania. Rozłączamy styki (i otwieramy obwód, do którego przycisk jest podłączony) poprzez naciśnięcie. Ten przycisk przydaje się, gdy chcemy na chwilę wyłączyć lub przerwać obwód elektryczny. Na przykład przerwać połączenie czujnika z mikrokontrolerem, gdy z jakiegoś powodu chcemy przerwać napływ danych.

W następnej sekcji opisujemy problem dotyczący wielu czujników, a związany z **szumem elektrycznym**. Tego rodzaju szum jest czasem bardzo trudny (lecz nie niemożliwy) do zminimalizowania.

Szum elektryczny przycisków

Wiele przycisków generuje szumy. Mają one negatywny wpływ na funkcjonalność obwodu elektrycznego, do którego przycisk jest podłączony, oraz mogą wywoływać nieprzewidywalne reakcje mikrokontrolera.

Główny problem z przyciskami polega na tym, że *nie są idealne*. Nie zwierają styków w jednej chwili i w wielu przypadkach powstaje szum elektryczny. Dzieje się tak dlatego, że nie wszystkie przyciski są wolne od błędów produkcyjnych. Gdy podłączymy przycisk bezpośrednio do portu I/O mikrokontrolera, możemy odnieść wrażenie, że po naciśnięciu wszystko przebiega tak jak należy. Nam się wydaje, że naciskamy tylko raz, ale z punktu widzenia mikrokontrolera przycisk został wciśnięty wiele razy w bardzo krótkich odstępach czasu, co jest wynikiem wygenerowanego przez przycisk szumu elektrycznego. Szum elektryczny możemy zdefiniować jako przypadkowe impulsy elektryczne lub sygnały w obwodzie elektrycznym. Takie sygnały mają mocno zróżnicowane poziomy napięć — od bardzo niskich do bardzo wysokich — i mogą pojawiać się z przypadkową częstotliwością. Istnieje wiele źródeł szumów elektrycznych, między innymi ciepło, wadliwe komponenty, ruchy mechaniczne i luźne połączenia w obwodzie.

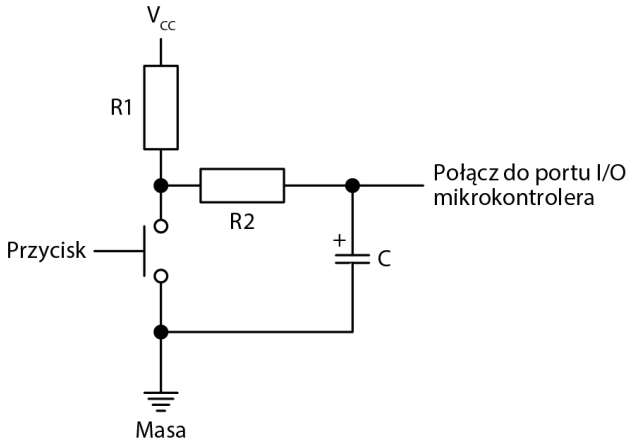
Niepożądany szum elektryczny z przycisków jest niemal zawsze wynikiem zjawiska zwanego **odbijaniem**, powodowanym przez tarcie i mechaniczne ruchy wewnętrznych metalowych części przycisku i sprężyny. Musimy usunąć małe pulsacje napięcia, czyli wykonać tzw. **debounce**, żeby zmniejszyć szum elektryczny i zamknąć obwód (gdy używamy przycisku normalnie otwartego) w czysty i efektywny sposób. Jeśli tego nie zrobimy, wewnętrzne styki mogą nieprawidłowo zamykać obwód przy każdym naciśnięciu, co wpłynie na funkcjonalność całego obwodu lub wejścia mikrokontrolera. Przycisk powinien wysyłać albo zero woltów (logiczny stan niski — LOW), albo 3,3V (logiczny stan wysoki — HIGH). Jeśli nie usuniemy małych pulsacji, powstały szum elektryczny może wpłynąć na te poziomy logiczne i mikrokontroler może przestać je poprawnie rozpoznawać.

Logiczny stan wysoki (HIGH) zarówno dla płytki Blue Pill, jak i Curiosity Nano to 3,3V. Pamiętaj, że dla niektórych mikrokontrolerów, na przykład z rodziny Arduino, HIGH to 5V, a nie 3,3V.

Istnieje kilka technik radzenia sobie z szumem elektrycznym przycisków. Przykładowo ten rodzaj szumu można znacznie zminimalizować za pomocą połączonych z przyciskiem dodatkowych elementów elektronicznych lub za pomocą kodu. Pokażemy te sposoby w następnych kilku sekcjach.

Debouncing sprzętowy

Jednym ze sposobów na zredukowanie szumu przycisku jest podłączenie do przycisku kondensatora i dwóch rezystorów (taki układ często nazywa się **filtrem RC** lub filtrem dolnoprzepustowym), tak jak na poniższym schemacie z rysunku 3.2. Gdy wciśniemy przycisk, kondensator się naładuje. Gdy puścimy przycisk, kondensator przez krótki czas będzie naładowany, lecz szybko rozładuje się przez rezystor. Naładowany kondensator reprezentuje logiczny stan wysoki (HIGH) do odczytania przez mikrokontroler. Wszelkie chwilowe szumy, które wstąpią w stanie naładowania, zostaną zignorowane, ponieważ kondensator podaje wtedy logiczny stan wysoki (HIGH).



Rysunek 3.2. Przycisk z filtrem RC[1]

Powyższy schemat (rysunek 3.2) zawiera dwa rezystory, **R1** i **R2**, normalnie otwarty przycisk i kondensator, **C**. Rezystory i kondensator tworzą filtr RC. Pamiętaj, że $\mathbf{V_{cc}}$ oznacza dodatnie napięcie, czyli 3,3V dla Curiosity Nano i Blue Pill. Generalnie napięcie uzyskuje się z jednego z pinów płytki opisanego jako 3,3V lub Vcc. Dodatkowo możesz podpiąć filtr RC do jednego z pinów płytki opisanego jako masa. Jak widać na powyższym schemacie z rysunku 3.2, te trzy elementy nadają się do zredukowania szumu elektrycznego przycisku. Typowe wartości dla **R1**, **R2** i **C** to odpowiednio 10 kΩ, 10 kΩ i 0.1 mikrofaradów, chociaż czasem trzeba dobrać inne

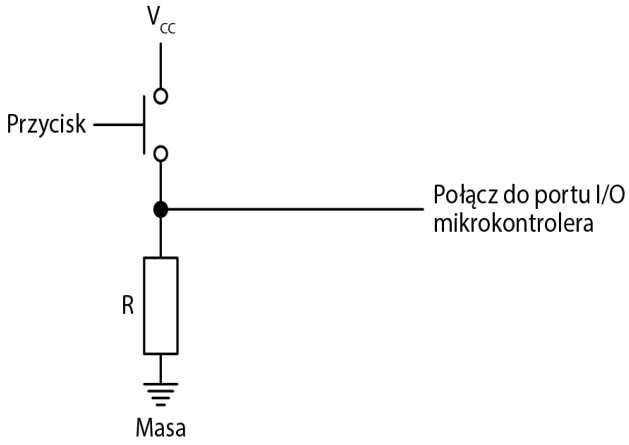
[1] Na schemacie zastosowano — zgodnie z oryginałem — symbol $\mathbf{V_{cc}}$ dla oznaczenia napięcia. Wprawdzie w Polsce stosuje się raczej zapis $\mathbf{U_{cc}}$, jednak zdecydowałem się zastosować symbolikę z oryginału po to, by zachować zgodność z odpowiednim oznaczeniem na płytce. W dalszej części książki stosuję taką samą taktykę — *przyp. tłum.*

wartości, gdy filtr nie działa jak należy, gdyż szum elektryczny przycisku nie zawsze jest taki sam. Matematyczny wzór na obliczanie parametrów filtra RC szczegółowo wyjaśnia Jack Ganssle w raporcie *A guide to debouncing*.

Uwzględniliśmy w tej sekcji filtr RC na wypadek, gdyby metoda programistyczna okazała się w Twoim przypadku nieskuteczna. W następnej sekcji wyjaśniamy, jak wykonać debouncing *wyłącznie* softwarowy.

Debouncing softwarowy

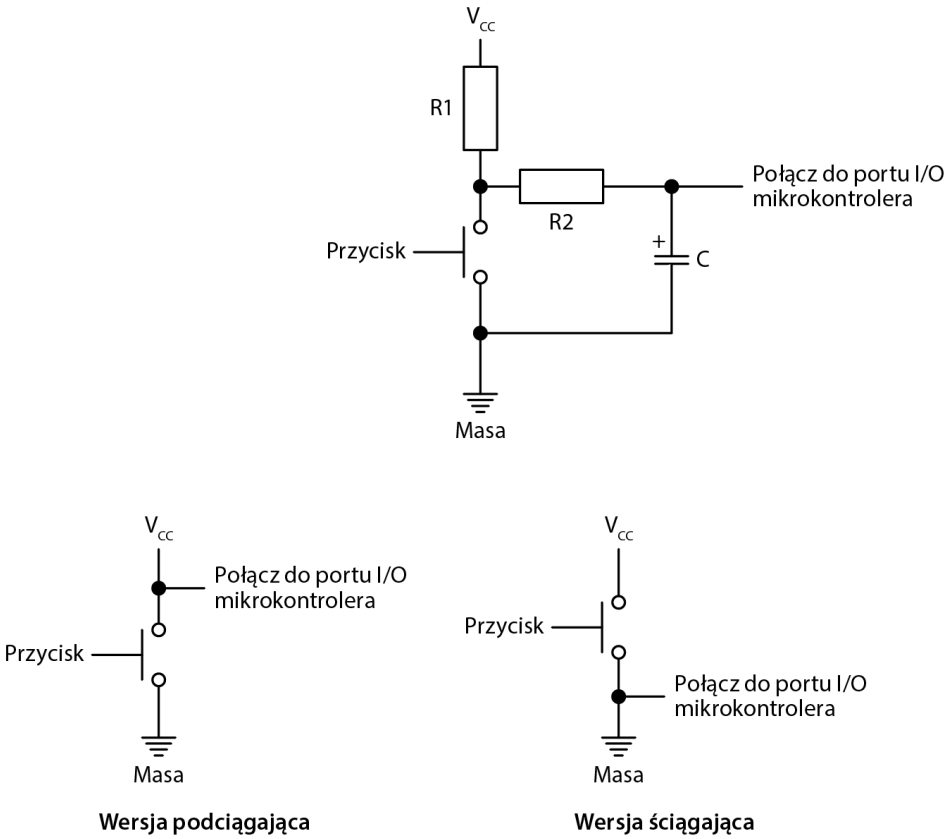
Fałszywe sygnały przycisku możemy też zminimalizować za pomocą kodu. Nasz trik w kodzie polega na tym, że nakażemy ignorowanie sygnałów o bardzo krótkim czasie trwania (w granicach kilkunastu milisekund) tuż po naciśnięciu przycisku podłączonego do naszego obwodu. Poniższy schemat (rysunek 3.3) ilustruje sposób podłączenia przycisku bezpośrednio do portu I/O mikrokontrolera, gdy debouncing jest dokonywany softwarowo.



Rysunek 3.3. Przycisk podłączony do portu I/O mikrokontrolera z rezystorem ściągającym

Powyższy schemat zawiera rezystor ściągający (**R**), który, gdy przycisk nie jest wciśnięty, wymusza obecność na wejściu mikrokontrolera zerowego napięcia (logicznego STANU NISKIEGO), gdyż jest podłączony do masy. Typowa oporność tego rezystora to 10 kΩ. Taki rezystor przydaje się, gdy chcemy, żeby na wejściu był stale stan LOW, który zmienia się na HIGH tylko, gdy naciskamy przycisk. Przydaje się to do wywoływania procesów, na przykład włączenia światła w obwodzie. Poniższy schemat (rysunek 3.4) pokazuje natomiast, jak podłączyć do portu mikrokontrolera rezystor podciągający, który wymusza na wejściu obecność napięcia 3,3V (**Vcc**).

Typowa wartość rezystora w powyższym przykładzie to także 10 kΩ.



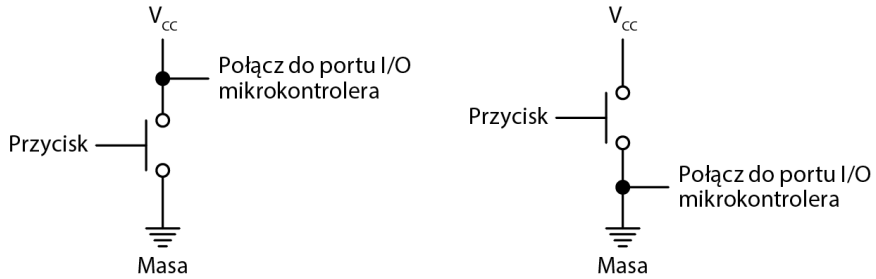
Rysunek 3.4. Przycisk podłączony do portu I/O mikrokontrolera z rezystorem podciągającym

> Musisz podpiąć do portu mikrokontrolera albo rezystor ściągający, albo podciągający, bo gdy nic nie jest podłączone (a tak jest w sytuacji, gdy nie naciskamy przycisku), na porcie pojawi się niezdeterminowane (losowe) napięcie, wynikające z wewnętrznych połączeń w płytce. Takie napięcie nazywamy **pływającym**.

Poprzedni schemat zawiera przycisk normalnie otwarty. Po jego naciśnięciu napięcie wejściowe zmieni się na logiczny stan wysoki (HIGH), czyli 3,3V. Pamiętaj, że to napięcie może wynosić 5V w zależności od używanego mikrokontrolera. **Vcc** i masa są podłączone do płytki z mikrokontrolerem.

Na szczęście wiele mikrokontrolerów zawiera wbudowane rezystory podciągające i ściągające, które są podłączone do portów I/O i można je aktywować programowo. Blue Pill zawiera oba te rodzaje! Oznacza to, że możemy podpiąć przycisk bezpośrednio do portu I/O bez konieczności podłączania zewnętrznego rezystora, musimy jedynie aktywować w kodzie wbudowany rezystor podciągający lub ściągający. Przyspiesza to pracę nad prototypami wymagającymi wielu przycisków, ale nie zawsze jest to rozwiązanie idealne.

Poniższy schemat (rysunek 3.5) przedstawia dwa sposoby podpięcia przycisku bezpośrednio do portu I/O, który jest wyposażony w rezystor ściągający lub podciągający aktywowany softwarowo.



Rysunek 3.5. Przycisk podłączony bezpośrednio do portu I/O

Jak widzisz, w metodzie softwarowej nie ma potrzeby podłączania filtra RC. Sprawdza się ona w większości przypadków i pozwala oszczędzić czas i energię. Powinieneś jednak poeksperymentować i sprawdzić obie metody, jeśli nie potrafisz zniwelować szumu.

Każda metoda debouncingu ma swoje minusy. Metoda sprzętowa wymaga użycia z przyciskiem dodatkowych elementów elektronicznych. Te dodatkowe elementy trzeba też *kupić*. Metoda softwarowa, w której korzystamy z wbudowanych w mikrokontroler rezystorów podciągających lub ściągających, nie wymaga do podłączenia przycisku żadnych dodatkowych elementów, ale musimy wydłużyć kod o parę linijek zajmujących się kwestią debouncingu, a te instrukcje zajmą kilka cennych cykli przetworzeniowych mikrokontrolera. Mimo tego zalecamy tę drugą metodę dlatego, że jest łatwa w stosowaniu.

W następnej sekcji pokażemy przykłady podłączenia przycisku do płytek Blue Pill i Curiosity Nano z wykorzystaniem debouncingu softwarowego.

Podłączenie diody do płytki mikrokontrolera z wykorzystaniem wbudowanego rezystora podciągającego

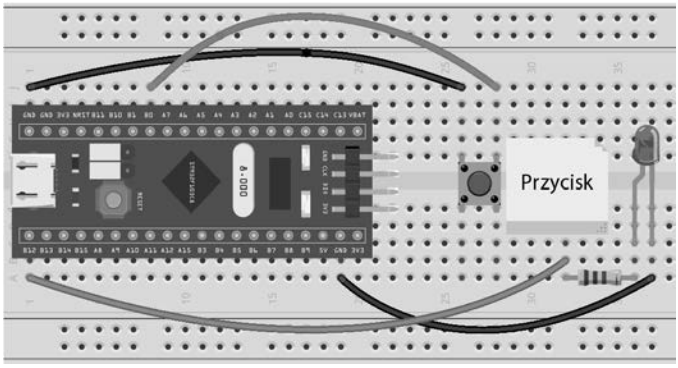
W tej sekcji nauczysz się podłączać przycisk zarówno do płytek Blue Pill, jak i Curiosity Nano. To proste ćwiczenie dla tych mikrokontrolerów demonstruje włączanie i wyłączanie diody LED poprzez podawanie przyciskiem na mikrokontroler logicznego STANU NISKIEGO. Jeśli chcemy w naszym przykładowym obwodzie użyć przycisku, musimy go podłączyć do portu wejściowego mikrokontrolera. Nie możemy zapomnieć o debouncingu, żeby uniknąć niepożądanych efektów.

W poniższej sekcji pokazujemy debouncing przycisku podpiętego do płytki Blue Pill za pomocą kodu. To najprostszy sposób na debouncing przycisku i możesz go wykorzystać w pozostałych rozdziałach tej książki.

Softwarowy debouncing przycisku podłączonego do Blue Pill

W tej sekcji pokażemy schemat połączeń, a następnie zdjęcie tych połączeń. Przyjrzymy się także kodowi, który demonstruje softwarowy debouncing przycisku.

Poniższy schemat (rysunek 3.6) przedstawia podłączenie przycisku bezpośrednio do portu I/O, który korzysta z wbudowanego rezystora podciągającego. Dioda LED i jej rezystor są podpięte do portu `B12` płytki Blue Pill.



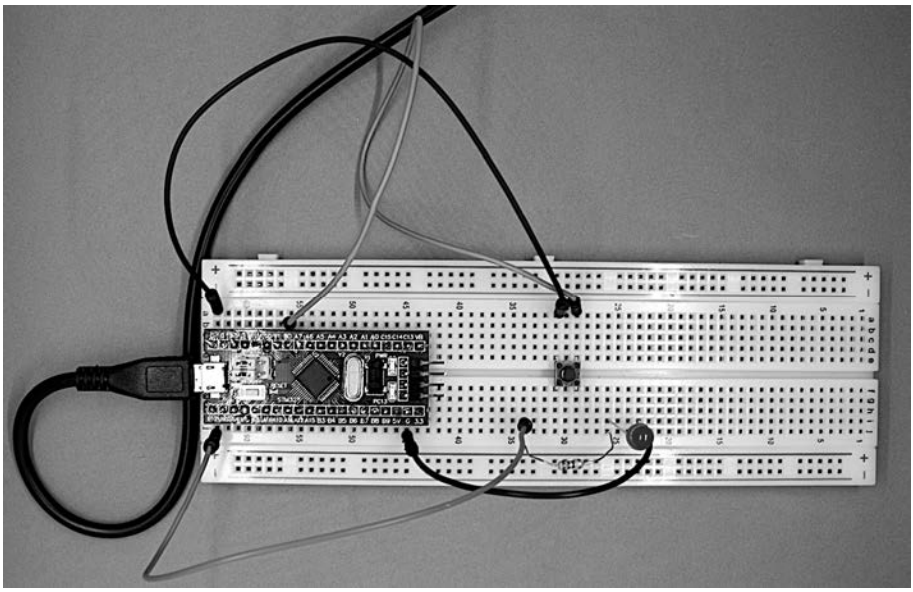
Rysunek 3.6. Podpięcie przycisku do płytki Blue Pill z wykorzystaniem jej wbudowanego rezystora podciągającego

Jak się przekonasz, dioda zaświeci się lub zgaśnie po każdym naciśnięciu przycisku.

Zwróć uwagę, że przycisk jest umieszczony na środku płytki prototypowej, na prawo od mikrokontrolera. Wykonaj poniższe kroki, żeby podłączyć go i diodę do płytki Blue Pill jak na powyższym schemacie:

1. Włóż płytkę Blue Pill do płytki prototypowej.
2. Włóż przycisk do płytki prototypowej i podłącz przewodem Arduino jeden z pinów do pinu uziemiającego płytki Blue Pill.
3. Podłącz przewodem Arduino drugi pin przycisku do portu `B0` płytki Blue Pill.
4. Włóż do płytki prototypowej rezystor 220 Ω i przewodem Arduino podłącz jedną z jego nóżek do portu `B12` płytki Blue Pill.
5. Włóż do płytki prototypowej diodę LED, aby anoda była połączona z drugą nóżką rezystora.
6. Podłącz przewodem Arduino katodę diody do pinu uziemiającego płytki Blue Pill.

Rysunek 3.7 pokazuje podłączenie przycisku do Blue Pill jak na wcześniejszym schemacie.



Rysunek 3.7. Podłączenie przycisku do płytki Blue Pill za pomocą przewodów Arduino

Jak widzisz, płytka Blue Pill ma porty uziemiające zarówno w górnym, jak i w dolnym rzędzie pinów. To ułatwia podłączanie komponentów.

Pamiętaj, że musisz podłączyć do płytki Blue Pill interfejs ST-Link/V2, żeby wgrać na nią kod za pomocą programu Arduino IDE, jak wyjaśniliśmy w rozdziale pierwszym.

Poniższy kod demonstruje softwarowy debouncing przycisku w mikrokontrolerze Blue Pill. Kod znajdziesz w repozytorium tej książki w serwisie GitHub wraz z dołączonymi komentarzami. Plik nosi nazwę *internal_pullup_debounce_Blue_Pill.ino*.

```
#define PinLED PB12
#define Pinprzycisku PB0
void setup() {
  pinMode(PinLED, OUTPUT);
  pinMode(Pinprzycisku, INPUT_PULLUP);
}
int odczyt_przycisku;
int stanLED = HIGH;
int stanprzycisku;
int ostatnistanprzycisku = LOW;
unsigned long ostatniczasdebouncingu = 0;
unsigned long opoznieniedebouncingu = 50;

void loop() {

odczyt_przycisku=digitalRead(Pinprzycisku);
```

```
if (odczyt_przycisku!= ostatnistanprzycisku) {
    ostatniczasdebouncingu = millis();
}
if ((millis() - ostatniczasdebouncingu) > opoznieniedebouncingu) {
    if (odczyt_przycisku!=stanprzycisku) {
      stanprzycisku = odczyt_przycisku;
      if (stanprzycisku == HIGH) {
        stanLED = !stanLED;
      }
    }
  }
digitalWrite(PinLED, stanLED);
ostatnistanprzycisku = odczyt_przycisku;
}
```

Powyższy kod odczekuje 50 milisekund po naciśnięciu przycisku i dopiero wtedy zmienia stan LED. Ta wartość jest eksperymentalna, więc zmień ją, jeśli Twój przycisk zachowuje się niewłaściwie.

> W środowisku Arduino IDE porty I/O płytki Blue Pill oznacza się literą P. Na przykład port B12 to `PB12`. Prócz tego etykiety portów (nazwy) muszą być wpisywane wielkimi literami.

Jak widać, powyższy kod nieprzerwanie odczytuje port `B0` płytki Blue Pill. Po naciśnięciu przycisku port zostaje zwarty do masy. Wtedy port wyjściowy `B12` wysyła logiczny stan wysoki (HIGH) i podłączona do tego portu dioda LED się zapala. Zanim naciśniesz przycisk, port `B12` wysyła logiczny stan niski (LOW).

> Niemal identycznie wygląda softwarowy debouncing przycisku w mikrokontrolerach Arduino. Opisana przez nas w tym rozdziale metoda bazuje nawet na metodzie dla płytek Arduino opisanej pod adresem:
>
> *https://www.arduino.cc/en/Tutorial/BuiltInExamples/Debounce*.

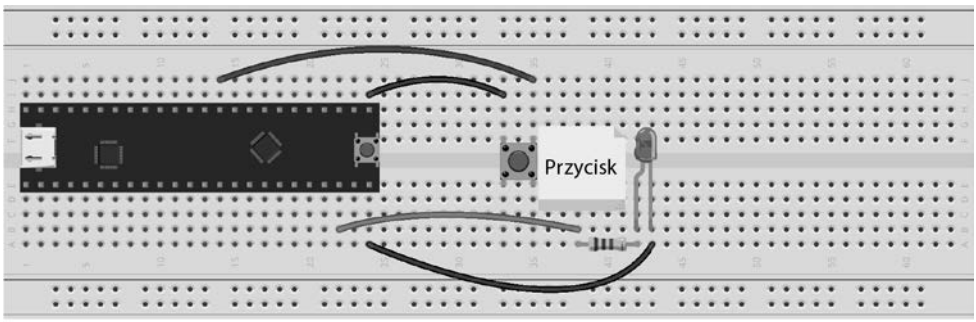
Jeśli Twoja dioda zapala się i gaśnie po naciśnięciu przycisku, gratulacje! Zwróć uwagę na to, jak mikrokontroler reaguje na naciśnięcie przycisku. Jeśli po naciśnięciu przycisku dioda kilka razy zachowa się niewłaściwie, spróbuj zmienić wartości rezystora lub kondensatora w przypadku debouncingu RC lub zmień wyrażone w milisekundach opóźnienie w przypadku debouncingu softwarowego.

W następnej sekcji opisujemy debouncing softwarowy przycisku podłączonego do płytki Curiosity Nano.

Włączanie i wyłączanie diody przyciskiem podłączonym do płytki Curiosity Nano

W tej sekcji dokonamy debouncingu softwarowego polegającego na odczekaniu zadanej liczby milisekund po naciśnięciu przycisku na mikrokontrolerze Curiosity Nano. Użyjemy do tego funkcji `__delay_ms()`. Pamiętaj, że przed tą funkcją trzeba wpisać dwa podkreślenia (__).

Poniższy schemat (rysunek 3.8) przedstawia podłączenie przycisku do płytki Curiosity Nano.



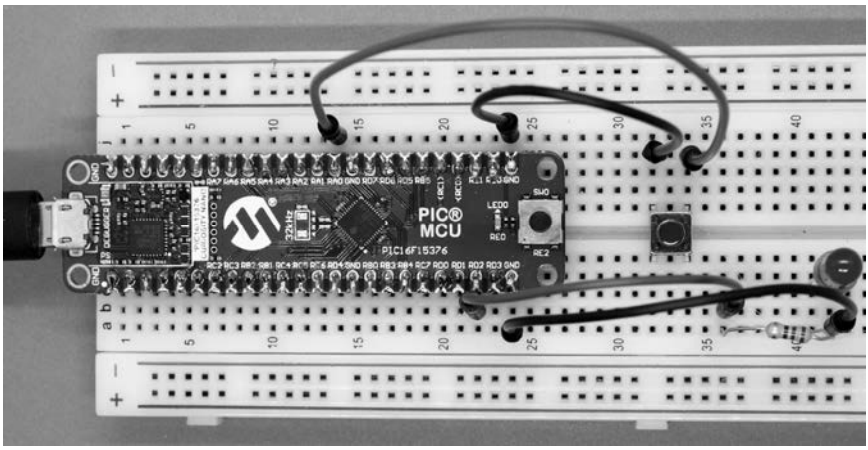
Rysunek 3.8. Przycisk podłączony bezpośrednio do płytki Curiosity Nano

Zwróć uwagę, że przycisk jest włożony na środku płytki po prawej stronie od mikrokontrolera.

Aby dokonać podłączenia zgodnie z powyższym schematem, wykonaj następujące kroki:

1. Włóż płytkę Curiosity Nano do płytki prototypowej.
2. Włóż przycisk do płytki prototypowej i podłącz przewodem Arduino jeden z jego pinów do pinu płytki Curiosity Nano.
3. Przewodem Arduino podłącz drugi pin przycisku do portu `RA0` płytki Curiosity Nano.
4. Włóż do płytki prototypowej rezystor 220 Ω i przewodem Arduino połącz jedną z jego nóżek z portem `RD2` płytki Curiosity Nano.
5. Włóż do płytki prototypowej diodę LED tak, by jej anoda była połączona z drugą nóżką rezystora.
6. Przewodem Arduino połącz katodę diody z pinem uziemiającym płytki Curiosity Nano.

Na rysunku 3.9 pokazaliśmy, jak to wygląda po połączeniu.



Rysunek 3.9. Płytka Curiosity Nano z podłączonym przyciskiem

Na powyższym zdjęciu widać, że płytka Curiosity Nano ma pin uziemiający (GND) zarówno w górnym, jak i w dolnym rzędzie pinów. To ułatwia nam podłączenie elementów w obwodzie.

Stworzyliśmy projekt dla środowiska MPLAB X IDE, który znajdziesz w repozytorium tej książki w serwisie GitHub. Projekt zawiera komentarze wyjaśniające poszczególne linie kodu. Aby otworzyć go w środowisku MPLAB X IDE, musisz go najpierw rozpakować. Plik nazywa się *16F15376_Curiosity_Nano_pushbutton.X.zip*.

Poniższy kod z tego projektu demonstruje sposób realizacji debouncingu softwarowego.

```
#include <xc.h>
#include <stdio.h>
#include "mcc_generated_files/mcc.h"
int odczyt_przycisku=0;
void main(void)
{
    SYSTEM_Initialize();
    IO_RD2_SetDigitalOutput();
    IO_RA0_SetDigitalInput();
    IO_RA0_SetPullup();
    IO_RD2_SetLow();
    while (1)
    {
        odczyt_przycisku=IO_RA0_GetValue();
        __delay_ms(100);
        odczyt_przycisku=IO_RA0_GetValue();
        if (odczyt_przycisku==LOW){
            IO_RD2_Toggle();
        }
    }
}
```

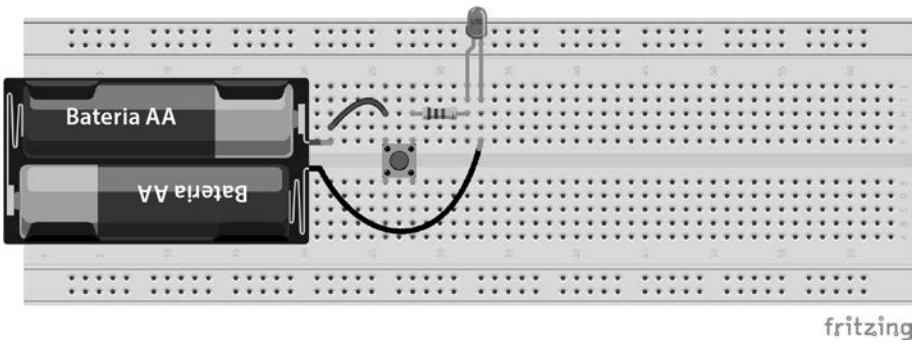
Powyższy kod odczytuje stan przycisku i odczekuje 100 milisekund, po czym odczytuje ponownie, aby sprawdzić, czy przycisk jest nadal wciśnięty. Znaleźliśmy tę wartość eksperymentalnie i zdaje się sprawdzać w większości przypadków. Pamiętaj, że może zajść konieczność jej zmodyfikowania w zależności od zachowania Twojego przycisku w obwodzie.

To podejście jest nieco inne niż zastosowane na płytce Blue Pill. Zaprogramowaliśmy czas odczekania, żeby zignorować szumy elektryczne, jakie mogą się wtedy pojawić. Jeśli dioda zapala się i gaśnie, gdy naciskasz przycisk, gratulacje! Potrafisz podłączyć i zaprogramować przycisk w obwodzie elektrycznym z mikrokontrolerem. Pamiętaj, że taki przycisk może służyć do inicjacji procesu lub aktywności w mikrokontrolerze.

W następnej sekcji wyjaśniamy, jak sprawdzić poprawność działania przycisku oraz czy mamy do czynienia z przyciskiem normalnie otwartym czy normalnie zamkniętym.

Testowanie przycisku

W tej sekcji skupimy się na testowaniu przycisku. Zanim podłączysz go do mikrokontrolera, dobrze jest sprawdzić poprawność mechanicznego działania. Ten test pozwala także ustalić, czy Twój przycisk jest normalnie zamknięty, czy normalnie otwarty. Rysunek 3.10 pokazuje, jak połączyć wszystkie komponenty potrzebne do wykonania testu.



Rysunek 3.10. Podłączenie przycisku do diody i koszyka z bateriami

Jak widać, do sprawdzenia przycisku nie potrzebujemy mikrokontrolera. Aby połączyć wszystkie potrzebne elementy i przetestować przycisk, wykonaj poniższe kroki:

1. Podłącz plus koszyka z bateriami do jednej z nóżek przycisku.
2. Drugą nóżkę przycisku połącz z nóżką rezystora 220 Ω.
3. Połącz rezystor z anodą diody LED.
4. Połącz katodę diody z minusem koszyka z bateriami. Uważaj przy podłączaniu diody, bo wpięta na odwrót się nie zaświeci.

5. Po podłączeniu wszystkiego sprawdź, czy dioda świeci się bez naciskania przycisku. Jeśli tak, masz przycisk normalnie zamknięty. W takiej sytuacji po naciśnięciu przycisku powinna zgasnąć. Jeśli natomiast zapala się dopiero po naciśnięciu, to masz przycisk normalnie otwarty.
6. Naciśnij przycisk kilka razy. Jeśli dioda będzie się zachowywać niewłaściwie lub w ogóle się nie zapali, przycisk może być uszkodzony i wymagać będzie zastąpienia nowym albo baterie dają niewystarczające napięcie.

Podłączenie przycisku do diody i baterii powinno wystarczyć do sprawdzenia, czy przycisk jest sprawny.

Podsumowanie

W tym rozdziale dowiedzieliśmy się, jak działa przycisk i jak możemy zredukować problem szumu elektrycznego generowanego przez wiele przycisków za pomocą debouncingu. Można go zrealizować albo sprzętowo, albo softwarowo. Zwróciliśmy uwagę na istotność przycisków w wielu projektach elektronicznych wymagających interwencji człowieka — na przykład gdy chcemy manualnie zrestartować mikrokontroler, naciskając wbudowany przycisk. Umiejętność wykorzystywania przycisków w obwodach elektronicznych z mikrokontrolerami jest istotna, gdyż programujemy interakcję użytkownika, żeby umożliwić mu wszczynanie jakiegoś procesu na płytce mikrokontrolera.

W następnym rozdziale skupimy się na podłączeniu fotorezystora (czujnika mierzącego ilość światła w otoczeniu).

Dalsza lektura

- Ganssle J. G., *A guide to debouncing*, raport techniczny, The Ganssle Group, Baltimore, MD 2008.
- Gay W., *Beginning STM32: Developing with FreeRTOS, libopencm3, and GCC*, Apress, St. Catharines 2018.
- Horowitz P., Hill W., *The Art of Electronics*, [wyd. 3.], New York NY, Cambridge University Press 2015. Polskie tłumaczenie: Horowitz P., Hill W., *Sztuka elektroniki*, cz.1 i cz.2, tłum. Grażyna Kalinowska, Bogusław Kalinowski, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2018.
- Microchip, *PIC16F15376 Curiosity Nano Hardware User Guide*, Microchip Technology, Inc., 2019, dostępne pod adresem: *http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/50002900B.pdf*.
- Mims F.M., *Getting Started in Electronics*, Master Publishing, Inc, Lincolnwood, IL 2000.

- Ostapiuk R., Tay I., *Fundamentals of the C programming language*, Microchip Technology, Inc., 2020, dostępne pod adresem: *https://microchipdeveloper.com/tls2101:start*.
- Ward H.H., *C programming for the PIC microcontroller*, Apress, Nowy Jork, NY 2020.

Mikrokontrolery są nieodłącznymi elementami setek przedmiotów: urządzeń RTV i AGD, maszyn, narzędzi, a nawet zabawek. Umożliwiają sterowanie ich działaniem i pozwalają na wykonanie określonych czynności. Umiejętność programowania mikrokontrolerów jest wysoce pożądana na rynku pracy i daje szerokie perspektywy zawodowe, a nauczyć się jej można dzięki tej książce. Ten wyjątkowo przystępny podręcznik przybliża od podstaw programowanie mikrokontrolerów i wprowadza w arkana elektroniki cyfrowej. Można go polecić zarówno doświadczonym programistom i robotykom, jak i początkującym hobbystom, którzy chcą się dowiedzieć, jak stosować języki C i C++ w programowaniu mikrokontrolera.

To przewodnik po standardach STM32 i PIC, które należą do najpopularniejszych i najczęściej używanych. Zawiera wiele czytelnych objaśnień, przykładów i gotowych programów. Autorzy przystępnie tłumaczą, jak pisać aplikacje sterujące mikrokontrolerami, a następnie prawidłowo je programować za pomocą narzędzi, które także zostały tu dokładnie omówione.

Dzięki książce:

- przyswoisz podstawową wiedzę na temat elektroniki cyfrowej
- przygotujesz środowisko i narzędzia niezbędne do programowania mikrokontrolerów
- nauczysz się używać w tym celu języków C i C++
- dowiesz się, jak stworzyć prosty program do sterowania mikrokontrolerem

Miguel Angel Garcia-Ruiz — profesor Algoma University w Kanadzie, specjalizuje się w robotyce i programowaniu mikrokontrolerów, jest autorem licznych prac naukowych opisujących ich zastosowanie. Tytuł doktora uzyskał na Sussex University w Anglii w ramach specjalizacji *computer science and artificial intelligence*.

Pedro Cesar Santana Mancilla — profesor Universidad de Colima w Meksyku, aktualnie CEO Asociación Mexicana de Interacción Humano Computadora (AMexIHC) i członek zarządu Mexicano de ACM SIGCHI (CHI-México). Specjalista w zakresie technologii informacyjno-komunikacyjnych, internetu rzeczy i programowania mikrokontrolerów.

Helion

helion.pl

HELION SA
ul. Kościuszki 1c
44-100 Gliwice
tel.: 32 230 98 63
helion@helion.pl

KOD KORZYŚCI
Sięgnij po więcej!

ISBN 978-83-283-8947-2

Cena: 69,00 zł

Packt>