

Spis treści

Od Autora	10
1. Wprowadzenie.....	11
1.1. Wstęp.....	12
1.1.1. Mikrokontrolery rodziny ARM	14
1.2. Architektura rdzenia ARM Cortex-M3	16
1.2.1. Najważniejsze cechy architektury Cortex-M3.....	16
1.2.2. Rejestry i organizacja pamięci	18
1.2.3. Podstawowe elementy rdzenia	21
1.3. Mikrokontrolery STM32F10x.....	22
2. Programowanie mikrokontrolerów.....	25
2.1. Języki programowania.....	26
2.2. Zapis binarny i heksadecymalny liczb.....	28
2.2.1. Konwersja między zapisami decymalnym i binarnym	29
2.2.2. Konwersja między zapisami binarnym i heksadecymalnym	30
2.3. Język C – krótkie przypomnienie	31
2.3.1. Podstawowe typy zmiennych i ich zakresy	31
2.3.2. Zmienne tablicowe i strukturalne	32
2.3.3. Zmienne wskaźnikowe.....	33
2.3.4. Deklaracje stałych	34
2.3.5. Zmienne ulotne	34
2.3.6. Operacje logiczne i bitowe	34
2.3.7. Funkcje i makrodefinicje.....	37
3. Sprzęt i oprogramowanie.....	39
3.1. Wprowadzenie.....	40
3.2. Niezbędne elementy sprzętowe	41
3.2.1. Zestaw uruchomieniowy ZL27ARM	41
3.2.2. Programator.....	44
3.3. Moduły rozszerzeń	46
3.4. Inne przydatne elementy sprzętowe	47
3.5. Oprogramowanie narzędziowe	47
3.5.1. Środowisko programowania	48
3.5.2. Narzędzie wspomagające konfigurację mikrokontrolera – STM32 CubeMX	48
3.5.3. Programy dodatkowe	49
3.6. Biblioteka STM HAL	52
3.7. Niezbędna dokumentacja.....	56
3.8. Przygotowanie środowiska pracy	57

4. Praca z projektem	59
4.1. Etapy programowania mikrokontrolera	60
4.2. Uruchomienie mikrokontrolera	61
4.3. Ćwiczenie 1. Pierwszy program – „Migające diody”, tworzenie i edycja projektu	65
4.3.1. Wprowadzenie	65
4.3.2. Ćwiczenie 1a. Rozpoczęcie pracy z projektem w <i>STM32 CubeIDE</i> i konfiguracja mikrokontrolera w <i>STM32 CubeMX</i>	65
4.3.3. Ćwiczenie 1b. Struktura projektu i kodu źródłowego programu w <i>STM32 CubeIDE</i>	79
4.3.4. Ćwiczenie 1c. Kod źródłowy programu	84
4.3.5. Ćwiczenie 1d. Kompilacja i uruchomienie programu	85
4.3.6. Ćwiczenie 1e. Śledzenie działania programu	89
4.3.7. Ćwiczenie 1f. Sugestie i uwagi dodatkowe	93
5. Porty GPIO	103
5.1. Uniwersalne porty wejścia-wyjścia	104
5.2. Ćwiczenie 2. Porty GPIO – Wejścia i wyjścia	112
5.2.1. Wprowadzenie	112
5.2.2. Ćwiczenie 2a. Przyciski i diody	112
5.2.3. Ćwiczenie 2b. Przyciski, joystick i diody	113
5.3. Ćwiczenie 3. Porty GPIO – wyjścia i bezpośrednie operacje na rejestrach	114
5.3.1. Wprowadzenie	114
5.3.2. Ćwiczenie 3a. „Diody biegnące w lewo”	114
5.3.3. Ćwiczenie 3b. „Diody biegnące w lewo i prawo”	116
5.4. Obsługa alfanumerycznego wyświetlacza LCD 1602	116
5.5. Ćwiczenie 4. Porty GPIO i LCD	122
5.5.1. Wprowadzenie	122
5.5.2. Ćwiczenie 4. „Odliczanie”	122
5.6. Ćwiczenie 5. Porty GPIO i LCD	124
5.6.1. Wprowadzenie	124
5.6.2. Ćwiczenie 5a. „Menu”	125
5.6.3. Ćwiczenie 5b. Własne znaki na LCD	128
5.7. Ćwiczenie 6. Porty GPIO i LCD	129
5.7.1. Wprowadzenie	129
5.7.2. Ćwiczenie 6. „Edytor”	129
5.8. Klawiatura – moduł KAmoKB4×4	131
5.9. Ćwiczenie 7. GPIO, LCD i klawiatura KAmoKB4×4	132
5.9.1. Wprowadzenie	132
5.9.2. Ćwiczenie 7a. Tworzenie biblioteki obsługi modułu dodatkowego	133
5.9.3. Ćwiczenie 7b. Obsługa klawiatury	137

6. Kontroler przerwań NVIC, licznik systemowy SysTick	139
6.1. System przerwań w ARM Cortex-M3	140
6.2. Sposoby odliczania czasu w programie	147
6.2.1. Licznik SysTick	148
6.2.2. Funkcja HAL_Delay()	150
6.3. Ćwiczenie 8. Przerwania i licznik SysTick	152
6.3.1. Wprowadzenie	152
6.3.2. Ćwiczenie 8a. SysTick	152
6.3.3. Ćwiczenie 8b. SysTick i przerwanie zewnętrzne	154
6.3.4. Ćwiczenie 8c. SysTick i 2 przerwania zewnętrzne	155
6.3.5. Ćwiczenie 8d. SysTick i 3 przerwania zewnętrzne	157
7. Zegar czasu rzeczywistego RTC	159
7.1. Zegar czasu rzeczywistego (RTC)	160
7.2. Ćwiczenie 9. Zegar czasu rzeczywistego (RTC)	162
7.2.1. Wprowadzenie	162
7.2.2. Ćwiczenie 9a. „Migająca dioda”	163
7.2.3. Ćwiczenie 9b. Czas od uruchomienia systemu podany jako h:mm:ss	164
7.2.4. Ćwiczenie 9c. Aktualna data i godzina	166
8. Liczniki uniwersalne	167
8.1. Liczniki uniwersalne	168
8.1.1. Budowa i podstawowe tryby pracy	168
8.1.2. Zewnętrzne taktowanie liczników i łączenie kaskadowe	174
8.1.3. Generowanie sygnału PWM	176
8.1.4. Pomiar parametrów sygnału PWM	177
8.1.5. Współpraca z enkoderem	179
8.2. Ćwiczenie 10. Liczniki uniwersalne – podstawowa obsługa	180
8.2.1. Wprowadzenie	180
8.2.2. Ćwiczenie 10a. Dioda sterowana licznikiem	180
8.2.3. Ćwiczenie 10b. Dwie diody sterowane licznikiem	183
8.2.4. Ćwiczenie 10c. Cztery diody sterowane licznikami	185
8.2.5. Ćwiczenie 10d. Pięć diod sterowanych licznikami	187
8.3. Ćwiczenie 11. Liczniki – generowanie czterech przebiegów	188
8.3.1. Wprowadzenie	188
8.3.2. Ćwiczenie 11. Cztery diody sterowane różnymi częstotliwościami	188
8.4. Ćwiczenie 12. Zliczanie zdarzeń zewnętrznych z użyciem licznika	191
8.4.1. Wprowadzenie	191
8.4.2. Ćwiczenie 12. Zliczanie przycisków	191
8.5. Ćwiczenie 13. Jednorazowe odliczanie czasu	193
8.5.1. Wprowadzenie	193
8.5.2. Ćwiczenie 13. Jednorazowe odliczanie czasu	193

8.6.	Ćwiczenie 14. Generowanie i pomiar parametrów sygnału PWM	195
8.6.1.	Wprowadzenie	195
8.6.2.	Ćwiczenie 14a. Trzy diody o różnej jasności	195
8.6.3.	Ćwiczenie 14b. Sterowanie jasnością diody	196
8.6.4.	Ćwiczenie 14c. Obserwacje sygnału PWM	198
8.6.5.	Ćwiczenie 14d. Pomiar parametrów sygnału PWM.....	198
8.7.	Enkoder kwadraturowy – moduł PmodENC	201
8.8.	Ćwiczenie 15. Obsługa enkodera	202
8.8.1.	Wprowadzenie	202
8.8.2.	Ćwiczenie 15. Obsługa enkodera	202
9.	Układy czuwające Watchdog i rejestry chronione Backup Domain.....	205
9.1.	Układy czuwające <i>Watchdog</i>	206
9.2.	Zerowanie mikrokontrolera i rejestry chronione <i>Backup Domain</i>	210
9.3.	Ćwiczenie 16. Niezależny układ czuwający i rejestry chronione.....	212
9.3.1.	Wprowadzenie	212
9.3.2.	Ćwiczenie 16a. Niezależny układ czuwający	212
9.3.3.	Ćwiczenie 16b. Niezależny układ czuwający i rejestry chronione.....	214
10.	Mechanizm DMA	217
10.1.	Bezpośredni dostęp do pamięci – DMA.....	218
10.2.	Ćwiczenie 17. Sterowanie podświetleniem LCD z wykorzystaniem PWM i DMA	222
10.2.1.	Wprowadzenie	222
10.2.2.	Ćwiczenie 17. Sterowanie podświetleniem LCD z wykorzystaniem PWM i DMA	222
11.	Przetworniki A/C.....	227
11.1.	Przetworniki A/C i układ monitorowania napięcia	228
11.2.	Wewnętrzny czujnik temperatury	237
11.3.	Ćwiczenie 18. Przetwornik A/C	238
11.3.1.	Wprowadzenie	238
11.3.2.	Ćwiczenie 18a. ADC – pomiar jednokrotny	238
11.3.3.	Ćwiczenie 18b. ADC – pomiar ciągły.....	242
11.3.4.	Ćwiczenie 18c. ADC i DMA – pomiar dwóch kanałów	242
11.3.5.	Ćwiczenie 18d. ADC, DMA i układ monitorowania napięcia – pomiar dwóch kanałów i alarm przekroczenia wartości	245
11.3.6.	Ćwiczenie 18e. ADC, DMA i układ monitorowania napięcia – pomiar dwóch kanałów wyzwalany licznikiem	246
11.4.	Ćwiczenie 19. Kanały wstrzykiwane przetwornika A/C.....	248
11.4.1.	Wprowadzenie	248
11.4.2.	Ćwiczenie 19. ADC – kanały podstawowe i wstrzykiwane.....	248

11.5. Ćwiczenie 20. Dwa przetworniki A/C	251
11.5.1. Wprowadzenie	251
11.5.2. Ćwiczenie 20a. Dwa ADC – synchroniczny pomiar dwóch kanałów	251
11.5.3. Ćwiczenie 20b. Dwa ADC – dwa kanały i linijka diodowa	253
12. Układ USART	255
12.1. Interfejs RS-232	256
12.1.1. RS-232C w komputerze PC	261
12.2. Program <i>Termite</i>	262
12.3. Ćwiczenie 21. RS-232C	263
12.3.1. Wprowadzenie	263
12.3.2. Ćwiczenie 21. RS-232C – transmisja pojedynczych bajtów	264
12.4. Ćwiczenie 22. RS-232C i przerwania	267
12.4.1. Wprowadzenie	267
12.4.2. Ćwiczenie 22a. RS-232C – transmisja danych z wykorzystaniem przerwań. Odbiór danych z PC	268
12.4.3. Ćwiczenie 22b. RS-232C – dwukierunkowa transmisja danych z wykorzystaniem przerwań	271
12.5. Układ komunikacji bezprzewodowej Bluetooth – moduł Pmod BLE	273
12.5.1. Przygotowanie połączenia z modulem Pmod BLE	276
12.6. Ćwiczenie 23. RS-232C i Pmod BLE	278
12.6.1. Wprowadzenie	278
12.6.2. Ćwiczenie 23a. RS-232C i Pmod BLE – kod źródłowy programu	278
12.6.3. Ćwiczenie 23b. RS-232C i Pmod BLE – komunikacja z PC – <i>emulacja RS-232</i>	280
12.6.4. Ćwiczenie 23c. RS-232C i Pmod BLE – komunikacja z PC z systemem Windows 10 – bezpośrednie połączenie BTLE	282
12.6.5. Ćwiczenie 23d. RS-232C i Pmod BLE – komunikacja z telefonem z systemem Android – bezpośrednie połączenie BTLE	283
13. Interfejs USB	285
13.1. Interfejs USB	286
13.2. Ćwiczenie 24. USB – urządzenie klasy CDC	291
13.2.1. Wprowadzenie	291
13.2.2. Ćwiczenie 24a. USB – urządzenie klasy CDC – emulacja portu szeregowego	291
13.2.3. Ćwiczenie 24b. USB – urządzenie klasy CDC – emulacja portu szeregowego i bufor odbiorczy FIFO	298
14. Interfejs I²C	301
14.1. Interfejs I ² C	302
14.2. Akcelerometr STM LIS35DE – moduł KAmoMEMS2	308

14.3. Ćwiczenie 25. I ² C – akcelerometr KAmoMEMS2	312
14.3.1. Wprowadzenie	312
14.3.2. Ćwiczenie 25a. Akcelerometr I ² C	313
14.3.3. Ćwiczenie 25b. Akcelerometr I ² C – wykrywanie uderzeń	317
14.4. Barometr STM LPS25HB – moduł KAmoLPS25HB	318
14.5. Ćwiczenie 26. I ² C – barometr KAmoLPS25HB	326
14.5.1. Wprowadzenie	326
14.5.2. Ćwiczenie 26. Barometr I ² C	326
15. Interfejs SPI	331
15.1. Interfejs SPI	332
15.2. Termometr cyfrowy Microchip TC77	337
15.3. Ćwiczenie 27. SPI – termometr Microchip TC77	338
15.3.1. Wprowadzenie	338
15.3.2. Ćwiczenie 27. Termometr SPI – transmisja jednokierunkowa	339
15.4. Akcelerometr STM LIS35DE – moduł KAmoMEMS2	341
15.5. Ćwiczenie 28. SPI – akcelerometr KAmoMEMS2	346
15.5.1. Wprowadzenie	346
15.5.2. Ćwiczenie 28. Akcelerometr SPI	346
15.6. Barometr STM LPS25HB – moduł KAmoLPS25HB	348
15.7. Ćwiczenie 29. SPI – barometr KAmoLPS25HB	354
15.7.1. Wprowadzenie	354
15.7.2. Ćwiczenie 29a. Barometr SPI – SPI 4-przewodowe	355
15.7.3. Ćwiczenie 29b. Barometr SPI – SPI 3-przewodowe	356
16. Obsługa kart SD	357
16.1. Obsługa kart SD i SDHC z wykorzystaniem biblioteki <i>FatFs</i>	358
16.2. Ćwiczenie 30. Karta SD – odczyt danych z pliku	366
16.2.1. Wprowadzenie	366
16.2.2. Ćwiczenie 30. Odczyt danych z pliku na karcie SD	366
16.3. Ćwiczenie 31. Karta SD – zapis danych do pliku – prosty rejestrator danych	372
16.3.1. Wprowadzenie	372
16.3.2. Ćwiczenie 31. Zapis danych do pliku na karcie SD	372
17. Obsługa wyświetlaczy graficznych	381
17.1. Wyświetlacz OLED ze sterownikiem Solmon Systech SSD1331 – moduł Waveshare 0,95"	382
17.2. Ćwiczenie 32. Wyświetlacz graficzny Waveshare OLED 0,95" – SSD1331	391
17.2.1. Wprowadzenie	391
17.2.2. Ćwiczenie 32. Demonstracja możliwości wyświetlacza	391

17.3. Wyświetlacz LCD ze sterownikiem Sitronix ST7735S – moduł
Waveshare 1,80"396

17.4. Ćwiczenie 33. Wyświetlacz graficzny Waveshare LCD 1,80" – ST7735S404

17.4.1. Wprowadzenie 404

17.4.2. Ćwiczenie 33. Demonstracja możliwości wyświetlacza..... 405

18. Cyfrowe przetwarzanie sygnałów..... 413

18.1. Przetwarzanie sygnałów w mikrokontrolerach STM32
z wykorzystaniem CMSIS414

18.2. Ćwiczenie 34. Widmo amplitudowe sygnału416

18.2.1. Wprowadzenie 416

18.2.2. Ćwiczenie 34a. Widmo amplitudowe sygnału – pomiar sygnału..... 417

18.2.3. Ćwiczenie 34b. Widmo amplitudowe sygnału w postaci próbek..... 421

18.2.4. Ćwiczenie 34c. Widmo amplitudowe sygnału w postaci graficznej..... 425

19. Oszczędzanie energii..... 429

19.1. Tryby oszczędzania energii430

19.2. Ćwiczenie 35. Tryby obniżonego poboru energii.....433

19.2.1. Wprowadzenie 433

19.2.2. Ćwiczenie 35a. Tryb uśpienia 433

19.2.3. Ćwiczenie 35b. Tryb zatrzymania 435

Dodatki..... 437

Dodatek A. Schematy elektryczne zestawu ZL27ARM438

Dodatek B. Schematy blokowy systemu taktującego zastosowanego
w mikrokontrolerach STM32F1441

Dodatek C. Lista funkcji wyprowadzeń procesora STM32F103VB.....442

Dodatek D. Schemat elektryczny modułu KAmoKB4x4.....445

Dodatek E. Schemat elektryczny modułu Pmod ENC.....445

Dodatek F. Schemat elektryczny modułu KAmoLED8.....446

Dodatek G. Schematy elektryczne modułu Pmod BLE.....446

Dodatek H. Schematy elektryczne modułu KAmoMEMS2.....447

Dodatek I. Schematy elektryczne modułu KAmoLPS25HB447

Dodatek J. Schematy elektryczne modułu Waveshare OLED 0.95"448

Dodatek K. Schematy elektryczne modułu Waveshare LED 1.80".....448

Dodatek L. Schematy elektryczne modułu KAmoMIC_Electret.....449

Dodatek Ł. Tabela kodów ASCII450

Literatura452