

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 KAmoKB4x4	131
5.9. Ćwiczenie 7. GPIO, LCD i klawiatura KAmoKB4x4	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 <i>HAL_Delay()</i>	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 przyciśnień.....	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" – ST7735S.....	404
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 CMSIS	414
18.2. Ćwiczenie 34. Widmo amplitudowe sygnału	416
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 energii	430
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 ZL27ARM.....	438
Dodatek B. Schematy blokowy systemu taktującego zastosowanego w mikrokontrolerach STM32F1	441
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 KAmoLPS25HB	447
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 ASCII.....	450
Literatura.....	452