

---

<b>Wstęp</b> .....	10
<b>1. Zagadnienia ogólne</b> .....	11
1.1. Rdzeń AVR.....	12
1.2. Rodzaje pamięci .....	13
1.2.1. Rejestry ogólnego przeznaczenia .....	14
1.2.2. Przestrzeń wejścia-wyjścia.....	15
1.2.3. Wewnętrzna pamięć SRAM .....	15
1.2.4. Stos w pamięci SRAM.....	15
1.2.5. Stos sprzętowy.....	15
1.2.6. Pamięć programu.....	16
1.3. Tryby adresowania .....	16
1.3.1. Pamięć danych, SRAM .....	17
1.3.2. Rejestry robocze .....	18
1.3.3. Przestrzeń wejścia-wyjścia.....	19
1.3.4. Pamięć programu – adresowanie stałych.....	20
1.3.5. Pamięć programu – adresowanie skoków.....	20
1.4. Podstawowe rejestry funkcyjne.....	21
1.4.1. Rejestr statusu – SREG .....	21
1.4.2. Wskaźnik stosu – SPH:SPL .....	23
1.4.3. Rejestry GPIOR (ang. <i>General Purpose I/O Registers</i> ).....	24
1.5. Bity sterujące.....	24
1.5.1. Bity konfiguracyjne (ang. <i>fuse bits</i> ).....	25
1.5.2. Bity zabezpieczające (ang. <i>lock bits</i> ).....	26
1.6. Zegar systemowy.....	26
1.6.1. Wewnętrzny, skalibrowany układ RC .....	26
1.6.2. Pętla fazowa PLL .....	28
1.6.3. Zewnętrzny układ RC.....	28
1.6.4. Rezonator kwarcowy i ceramiczny .....	29
1.6.5. Zewnętrzne źródło sygnału zegarowego.....	30
1.6.6. Zewnętrzne wykorzystanie zegara systemowego .....	30
1.6.7. Preskaler częstotliwości zegarowej.....	30
1.6.8. Czasy startu układu zegarowego.....	31
1.6.9. Kiedy nic nie działa.....	31
1.7. Układy zerujące .....	32
1.7.1. Układ POR .....	32
1.7.2. Zewnętrzne źródło zerujące .....	32
1.7.3. Układ BOD.....	33
1.7.4. Układ WDT .....	34
1.7.5. MCUSR i wszystko wiadomo.....	36
1.7.6. Do trzech razy sztuka.....	37

1.8.	Zarządzanie energią.....	37
1.8.1.	Wstrzymywanie systemu.....	38
1.8.2.	Wstrzymywanie poszczególnych modułów .....	39
1.8.3.	Porady dla szczególnie oszczędnych .....	39
1.9.	System przerwania .....	40
1.9.1.	Aktywność przerwania.....	40
1.9.2.	Priorytety i wektory przerwania.....	40
1.9.3.	Przerwanie inicjalizacyjne.....	41
1.9.4.	Znaczniki przerwania .....	42
1.9.5.	Obsługa przerwania.....	43
1.9.6.	Podprogram obsługujący .....	44
1.10.	Programowa modyfikacja pamięci <i>flash</i> .....	44
1.10.1.	Rejestr sterujący SPMCSR.....	44
1.10.2.	Adresowanie pamięci programu.....	45
1.10.3.	Kasowanie strony pamięci programu.....	46
1.10.4.	Ładowanie bufora tymczasowego.....	46
1.10.5.	Zapis strony pamięci programu.....	47
1.10.6.	Odczyt bitów sterujących.....	47
1.10.7.	Bezpieczeństwo zapisu.....	48
1.11.	Interfejsy programowania i uruchomieniowe .....	48
1.11.1.	Równoległy interfejs programowania .....	49
1.11.2.	Interfejs programowania SPI.....	49
1.11.3.	Interfejs programowania HVS .....	51
1.11.4.	Interfejs <i>debugWire</i> .....	51
<b>2.</b>	<b>Zintegrowane układy peryferyjne.....</b>	<b>53</b>
2.1.	Porty wejścia-wyjścia.....	54
2.1.1.	Dedykowane rejestry funkcyjne.....	54
2.1.2.	Tryb wejściowy .....	55
2.1.3.	Tryb wyjściowy .....	56
2.1.4.	Alternatywne funkcje wyprowadzeń.....	57
2.2.	Moduł przerwania zewnętrznych .....	58
2.2.1.	Typy przerwania zewnętrznych.....	58
2.2.2.	Obsługa przerwania INTn .....	59
2.2.3.	Obsługa przerwania PCIn .....	60
2.3.	Pamięć EEPROM.....	60
2.3.1.	Dedykowane rejestry funkcyjne.....	61
2.3.2.	Zapis pamięci.....	62
2.3.3.	Odczyt pamięci.....	63
2.3.4.	Równomierne zużycie pamięci .....	64
2.3.5.	Możliwe problemy.....	65
2.4.	Układy licznikowe.....	65
2.4.1.	Dedykowane rejestry funkcyjne.....	66
2.4.2.	Mechanizm buforowy.....	67

---

2.4.3.	Źródła impulsów zliczanych .....	68
2.4.4.	PLL i praca asynchroniczna .....	69
2.4.5.	Preskaler częstotliwości.....	70
2.4.6.	Tryb pracy normalnej .....	71
2.4.7.	Porównywanie .....	71
2.4.8.	Przechwytywanie.....	73
2.4.9.	Tryb CTC.....	74
2.4.10.	Szybki tryb PWM.....	75
2.4.11.	Zaawansowane tryby PWM .....	77
2.4.12.	Dodatkowe funkcje PWM.....	78
2.4.13.	Generacja przerw.....	80
2.5.	Moduł USART.....	81
2.5.1.	Informacje podstawowe.....	81
2.5.2.	Ramka transmisyjna .....	82
2.5.3.	Dedykowane rejestry funkcyjne.....	83
2.5.4.	Inicjalizacja i obsługa (tryb asynchroniczny) .....	87
2.5.5.	Tryb synchroniczny .....	89
2.5.6.	Tryb wieloprocesorowy .....	90
2.6.	Moduł USI.....	91
2.6.1.	Interfejs I <sup>2</sup> C – informacje wstępne .....	91
2.6.2.	Interfejs SPI – informacje wstępne .....	96
2.6.3.	Moduł USI – informacje podstawowe .....	98
2.6.4.	Dedykowane rejestry funkcyjne.....	98
2.6.5.	Tryb SPI.....	102
2.6.6.	Tryb I <sup>2</sup> C.....	104
2.7.	Komparator analogowy .....	107
2.7.1.	Budowa i działanie.....	107
2.7.2.	Dedykowane rejestry funkcyjne.....	108
2.8.	Przetwornik A/C (ADC) .....	110
2.8.1.	Informacje podstawowe.....	110
2.8.2.	Część analogowa .....	111
2.8.3.	Dedykowane rejestry funkcyjne.....	113
2.8.4.	Działanie i obsługa modułu.....	117
2.8.5.	Wynik przetwarzania .....	119
2.8.6.	Przeciwdziałanie zakłóceniom .....	120
<b>3.</b>	<b>Asembler AVR.....</b>	<b>123</b>
3.1.	Język symboliczny .....	124
3.1.1.	Translator.....	124
3.1.2.	Składnia .....	124
3.1.3.	Wyrażenia .....	125
3.1.4.	Podstawowe dyrektywy asemblera .....	127
3.1.5.	Definicje .....	129

3.1.6.	Segmenty programu.....	129
3.1.7.	Zmienne w pamięci danych .....	131
3.1.8.	Stałe w pamięci programu i EEPROM.....	131
3.1.9.	Makra.....	132
3.1.10.	Translacja warunkowa.....	133
3.1.11.	Preprocesor .....	135
3.1.12.	Pliki nagłówkowe .....	135
3.2.	Zbiór instrukcji.....	136
3.2.1.	Rejestry robocze: formatowanie [CLR, SER] .....	138
3.2.2.	Rejestry robocze: operacje na bitach [SBR, CBR].....	138
3.2.3.	Rejestry robocze: ładowanie wartością bezpośrednią [LDI] .....	139
3.2.4.	Rejestry robocze: bitowa suma [OR, ORI].....	139
3.2.5.	Rejestry robocze: bitowy iloczyn [AND, ANDI] .....	140
3.2.6.	Rejestry robocze: suma modulo 2 [EOR].....	140
3.2.7.	Rejestry robocze: logiczne przesuwanie [LSL, LSR, ROL, ROR].....	140
3.2.8.	Rejestry robocze: zamiana półbajtów [SWAP].....	141
3.2.9.	Rejestry robocze: zwiększanie i zmniejszanie [INC, DEC].....	142
3.2.10.	Rejestry robocze: arytmetyczne dodawanie [ADD, ADC, ADIW] .....	142
3.2.11.	Rejestry robocze: arytmetyczne odejmowanie [SUB, SUBI, SBC, SBCI, SBIW].....	143
3.2.12.	Rejestry robocze: arytmetyczne przesuwanie [ASR] .....	144
3.2.13.	Rejestry robocze: uzupełnienie jedynkowe [COM].....	145
3.2.14.	Rejestry robocze: uzupełnienie dwójkowe [NEG] .....	145
3.2.15.	Rejestry robocze: kopiowanie [MOV, MOVW] .....	146
3.2.16.	Rejestry robocze: kopiowanie i ładowanie bitów [BST, BLD].....	146
3.2.17.	Rejestry robocze: testowanie i porównywanie wartości [TST, CP, CPC, CPI] .....	147
3.2.18.	Rejestr SREG: operacje na znacznikach [BSET, BCLR, SEC, CLC, SEN, CLN, SEZ, CLZ, SEI, CLI, SES, CLS, SEV, CLV, SET, CLT, SEH, CLH].....	148
3.2.19.	Pamięć danych: odczyt [IN, LDS, LD, LDD] .....	149
3.2.20.	Pamięć danych: zapis [OUT, STS, ST, STD] .....	151
3.2.21.	Pamięć danych: operacje na bitach [SBI, CBI].....	152
3.2.22.	Pamięć danych: operacje na stosie [PUSH, POP] .....	153
3.2.23.	Pamięć programu: odczyt [LPM].....	154
3.2.24.	Pamięć programu: zapis [SPM] .....	154
3.2.25.	Przebieg programu: skoki bezwarunkowe [IJMP, RJMP] .....	155
3.2.26.	Przebieg programu: wywołania podprogramów [ICALL, RCALL] .....	156
3.2.27.	Przebieg programu: powrót z podprogramów [RET, RETI] .....	156
3.2.28.	Przebieg programu: testowanie rejestrów i pomijanie instrukcji [CPSE, SBRC, SBRS, SBIC, SBIS].....	157
3.2.29.	Przebieg programu: testowanie rejestru SREG i rozgałęzienia [BRBS, BRBC, BREQ, BRNE, BRCS, BRCC, BRSH, BRLO, BRMI, BRPL, BRGE, BRLT, BRHS, BRHC, BRTS, BRTC, BRVS, BRVC, BRIE, BRID].....	159
3.2.30.	Instrukcje specjalne [WDR, NOP, BREAK, SLEEP] .....	160

---

<b>4. Środowisko rozwojowe</b> .....	161
4.1. AVR Studio.....	162
4.1.1. Pierwsze spotkanie .....	163
4.1.2. Symulator.....	167
4.1.3. Programowanie .....	171
4.1.4. Emulacja ICE.....	172
4.1.5. Emulacja OCD .....	172
4.1.6. Uwagi.....	173
4.2. Programatory .....	173
4.2.1. Programator SPI .....	174
4.2.2. Programator HVS .....	175
4.2.3. Programator równoległy .....	177
4.2.4. Oprogramowanie PonyProg .....	177
4.2.5. Oprogramowanie <i>ISP Programmer</i> .....	179
4.2.6. Oprogramowanie <i>AVRX</i> .....	180
4.3. Projekt przykładowy.....	182
4.3.1. Założenia .....	182
4.3.2. Przedstawienie schematyczne .....	182
4.3.3. Tworzenie oprogramowania .....	182
4.3.4. Proces uruchomieniowy .....	185
4.3.5. Programowanie .....	186
<b>5. Ćwiczenia i przykłady zastosowań</b> .....	187
5.0. Wprowadzenie .....	188
5.0.1. Zestaw uruchomieniowy .....	188
5.0.2. Płyta uruchomieniowa ZL4AVR.....	188
5.0.3. Płyta uzupełniająca ZL4AVR-EB .....	192
5.0.4. Programy ćwiczeniowe i biblioteczne .....	197
5.1. Ćwiczenie 1. Podstawy programu assemblerowego; operacje na portach .....	197
5.1.1. Cel ćwiczenia.....	197
5.1.2. Obwód ćwiczeniowy .....	197
5.1.3. Opis ćwiczenia.....	198
5.1.4. Dla ambitnych .....	204
5.2. Ćwiczenie 2. Operacje arytmetyczno-logiczne; znaczniki rejestru SREG; pętle .....	204
5.2.1. Cel ćwiczenia.....	204
5.2.2. Obwód ćwiczeniowy .....	204
5.2.3. Kodowanie liczb.....	205
5.2.4. Operacje arytmetyczne na liczbach całkowitych .....	206
5.2.5. Operacje arytmetyczne na liczbach ułamkowych.....	213
5.2.6. Operacje logiczne .....	214
5.2.7. Dla ambitnych .....	215

5.3. Ćwiczenie 3. Podprogramy, przerwania i liczniki; sterowanie obciążeniami sieciowymi .....	216
5.3.1. Cel ćwiczenia.....	216
5.3.2. Obwód ćwiczeniowy .....	216
5.3.3. Wstęp do regulacji impulsowej.....	217
5.3.4. Opis ćwiczenia.....	220
5.3.5. Dla ambitnych .....	234
5.4. Ćwiczenie 4. Interfejsy równoległe; obsługa modułów alfanumerycznych LCD .....	234
5.4.1. Cel ćwiczenia.....	234
5.4.2. Obwód ćwiczeniowy .....	234
5.4.3. Opis ćwiczenia.....	235
5.4.4. Dla ambitnych .....	252
5.5. Ćwiczenie 5. Interfejsy szeregowo; obsługa układu RTC DS1307 poprzez magistralę I <sup>2</sup> C; zegar z datownikiem.....	252
5.5.1. Cel ćwiczenia.....	252
5.5.2. Obwód ćwiczeniowy .....	252
5.5.3. Opis ćwiczenia.....	253
5.5.4. Dla ambitnych .....	265
5.6. Ćwiczenie 6. Interfejsy szeregowo; odczyt telefonicznych kart chipowych.....	265
5.6.1. Cel ćwiczenia.....	265
5.6.2. Obwód ćwiczeniowy .....	265
5.6.3. Opis ćwiczenia.....	266
5.6.4. Dla ambitnych .....	273
5.7. Ćwiczenie 7. Interfejsy szeregowo; obsługa myszy PS/2 .....	273
5.7.1. Cel ćwiczenia.....	273
5.7.2. Obwód ćwiczeniowy .....	273
5.7.3. Opis ćwiczenia.....	274
5.7.4. Dla ambitnych .....	291
5.8. Ćwiczenie 8. Interfejsy optyczne; regulator oświetlenia sterowany pilotem SIRC.....	291
5.8.1. Cel ćwiczenia.....	291
5.8.2. Obwód ćwiczeniowy .....	291
5.8.3. Opis ćwiczenia.....	293
5.8.4. Dla ambitnych .....	303
5.9. Ćwiczenie 9. Pamięć EEPROM i liczniki; prosty odtwarzacz melodii .....	304
5.9.1. Cel ćwiczenia.....	304
5.9.2. Obwód ćwiczeniowy .....	304
5.9.3. Opis ćwiczenia.....	305
5.9.4. Dla ambitnych .....	312
5.10. Ćwiczenie 10. Elementy czujnikowe; obsługa akcelerometru MXD2125.....	312
5.10.1. Cel ćwiczenia.....	312
5.10.2. Obwód ćwiczeniowy .....	312
5.10.3. Opis ćwiczenia.....	313
5.10.4. Dla ambitnych .....	324

---

5.11. Ćwiczenie 11. Przetwarzanie A/C; najprostszy oscyloskop cyfrowy .....	324
5.11.1. Cel ćwiczenia.....	324
5.11.2. Obwód ćwiczeniowy .....	324
5.11.3. Opis ćwiczenia.....	325
5.11.4. Dla ambitnych .....	331
5.12. Ćwiczenie 12. Przetwarzanie C/A; najprostszy generator funkcyjny .....	332
5.12.1. Cel ćwiczenia.....	332
5.12.2. Obwód ćwiczeniowy .....	332
5.12.3. Opis ćwiczenia.....	333
5.12.4. Dla ambitnych .....	338
5.13. Ćwiczenie 13. Przetwarzanie sygnałów (filtry IIR); iluminofonia 3-kanalowa.....	338
5.13.1. Cel ćwiczenia.....	338
5.13.2. Obwód ćwiczeniowy .....	338
5.13.3. Opis ćwiczenia.....	339
5.13.4. Dla ambitnych .....	350
<b>Dodatki</b> .....	<b>351</b>
Dodatek A. Zestawienie układów AVR .....	352
Dodatek B. Wybrane właściwości i charakterystyki elektryczne układu ATtiny26.....	355
B.1. Wartości graniczne .....	355
B.2. Wybrane wartości charakterystyczne.....	355
B.3. Wybrane charakterystyki.....	356
Dodatek C. Zestawienie rozkazów dla układu ATtiny26.....	361
Dodatek D. Zestawienie rejestrów funkcyjnych układu ATtiny26.....	365
Dodatek E. Słowo o kompilatorach i językach wyższego poziomu.....	366
Dodatek F. Przeciwdziałanie zakłóceniom .....	369
Dodatek G. Źródła informacji na temat układów AVR .....	371
Dodatek H. Tabela kodów ASCII.....	372
Dodatek I. Tabela kodów znakowych sterownika LCD HD44780 .....	374
<b>Literatura</b> .....	<b>376</b>
<b>Skorowidz</b> .....	<b>377</b>