
Od autora	9
Wstęp	10
1. Struktura urządzeń z wykorzystaniem mikrokontrolerów	13
2. Jak jest zbudowany mikrokontroler AVR	15
2.1. Pamięć programu	16
2.2. Pamięć danych	16
2.3. Rejestry mikrokontrolera	17
2.4. Rejestry wejścia-wyjścia	18
2.5. Wskaźniki	20
3. Organizacja pamięci w mikrokontrolerach AVR	23
4. Jak działa mikrokontroler	27
4.1. Łączność ze światem zewnętrznym	27
4.2. Istota stosu	28
4.3. Przyjęcie przerwania	30
4.4. System watchdog	33
4.5. Programowanie mikrokontrolerów	34
4.6. Bity zabezpieczające i konfiguracyjne	35
5. Kody stosowane w mikrokontrolerach	37
6. Rejestry sterujące mikrokontrolera	41
6.1. Rejestry portów	41
6.1.1. Rejestry portu A	41
6.1.2. Rejestry portu B	42
6.1.3. Rejestry portu C	44
6.1.4. Rejestry portu D	44
6.1.5. Rejestry portu E	46
6.2. Rejestry układu transmisji szeregowej USART	47
6.2.1. UCSRA – rejestr sterujący A oraz statusów USART	47
6.2.2. UCSRB – rejestr sterujący B USART	48
6.2.3. UCSRC – rejestr sterujący C USART	49
6.2.4. UBRRH i UBRL – rejestry podzielnika prędkości transmisji	50
6.2.5. UDR – rejestr danych USART	51
6.3. Rejestry zegara/licznika 0	51
6.3.1. TCCR0 – rejestr sterujący zegara/licznika 0	52
6.3.2. TCNT0 – rejestr zliczający zegara/licznika 0	53
6.3.3. OCR0 – rejestr wzorca porównania zegara/licznika 0	53
6.4. Rejestry zegara/licznika 1	54
6.4.1. TCCR1A – rejestr sterujący A zegara/licznika 1	54
6.4.2. TCCR1B – rejestr sterujący B zegara/licznika 1	54
6.4.3. TCNT1H i TCNT1L – rejestry danych zegara/licznika 1	55

6.4.4.	OCR1AL i OCR1AH – rejestry porównania zegara/licznika 1	56
6.4.5.	OCR1BH i OCR1BL – rejestry porównania zegara/licznika 1	57
6.4.6.	ICR1L i ICR1H – rejestry przechwytywania zegara/licznika 1	57
6.5.	Rejestry pamięci EEPROM	58
6.5.1.	EEARH i EEARL – para rejestrów adresowych pamięci EEPROM	58
6.5.2.	EEDR – rejestr danych pamięci EEPROM	58
6.5.3.	EECR – rejestr sterujący dostępem do pamięci EEPROM	59
6.6.	Rejestr komparatora analogowego	60
6.7.	Rejestry interfejsu szeregowego SPI	61
6.7.1.	SPCR – rejestr sterujący SPI	62
6.7.2.	SPSR – rejestr statusów SPI	62
6.7.3.	SPDR – rejestr danych SPI	63
6.8.	Rejestry kontrolera przerw	63
6.8.1.	TIMSK – rejestr maskowania przerw licznika/zegara	64
6.8.2.	TIFR – rejestr wskaźników przerw licznika/zegara	64
6.8.3.	GICR – rejestr sterujący kontrolera przerw	65
6.8.4.	GIFR – rejestr wskaźników przerw	66
6.9.	Rejestry pozostałe	66
6.9.1.	MCUCR – rejestr sterujący mikrokontrolerem	66
6.9.2.	EMCUCR – rozszerzony rejestr sterujący mikrokontrolerem	67
6.9.3.	MCUCSR – rejestr sterujący i statusów mikrokontrolera	68
6.9.4.	WDTCR – rejestr sterujący watchdoga	69
6.9.5.	SFIOR – rejestr określający funkcje rejestrów IO	70
6.9.6.	SPMCR – rejestr sterujący zapisem kodu programu	71
6.9.7.	SPH, SPL – rejestr wskaźnika stosu	71
6.9.8.	SREG – rejestr statusów	72
7.	Lista instrukcji mikrokontrolera	73
7.1.	Tryby adresowania	74
7.2.	Sumaryczne zestawienie instrukcji	77
	Instrukcje arytmetyczne i logiczne	77
	Instrukcje skoków	78
	Instrukcje przesyłania danych	79
	Instrukcje operacji bitowych	80
	Instrukcje kontroli pracy jednostki centralnej	81
7.3.	Opis działania instrukcji mikrokontrolera AVR	81
	ADC – suma zawartości rejestrów z uwzględnieniem przeniesienia	82
	ADD – suma zawartości rejestrów	83
	ADIW – suma zawartości słowa i wartości stałej	84
	AND – iloczyn logiczny zawartości rejestrów	85
	ANDI – iloczyn logiczny zawartości rejestru i wartości stałej	86
	ASR – arytmetyczne przesunięcie zawartości rejestru w prawo	87
	BCLR – zerowanie bitu w rejestrze statusowym SREG	88
	BLD – przepisanie wskaźnika T do bitu rejestru	89

BRBC – skok warunkowy (jeżeli bit w SREG jest wyzerowany)	90
BRBS – skok warunkowy (jeżeli bit w SREG jest ustawiony)	91
BRCC – skok warunkowy (jeżeli wskaźnik C jest wyzerowany)	92
BRCS – skok warunkowy (jeżeli wskaźnik C jest ustawiony)	93
BREAK – zatrzymanie CPU	94
BREQ – skok warunkowy (jeżeli wskaźnik Z jest ustawiony)	95
BRGE – skok warunkowy (dla warunku większy lub równy)	96
BRHC – skok warunkowy (jeżeli wskaźnik H jest wyzerowany)	97
BRHS – skok warunkowy (jeżeli wskaźnik H jest ustawiony)	98
BRID – skok warunkowy (jeżeli wskaźnik I jest wyzerowany)	99
BRIE – skok warunkowy (jeżeli wskaźnik I jest ustawiony)	100
BRLO – skok warunkowy (dla warunku mniejszy)	101
BRLT – skok warunkowy (dla warunku mniejszy)	102
BRMI – skok warunkowy (jeżeli wartość jest ujemna)	103
BRNE – skok warunkowy (jeżeli wskaźnik Z jest wyzerowany)	104
BRPL – skok warunkowy (jeżeli wartość jest dodatnia)	105
BRSH – skok warunkowy (dla większy lub równy)	106
BRTC – skok warunkowy (jeżeli wskaźnik T = 0)	107
BRTS – skok warunkowy (jeżeli wskaźnik T = 1)	108
BRVC – skok warunkowy (jeżeli wskaźnik V = 0)	109
BRVS – skok warunkowy (jeżeli wskaźnik V = 1)	110
BSET – ustawienie bitu w rejestrze statusowym SREG	111
BST – przepisanie bitu z rejestru do wskaźnika T	112
CALL – instrukcja wywołania procedury	113
CBI – zerowanie wskazanego bitu w rejestrze wejścia/wyjścia	114
CBR – zerowanie wskazanych bitów w rejestrze	115
CLC – zerowanie wskaźnika C w rejestrze SREG	116
CLH – zerowanie wskaźnika H w rejestrze SREG	117
CLI – zerowanie wskaźnika I w rejestrze SREG	118
CLN – zerowanie wskaźnika N w rejestrze SREG	119
CLR – zerowanie rejestru	120
CLS – zerowanie wskaźnika S w rejestrze SREG	121
CLT – zerowanie wskaźnika T w rejestrze SREG	122
CLV – zerowanie wskaźnika V w rejestrze SREG	123
CLZ – zerowanie wskaźnika Z w rejestrze SREG	124
COM – negacja logiczna	125
CP – porównanie	126
CPC – porównanie z uwzględnieniem wskaźnika przeniesienia	127
CPI – porównanie zawartości rejestru z wartością stałą	128
CPSE – porównanie zawartości rejestrów i warunkowe pominięcie wykonania następczej instrukcji	129
DEC – zmniejszenie zawartości rejestru o 1	130
ELPM – rozszerzone pobranie bajtu z pamięci programu	131

EOR – suma logiczna Exclusive OR.....	132
FMUL – mnożenie ułamkowe liczb bez znaku.....	133
FMULS – mnożenie ułamkowe liczb ze znakiem.....	134
FMULSU – mnożenie ułamkowe liczby ze znakiem przez liczbę bez znaku.....	135
ICALL – instrukcja pośredniego wywołania procedury.....	136
IJMP – instrukcja pośredniego skoku bezwarunkowego.....	137
IN – przesłanie zawartości rejestru I/O do rejestru roboczego.....	138
INC – zwiększenie zawartości rejestru o 1.....	139
JMP – instrukcja bezpośredniego skoku bezwarunkowego.....	140
LD – przepisanie do rejestru zawartości komórki pamięci adresowanej pośrednio.....	141
LDD – przepisanie do rejestru zawartości komórki pamięci adresowanej pośrednio z przesunięciem.....	143
LDI – bezpośrednie wpisanie do rejestru wartości stałej.....	144
LDS – przepisanie do rejestru zawartości komórki pamięci adresowanej bezpośrednio.....	145
LPM – pobranie bajtu z pamięci programu.....	146
LSL – logiczne przesunięcie zawartości rejestru w lewo.....	147
LSR – logiczne przesunięcie zawartości rejestru w prawo.....	148
MOV – przepisanie zawartości rejestru do rejestru.....	149
MOVW – przepisanie zawartości pary rejestrów do innej pary rejestrów.....	150
MUL – mnożenie liczb bez znaku.....	151
MULS – mnożenie liczb ze znakiem.....	152
MULSU – mnożenie liczby ze znakiem z liczbą bez znaku.....	153
NEG – negacja arytmetyczna.....	154
NOP – instrukcja pusta.....	155
OR – suma logiczna zawartości rejestrów.....	156
ORI – suma logiczna zawartości rejestru i wartości stałej.....	157
OUT – przesłanie zawartości rejestru roboczego do rejestru I/O.....	158
POP – pobranie zawartości rejestru ze stosu.....	159
PUSH – odłożenie zawartości rejestru na stosie.....	160
RCALL – instrukcja wywołania procedury lub funkcji.....	161
RET – powrót z procedury lub funkcji.....	162
RETI – powrót z procedury obsługi przerwania.....	163
RJMP – instrukcja bezpośredniego skoku bezwarunkowego.....	164
ROL – obrót cykliczny zawartości rejestru w lewo.....	165
ROR – obrót cykliczny zawartości rejestru w prawo.....	166
SBC – różnica zawartości rejestrów z uwzględnieniem wskaźnika C.....	167
SBCI – różnica zawartości rejestru i wartości stałej z uwzględnieniem wskaźnika C.....	168
SBI – ustawienie wskazanego bitu w rejestrze wejścia/wyjścia.....	169
SBIC – warunkowe pominięcie następnej instrukcji (jeżeli bit w rejestrze wejścia/wyjścia jest wyzerowany).....	170
SBIS – warunkowe pominięcie następnej instrukcji (jeżeli bit w rejestrze wejścia/wyjścia jest ustawiony).....	171
SBIW – różnica zawartości słowa i wartość stałej.....	172

SBR – ustawienie bitów w rejestrze.....	173
SBRC – warunkowe pominięcie wykonania następczej instrukcji (jeżeli bit w rejestrze roboczym jest wyzerowany).....	174
SBRS – warunkowe pominięcie wykonania następczej instrukcji (jeżeli bit w rejestrze roboczym jest ustawiony).....	175
SEC – ustawienie wskaźnika C w rejestrze SREG.....	176
SEH – ustawienie wskaźnika H w rejestrze SREG.....	177
SEI – ustawienie wskaźnika I w rejestrze SREG.....	178
SEN – ustawienie wskaźnika N w rejestrze SREG.....	179
SER – ustaw wszystkie bity w rejestrze roboczym.....	180
SES – ustawienie wskaźnika S w rejestrze SREG.....	181
SET – ustawienie wskaźnika T w rejestrze SREG.....	182
SEV – ustawienie wskaźnika V w rejestrze SREG.....	183
SEZ – ustawienie wskaźnika Z w rejestrze SREG.....	184
SLEEP – przejście w tryb uśpienia.....	185
SPM – zapis do pamięci programu.....	186
ST – zapisanie zawartości rejestru w pamięci RAM adresowanej pośrednio.....	187
STD – zapisanie zawartości rejestru w pamięci adresowanej pośrednio z przesunięciem.....	188
STS – zapisanie zawartości rejestru w pamięci RAM adresowanej bezpośrednio.....	189
SUB – różnica zawartości rejestrów.....	190
SUBI – różnica zawartości rejestru i wartości stałej.....	191
SWAP – zamiana półbajtów w rejestrze.....	192
TST – test zawartości rejestru.....	193
WDR – zerowanie licznika watchdog.....	194
8. Opis języka asembler.....	195
8.1. Elementy języka.....	196
8.2. Dyrektywy.....	197
8.2.1. Dyrektywy segmentowe.....	198
8.2.2. Dyrektywa BYTE.....	200
8.2.3. Dyrektywa DB i DW.....	201
8.2.4. Dyrektywa DEVICE.....	203
8.2.5. Dyrektywa DEF.....	204
8.2.6. Dyrektywa EQU.....	204
8.2.7. Dyrektywa ORG.....	205
8.2.8. Dyrektywa MACRO.....	206
8.3. Funkcje i operatory występujące w wyrażeniach.....	206
8.4. Instrukcje asemblera.....	209
8.5. Kompilacja warunkowa.....	212
8.6. Pierwszy program.....	215
9. Instalacja programów narzędziowych.....	227

10.	Zasady arytmetyki	233
10.1.	Dodawanie liczb.....	235
10.2.	Negacja liczb ze znakiem	236
10.3.	Mnożenie liczb przez 2.....	238
10.4.	Mnożenie liczb przez 10	240
10.5.	Mnożenie liczb dwubajtowych	243
10.6.	Dzielenie liczb przez 2.....	250
10.7.	Dzielenie liczb przez 10.....	252
10.8.	Dzielenie liczb.....	254
10.9.	Porównywanie liczb jednobajtowych	257
10.10.	Porównywanie liczb wielobajtowych	264
10.11.	Badanie stanu bitów	266
10.12.	Obsługa tekstów	267
11.	Asembler a język wysokiego poziomu	269
11.1.	Typy i zmienne.....	269
11.2.	Instrukcja podstawienia.....	280
11.3.	Instrukcja warunkowa	283
11.4.	Instrukcje pętli.....	287
11.5.	Instrukcje wyboru	293
11.6.	Instrukcje wywołania procedury.....	295
11.7.	Instrukcje wywołania funkcji.....	298
11.8.	Rozważania końcowe.....	301
12.	Wybrane algorytmy i ich użycie	303
12.1.	Obsługa przerwań od upływu czasu	303
12.2.	Obsługa klawiatury	323
13.	Programowanie najprostszyc mikrokontrolerów	345
Dodatek: znaki ASCII		347
Literatura		349