

# Inhoud

<b>1</b>	<b>De Microcontroller</b>	<b>1</b>
1.1	Embedded Systemen . . . . .	1
1.2	De architectuur van de microprocessor en de microcontroller . . . . .	4
1.3	Geheugens en geheugenstructuur . . . . .	6
1.4	Harvard-architectuur . . . . .	7
1.5	RISC en CISC . . . . .	8
1.6	De keuze voor een microcontroller . . . . .	9
<b>2</b>	<b>De taal C</b>	<b>11</b>
2.1	Hello World . . . . .	12
2.2	Het compilatietraject . . . . .	14
2.3	Compilers . . . . .	16
2.4	Foutmeldingen . . . . .	17
<b>3</b>	<b>C in het kort</b>	<b>19</b>
3.1	Variabelen, declaraties en initialisatie . . . . .	20
3.2	Datatypes . . . . .	22
3.3	Samengestelde datatypes: arrays en strings . . . . .	23
3.4	Rekenkundige bewerkingen . . . . .	24
3.5	Afdrukken . . . . .	25
3.6	Voorwaardelijke opdrachten . . . . .	25
3.7	Herhalingsopdrachten . . . . .	27
3.8	Voorbeelden . . . . .	28
<b>4</b>	<b>Funcities</b>	<b>31</b>
4.1	Verdeel en heers . . . . .	32
4.2	De opbouw van een functie . . . . .	34
4.3	Formele en actuele parameters . . . . .	38
4.4	De scope van functies en variabelen . . . . .	38
4.5	Call by reference . . . . .	40
4.6	Blokschema's, stroomdiagrammen, pseudocode en algoritmes . . . . .	41
4.7	Voorbeeld: cijferprogramma . . . . .	44
4.8	Het verschil tussen == en = . . . . .	47
4.9	Funcities en programmeervaardigheden . . . . .	48

---

<b>5</b>	<b>In- en uitvoer</b>	49
5.1	Geformateerde uitvoer . . . . .	50
5.2	Geformateerde invoer . . . . .	52
5.3	Voorbeeld: invoer gegevens cijferprogramma . . . . .	54
5.4	Ongeformatteerde in- en uitvoer . . . . .	55
5.5	Alternatief voor het invoerprobleem . . . . .	58
5.6	Argumenten doorgeven aan een programma . . . . .	59
5.7	Declaratie en het gebruik van strings . . . . .	62
<b>6</b>	<b>Voorwaardelijke opdrachten</b>	67
6.1	Het if-statement: de if-vorm . . . . .	68
6.2	De bloктоewijzing . . . . .	69
6.3	Het if-statement: de if-else vorm . . . . .	70
6.4	Het nesten van if-statements . . . . .	70
6.5	Het if-statement: de if-else-if vorm . . . . .	72
6.6	Het switch-statement . . . . .	72
6.7	Definities en macro's . . . . .	77
6.8	De conditionele operator . . . . .	80
<b>7</b>	<b>Herhalingsopdrachten</b>	81
7.1	De for-lus . . . . .	81
7.2	De komma-operator . . . . .	84
7.3	De while-lus . . . . .	84
7.4	De do-while-lus of do-lus . . . . .	85
7.5	Het break-statement en het continue-statement . . . . .	86
<b>8</b>	<b>Structuur en Opmaak</b>	89
8.1	Commentaar . . . . .	90
8.2	Opmaak . . . . .	91
8.3	Naamgeving . . . . .	93
<b>9</b>	<b>Datatypen en Operatoren</b>	95
9.1	Gehele getallen . . . . .	96
9.2	Typecasting bij gehele getallen . . . . .	97
9.3	Gebroken getallen . . . . .	100
9.4	Typecasting bij gebroken getallen . . . . .	101
9.5	Constanten bij gebroken getallen . . . . .	103
9.6	Hexadecimaal, octaal en binair . . . . .	104
9.7	Rekenkundige operatoren . . . . .	105
9.8	Het karaktertype char en de speciale karakters . . . . .	106
9.9	Boolean . . . . .	107
9.10	De relationele bewerkingen . . . . .	107
9.11	Logische operatoren . . . . .	108
9.12	Bitbewerkingen . . . . .	108
9.13	Verkorte schrijfwijze bij toekenningen . . . . .	109
9.14	Bewerkingsvolgorde operatoren . . . . .	110
9.15	Voorbeeld: afdrukken binaire waarden . . . . .	112
9.16	Meer over operatoren, datatypen en declaraties . . . . .	113

<b>10</b>	<b>Arrays</b>	119
10.1	De getallen van Fibonacci en de Gulden Snede . . . . .	119
10.2	Berekenen getallen van Fibonacci en de Gulden Snede . . . . .	121
10.3	Declaraties van arrays . . . . .	122
10.4	Toewijzingen bij arrays . . . . .	123
10.5	Lezen buiten het bereik van een array . . . . .	123
10.6	Schrijven buiten het bereik van een array . . . . .	124
10.7	Meerdimensionale arrays . . . . .	124
10.8	De driehoek van Pascal . . . . .	127
10.9	Berekening driehoek van Pascal en getallen van Fibonacci . . . . .	127
10.10	Dynamische geheugenallocatie . . . . .	130
<b>11</b>	<b>Pointers</b>	131
11.1	Declaraties van pointers . . . . .	132
11.2	Toewijzingen met pointers . . . . .	132
11.3	Rekenen met pointers . . . . .	133
11.4	Fouten met pointers . . . . .	134
11.5	Getallen van Fibonacci en Gulden Snede met pointers . . . . .	135
11.6	Toepassingen pointers . . . . .	138
11.7	Voorbeelden met pointers . . . . .	139
11.8	Dynamische geheugenallocatie bij eendimensionale arrays . . . . .	141
11.9	VLA: <i>variable length array</i> . . . . .	142
11.10	Dynamische geheugenallocatie bij tweedimensionale arrays . . . . .	144
<b>12</b>	<b>Strings</b>	151
12.1	Declaratie van en toekenningen aan strings . . . . .	152
12.2	Op veilige wijze strings gebruiken . . . . .	154
12.3	Stringfuncties . . . . .	155
12.4	Array van strings . . . . .	157
<b>13</b>	<b>Advanced C</b>	159
13.1	Lezen en schrijven naar bestanden . . . . .	159
13.2	Recursie . . . . .	168
13.3	Pointers naar functies . . . . .	176
13.4	Samengestelde datatypes . . . . .	177
13.5	Datastructuren . . . . .	181
13.6	Functies met een variabele argumentenlijst . . . . .	185
13.7	Preprocessoropdrachten of <i>compiler directives</i> . . . . .	186
<b>14</b>	<b>De Xmega</b>	189
14.1	De opbouw van de Xmega . . . . .	190
14.2	De behuizing van de Xmega . . . . .	193
14.3	De geheugenorganisatie bij de Xmega . . . . .	194
14.4	De systeemklok en klokopties . . . . .	196
14.5	Het programmeren van de Xmega . . . . .	197
14.6	De ontwikkelomgeving voor de Xmega . . . . .	198

---

<b>15</b>	<b>Generieke IO</b>	199
15.1	De schakeling voor Led Blink . . . . .	201
15.2	De software voor Led Blink . . . . .	201
15.3	De generieke IO van de Xmega . . . . .	202
15.4	De organisatie van de registers bij de Xmega: de Xmega-stijl . .	205
15.5	De registers bij de verouderde ATmega-stijl . . . . .	207
15.6	Bitbewerkingen en de <i>read-write-modify</i> -methode . . . . .	208
15.7	Vertragingstijden en de macrodefinitie F_CPU . . . . .	212
15.8	De generieke IO als ingang gebruiken . . . . .	213
15.9	Het aan- en uitzetten van een led met een drukknop . . . . .	214
15.10	Contactdender . . . . .	215
15.11	Hardwarematige antidendermaatregelen . . . . .	216
15.12	Softwarematige antidendermaatregelen . . . . .	217
<b>16</b>	<b>Interrupts</b>	221
16.1	Het interruptmechanisme . . . . .	222
16.2	De interrupts en het interruptmechanisme bij de Xmega . . . .	223
16.3	Een voorbeeld met externe interrupt 0 . . . . .	224
16.4	Timer/counters . . . . .	229
16.5	Een tijdvertraging maken met een timer/counter . . . . .	232
16.6	Een antidenderalgoritme met een externe interrupt en TCE0 . .	237
16.7	Groepsconfiguratie, groepsmasker, groepspositie, bitmasker en bitpositie . . . . .	239
<b>17</b>	<b>Displays</b>	243
17.1	De ledbar . . . . .	244
17.2	Aansturing leds . . . . .	250
17.3	Een tweedimensionale ledarray of dotmatrix . . . . .	251
17.4	Cijfers afbeelden op een dotmatrix . . . . .	253
17.5	Cijfers afbeelden op een dotmatrix met interrupt en timer . . .	255
17.6	Cijfers afbeelden op een dotmatrix met de gegevens in flash . .	258
17.7	Een 4-digit 7-segmentdisplay aansturen . . . . .	260
17.8	Het uitlezen van zes drukknoppen . . . . .	263
17.9	Conclusie . . . . .	266
<b>18</b>	<b>Liquid Crystal Display</b>	267
18.1	Het aansluiten van een HD44780 op de Xmega . . . . .	268
18.2	Het karaktergeoriënteerde display op basis van HD44780 . . . .	270
18.3	Toepassing LCD met 8-bit modus en tijdvertraging . . . . .	277
18.4	Toepassing met bewegende tekst . . . . .	279
18.5	Toepassing LCD met 4-bit modus en busy flag . . . . .	280
18.6	Toepassing met een LCD-bibliotheek . . . . .	283
18.7	Geformateerd afdrukken op een LCD . . . . .	286
18.8	Het weergeven van gebroken getallen op een LCD . . . . .	287

---

<b>19</b>	<b>UART</b>	291
19.1	Opbouw USART en het instellen van baudsnelheid . . . . .	293
19.2	Instelling protocol . . . . .	296
19.3	Ontvangen en verzenden van data . . . . .	297
19.4	Het versturen van karakters via USART1 van poort D . . . . .	298
19.5	Het ontvangen, converteren en versturen van karakters . . . . .	300
19.6	Toepassing met gebruik van een interrupt . . . . .	301
19.7	Het gebruik van een circulaire buffer . . . . .	303
19.8	Circulaire buffers bij de communicatie met een UART . . . . .	305
19.9	De USART-driver van Atmel en een bijbehorende wrapper . . . . .	307
19.10	Het versturen van getallen via de UART . . . . .	314
19.11	Het creëren van een stream voor printf en scanf . . . . .	314
19.12	Een vaste stream voor USART0 van poort F . . . . .	319
<b>20</b>	<b>Analog-to-Digital Converter</b>	323
20.1	Analoog-digitaalconversie . . . . .	324
20.2	De opbouw van de ADC bij de Xmega . . . . .	327
20.3	De conversiemethoden . . . . .	333
20.4	Fouten bij AD-conversie . . . . .	335
20.5	Toepassing: handmatige <i>unsigned single-ended</i> conversie . . . . .	337
20.6	Toepassing: handmatige <i>signed single-ended</i> conversie . . . . .	341
20.7	Toepassing: handmatige conversie met differentiële modus . . . . .	344
20.8	Toepassing: differentiële conversie met behulp van een interrupt . . . . .	345
20.9	Toepassing: differentiële conversie op vaste tijdstippen . . . . .	347
20.10	Toepassing: differentiële conversie in de freerunningmodus . . . . .	351
20.11	Kalibratie van de ADC . . . . .	351
20.12	Resumé ADC . . . . .	352
<b>21</b>	<b>Seriële communicatie</b>	353
21.1	SPI . . . . .	354
21.2	Toepassing: aansturing van een extern EEPROM via de SPI . . . . .	357
21.3	Toepassing: aansturing van een schuifregister via een SPI . . . . .	359
21.4	De USART als SPI . . . . .	362
21.5	I <sup>2</sup> C . . . . .	364
21.6	I <sup>2</sup> C of TWI voor de Xmega . . . . .	366
21.7	Eenvoudige I2C-bibliotheek voor de Xmega in mastermodus . . . . .	367
21.8	Toepassing: eenvoudige I2C-bibliotheek bij een DS3232 . . . . .	370
21.9	Levelshifting voor I2C . . . . .	374
21.10	De TWI-masterdriver van Atmel . . . . .	375
21.11	De TWI-slavedriver van Atmel . . . . .	378
21.12	Resumé TWI . . . . .	382
<b>22</b>	<b>Pulsbreedtemodulatie</b>	383
22.1	De timer/counters van de Xmega . . . . .	385
22.2	Bespreking PWM-mogelijkheden . . . . .	387
22.3	De single-slope-modus: intensiteitsregeling voor een led . . . . .	394
22.4	De single-slope-modus: intensiteitsregeling voor een rgb-led . . . . .	395
22.5	De dual-slope-modus: een robotwagen met DC-motoren . . . . .	397

---

22.6	De dual-slope-modus: aansturing servomotor . . . . .	401
22.7	AWeX: advanced waveform extension . . . . .	403
22.8	De frequentiemodus: het afspelen van muziek . . . . .	404
<b>23</b>	<b>Nog meer Xmega</b> . . . . .	<b>409</b>
23.1	Digitaal-analoogconverter . . . . .	410
23.2	Direct Memory Access . . . . .	415
23.3	Analoge comparator . . . . .	420
23.4	Input capture . . . . .	427
23.5	Het kloksysteem van de Xmega . . . . .	435
23.6	De realtime-counter . . . . .	439
23.7	Het EEPROM . . . . .	441
23.8	Flash . . . . .	445
23.9	De slaapstanden . . . . .	448
23.10	De mogelijkheden om de Xmega256a3u te herstarten . . . . .	451
23.11	Watchdog . . . . .	452
23.12	Het atomic block . . . . .	455

## Bijlagen

<b>A</b>	<b>Stroomdiagrammen</b> . . . . .	<b>457</b>
<b>B</b>	<b>RS232</b> . . . . .	<b>463</b>
<b>C</b>	<b>JTAG</b> . . . . .	<b>469</b>
<b>D</b>	<b>SD-kaart</b> . . . . .	<b>473</b>
<b>E</b>	<b>Draadloze module</b> . . . . .	<b>479</b>
<b>F</b>	<b>CMOS</b> . . . . .	<b>489</b>
<b>G</b>	<b>Headerbestanden</b> . . . . .	<b>503</b>
<b>H</b>	<b>Application notes</b> . . . . .	<b>511</b>
<b>I</b>	<b>ASCII</b> . . . . .	<b>513</b>
<b>J</b>	<b>Xmega-bord</b> . . . . .	<b>515</b>
	<b>Index</b> . . . . .	<b>519</b>