
Microcontrollers Programmeren



Leer PIC-microcontrollers programmeren met
JAL in 60 lessen

Peter Zwart



an Elektor Publication

LEARN > DESIGN > SHARE

- Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. Alle rechten voorbehouden.
- Ondanks alle aan de samenstelling van dit boek bestede zorg kunnen noch de auteur, noch de redactie, noch de uitgever aansprakelijkheid aanvaarden voor eventuele schade die zou kunnen voortvloeien uit enige fout die in deze uitgave zou kunnen voorkomen.
- Voor zover het maken van reprografische verveelvoudiging uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16h Auteurswet 1912 dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan de Stichting Reprorecht (Postbus 3051, 2130 KB Hoofddorp, www.reprorecht.nl)
- Voor zover het maken van reprografische verveelvoudiging uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16h Auteurswet 1912 dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan de Stichting Reprorecht (Postbus 3051, 2130 KB Hoofddorp, www.reprorecht.nl)
- Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet 1912) kan men zich wenden tot de Stichting PRO (Stichting Publicatie- en Reproductierechten Organisatie, Postbus 3060, 2130 KB Hoofddorp, www.stichting-pro.nl).

● **ISBN: 978-90-5381-307-2**

Grafische vormgeving & productie: DMC | daverid.com

Druk: Ipskamp Printing, Enschede



Elektor is part of EIM, the world's leading source of essential technical information and electronics products for pro engineers, electronics designers, and the companies seeking to engage them. Each day, our international team develops and delivers high-quality content - via a variety of media channels (e.g., magazines, video, digital media, and social media) in several languages - relating to electronics design and DIY electronics. www.elektor.com

LEARN > DESIGN > SHARE

• INHOUDSOPGAVE

• VOORWOORD	6
-----------------------	---

• INLEIDING	8
-----------------------	---

VOORBEREIDINGEN	23
----------------------------------	-----------

DEEL 1 • ONDERDELENLIJST EN PROGRAMMA'S	25
--	-----------

01 • Onderdelenlijst	25
---------------------------------------	-----------

• Basisonderdelen	25
-----------------------------	----

• Programmer	25
------------------------	----

• Voeding: adapter	25
------------------------------	----

• Voor de 'alles-in-een-werkplek' (als je die wilt gaan toepassen)	26
--	----

• Ingangsversterker voor WinOscillo	26
---	----

• Onderdelenlijst voor de opdrachten	26
--	----

• In het algemeen is nodig:	28
---------------------------------------	----

02 • Programma JAL	29
-------------------------------------	-----------

• Windows installatie van JAL	29
---	----

• Instellingen JALEditor	30
------------------------------------	----

• Instellingen JALEditor 2	31
--------------------------------------	----

• Linux installatie	32
-------------------------------	----

03 • De Programmer	32
-------------------------------------	-----------

• Mogelijkheid 1: de PICKit3 van Microchip	32
--	----

• Mogelijkheid 2: de PICKit4 en de SNAP van	36
---	----

• Mogelijkheid 3: De Wisp648 en XWisp (de software)	36
---	----

• Mogelijkheid 4: van eenvoudig tot uitgebreid	38
--	----

04 • De voeding van de Microcontroller	39
---	-----------

05 • De alles-in-een-werkplek	44
--	-----------

• Het insteekbordje aansluiten	46
--	----

06 • Terminal programma	48
--	-----------

• Terminal programma: RealTerm	49
--	----

• Batchprogramma voor RealTerm en PICKit3	49
---	----

• Batchprogramma voor RealTerm en Wisp648 (in Pass-through-mode)	51
--	----

07 • Voltmeter	54
---------------------------------	-----------

08 • Oscilloscoop	54
------------------------------------	-----------

09 • Frequentiemeter	56
---------------------------------------	-----------

10 • Datasheet	57
11 • Simulatieprogramma	57
12 • Bootloader	58
DEEL 2 • KENNIS HEBBEN VAN ELEKTRONICA, REKENKUNDIGE BEWERKINGEN	59
• Algemeen	59
01 • Printplaat	59
• Alternatieve methode zonder PCB en met een microcontroller	59
02 • Statische elektriciteit	60
03 • Weerstanden	60
• Kleurcodes	60
• Rekenen met weerstanden	60
04 • Condensatoren	61
05 • Wet van Ohm	62
06 • Talstelsels	63
• Andere talstelsels	63
07 • Rekenkundige bewerkingen	66
DEEL 3 • FOUTZOEKEN (DEBUGGING)	67
01 • Programmeer problemen	67
02 • Hardware problemen	68
DEEL 4 • WERKEN MET JAL	69
01 • JAL – taal afspraken	69
02 • JAL – standaard opdrachten	69
• Commentaar	69
• 1. Variabelen	69
• Array	72
• Count (Binnen array)	73
• Constanten	73
• Long table	73
• 2. Manipulatoren en getal generatoren	74
• Delay	74
• Dice	74
• Enable_digital_io()	74
• Operators	74
• Random	76
• 3. Voorwaarden	76
• If then else	76
• Case	77

• Block	77
• Interrupt	78
• Task	78
● 4. Herhaal commando's (lussen)	80
• For loop	80
• using	80
• exit loop	80
• Forever loop	80
• Repeat until	81
• Loop while	81
● 5. Procedures	81
• Procedure	81
• Functie	82
• In-line assembler	83
• Pragma	84
03 • Een aantal overige JAL opdrachten	84
• Opdrachten voor de microcontroller	84
• Pragma: instellen microcontroller Fuses	84
• Registers instellen	85
04 • Handige opdrachten bij het programmeren	86
• Led aan en uit	86
• Nibble	86
• Pin aanwijzing per nibble	86
• Pinstatus	87
• Poorten	87
• Spatie op een LCD display	88
• Tussenvariabele	88
• Verkorte notering pinstatus	88
• Wachten op een signaal van buiten	88
• Word naar byte	89
• Word naar byte(2)	89
• Byte naar word	89
05 • ASCII	90
06 • Opbouw van een JAL-programmeeropdracht	90

07 • Programmeren met duidelijk commentaar	92
08 • Algemene aanwijzingen en 'denk eraan' –herinneringen	93
HET PROGRAMMEREN MET JAL	95
DEEL 1 • SPELEN MET LEDS	95
Opdracht 1 • Twee leds om de beurt aan en uit	95
• De software: opdracht nr. 1	95
• Toelichting op de opdracht	96
• Programmeren met de PICKit3	98
• De Wisp648	98
• De hardware	98
• Tot slot	100
Opdracht 2 • Ledbalk oplopend aan	100
• De software: opdracht nr. 2	100
• Toelichting op de opdracht	102
• De hardware	104
• Tot slot	104
Opdracht 3 • Economischer programmeren bij de ledbalk	104
• De software: opdracht nr. 3	112
• De software opdracht nr. 3a	115
• Toelichting op opdracht	119
• De hardware	119
• Tot slot	119
Opdracht 4 • Ledbalk met gebruik van 'case' en een counter	120
• De software: opdracht nr. 4	121
• Toelichting op de opdracht	125
• De hardware	126
• Tot slot	127
Opdracht 5 • Ledbalk met gebruik van 'case' en een drukknop	127
• De software: opdracht nr. 5	132
• Toelichting op de opdracht	136
• De hardware	136
• Tot slot	137
Opdracht 6 • Twee kleuren led wordt driekleuren led	137
• De software: opdracht nr. 6	137

• Toelichting op de opdracht	138
• De hardware	139
• Tot slot	139
DEEL 2 • PROGRAMMEREN MET ANDERE LIBRARIES	140
Opdracht 7 • Hexadecimale counter naar terminal (RealTerm)	140
• De software: opdracht nr. 7	141
• De programmeeropdracht voor de PICKit3	141
• De programmeeropdracht voor de Wisp648	143
• Toelichting op de opdracht	144
• De hardware	145
• Tot slot	146
Opdracht 8 • Een zin naar de Terminal van RealTerm	146
• De print library	146
• De software: opdracht nr. 8	148
• Toelichting op de opdracht	149
• De hardware	150
• Tot slot	150
Opdracht 9 • Tekens van Terminal naar microcontroller en terug	150
• De software: opdracht nr. 9	151
• Toelichting op de opdracht	152
• De hardware	154
• Tot slot	154
Opdracht 10 • Tekst van Terminal naar microcontroller en terug (1)	155
• De software: opdracht nr. 10	155
• Toelichting op de opdracht	156
• De hardware	158
• Tot slot	158
Opdracht 11 • Tekst van Terminal naar microcontroller en terug (2)	158
• De software: opdracht nr. 11	159
• Toelichting op de opdracht	160
• De hardware	162
• Tot slot	162
Opdracht 12 • Alleen cijfers van Terminal naar microcontroller en weer terug	162
• De software: opdracht nr. 12	163

• Toelichting op de opdracht	165
• De hardware	167
• Tot slot	167
Opdracht 13 • Alleen tekst van Terminal naar microcontroller en weer terug	167
• De software: opdracht nr. 13	168
• Toelichting op de opdracht	170
• De hardware	172
• Tot slot	172
Opdracht 14 • Aansturen met cijferkeuzemenu in RealTerm	172
• De software: opdracht nr. 14	174
• Toelichting op de opdracht	178
• De hardware	180
• Tot slot	181
Opdracht 15 • Aansturen met letterkeuzemenu in RealTerm	181
• De software: opdracht nr. 15	182
• Toelichting op de opdracht	186
• De hardware	187
• Tot slot	188
DEEL 3 • ANALOOG NAAR DIGITAAL CONVERSIE (ADC)	189
Opdracht 16 • Knippertijd van een led regelen met ADC	189
• De software: opdracht nr. 16	193
• Toelichting op de opdracht	194
• Verder met de toelichting	195
• De hardware	198
• Tot slot	199
Opdracht 17 • Truncate oplossen met printen/formatteren	199
• De software: opdracht nr. 17	203
• Toelichting op de opdracht	204
• De hardware	206
• Tot slot	206
Opdracht 18 • ADC hoge en lage resolutie en de library bijwerken	206
• De software: opdracht nr. 18	210
• Toelichting op de opdracht	211
• De hardware	215

• Tot slot	215
Opdracht 19 • ADC en delaytijden op 5 niveaus met 5 drukknoppen	216
• De software: opdracht nr. 19	217
• Toelichting op de opdracht	222
• De hardware	224
• Tot slot	224
Opdracht 20 • De delay opdrachten bij ADC inkorten	225
• De software: opdracht nr. 20	225
• Toelichting op de opdracht	227
• Tot slot	228
Opdracht 21 • Procedure-out en ADC en delay	228
• De software: opdracht nr. 21	229
• Toelichting op de opdracht	231
• De hardware	232
• Tot slot	232
Opdracht 22 • Function en ADC en delay	233
• De software: opdracht nr. 22	233
• Toelichting op de opdracht	235
• De hardware	237
• Tot slot	237
Opdracht 23 • Shift operator (bits verschuiven) en ADC en delay	237
• De software: opdracht nr. 23	238
• Toelichting op de opdracht	242
• De hardware	243
• Tot slot	243
Opdracht 24 • 5 drukknoppen op één pin en ADC met lage resolutie	243
• De software: opdracht nr. 24	250
• Toelichting op de opdracht	254
• De hardware	258
• Tot slot	259
Opdracht 25 • ADC met hoge resolutie en 5 drukknoppen op één pin	259
• De software: opdracht nr. 25	260
• Toelichting op de opdracht	264
• De hardware	268

• Tot slot	268
Opdracht 26 • ADC met potmeter (of random) en niveau-indicator	268
• De software: opdracht nr. 26	269
• Toelichting op de opdracht	272
• De hardware	274
• Tot slot	274
DEEL 4 • HET 7-SEGMENT-DISPLAY	276
Opdracht 27 • Het zeven segment led-display	277
• De software: opdracht nr. 27	277
• Toelichting op de opdracht	278
• De hardware	279
• Tot slot	279
Opdracht 28 • Twee led displays met teller tot 100	281
• De software: opdracht nr. 28	289
• Toelichting op de opdracht	291
• De hardware	293
• Tot slot	295
Opdracht 29 • Twee led displays met scoreteller en reset	296
• De software: opdracht nr. 29	297
• Toelichting op de opdracht	300
• De hardware	304
• Tot slot	304
DEEL 5 • LIQUID CRISTAL DISPLAY (LCD)	306
Opdracht 30 • LCD-scherm aansturen	308
• De software: opdracht nr. 30	309
• Toelichting op de opdracht	310
• De hardware	311
• Tot slot	312
Opdracht 31 • Looptekst naar links en rechts op het LCD-scherm	312
• De software: opdracht nr. 31	314
• Opdracht 31a Looptekst naar links op de 2e regel	315
• Toelichting op de opdracht	316
• De hardware	317

• Tot slot	317
• Opdracht 31b Looptekst naar links op 1e regel	317
• De software: opdracht nr. 31b	318
• Toelichting op de opdracht	319
• De hardware	319
• Tot slot	319
• Opdracht 31c Looptekst naar rechts op de 1e regel	319
• De software: opdracht nr. 31c	319
• Toelichting op de opdracht	321
• De hardware	321
• Tot slot	321
• Opdracht 31d Looptekst naar rechts op de 2e regel	322
• De software: opdracht nr. 31d	322
• Toelichting op de opdracht	323
• Tot slot	323
Opdracht 32 • LCD met teller en progress balk	323
• De software: opdracht nr. 32	324
• Toelichting op de opdracht	325
• De Hardware	326
• Tot slot	326
Opdracht 33 • LCD met ADC en een progress balk	326
• De software: opdracht nr. 33	327
• Toelichting op de opdracht	328
• De hardware	328
• Tot slot	329
Opdracht 34 • LCD met ADC, LDR en een progress balk	329
• De software: opdracht nr. 34	329
• Toelichting op de opdracht	330
• De hardware	331
• Tot slot	331
DEEL 6 • PULS BREEDTE MODULATIE (PWM)	332
• Inleiding PWM	332

Opdracht 35 • PWM en procentueel een led dimmen (= lage resolutie)	335
• De software: opdracht nr. 35	335
• Toelichting op de opdracht	336
• De hardware	337
• Tot slot	337
Opdracht 36 • PWM1 en PWM2 (met ADC)	338
• De software: opdracht nr. 36	338
• Toelichting op de opdracht	340
• De hardware	344
• Tot slot	344
Opdracht 37 • Een motortje aansturen	345
• De software: opdracht nr. 37	346
• Toelichting op de opdracht	347
• De hardware	348
• Tot slot	349
Opdracht 38 • Motortje met ADC en PWM aansturing	349
• De software: opdracht nr. 38	350
• Toelichting op de opdracht	352
• De hardware	355
• Tot slot	355
Opdracht 39 • PWM en geluid: een pieptoon	356
• De software: opdracht nr. 39	356
• Toelichting op de opdracht	357
• De hardware	358
• Tot slot	359
Opdracht 40 • PWM en geluid met drukknop	359
• De software: opdracht nr. 40	359
• Toelichting op de opdracht	360
• De hardware	360
• Tot slot	361
Opdracht 41 • PWM: een lichtgevoelige schakelaar met led en geluid	361
• De software: opdracht nr. 41	361
• Toelichting op de opdracht	362
• De hardware	363

• Tot slot	363
DEEL 7 • REGISTERS VAN DE DATASHEET GEBRUIKEN	365
Opdracht 42 • PWM2 op pin_b3	365
• Het CONFIG3H register	365
• De software: opdracht nr. 42	367
• Toelichting op de opdracht	368
• De hardware	369
• Tot slot	369
Opdracht 43 • PWM en Timer 0 interrupt	370
• Het T0CON register	371
• Het INTCON register	372
• De software: opdracht nr. 43	373
• Toelichting op de opdracht	374
• De hardware	376
• Tot slot	376
Opdracht 44 • Poort B interrupt on change	376
• Het INTCON register	377
• Het INTCON2 register	378
• De software: opdracht nr. 44	380
• Toelichting op de opdracht	381
• De hardware	382
• Tot slot	382
Opdracht 45 • Poort B external interrupt op B0, B1 en B2	383
• Het INTCON register	383
• Het INTCON2 register	384
• Het INTCON3 register	386
• De software: opdracht nr. 45	388
• Toelichting op de opdracht	389
• De hardware	390
• Tot slot	390
Opdracht 46 • De microcontroller op 48.000.000 Hz	390
• Inleiding	390
• De software: opdracht nr. 46	391

• Toelichting op de opdracht	392
• De hardware	393
• Tot slot	393
DEEL 8 • GEHEUGENCHIPS EN GEGEVENS OPSLAAN MET I²C	394
• Geheugenopbouw	394
• Extern geheugen	395
• I ² C verbinding	395
• Geheugen aansturen	396
• De opdrachten voor de geheugenchip	398
Opdracht 47 • De geheugenchip 24LC1025-DIP vullen	400
• De software: opdracht nr. 47	400
• Toelichting op de opdracht	402
• De hardware	404
• Tot slot	406
Opdracht 48 • Controle van de opslag op de geheugenchip	406
• De software: opdracht nr. 48	407
• Toelichting op de opdracht	408
• De hardware	409
• Tot slot	410
Opdracht 49 • De geheugenchip vullen met een array	410
• De software: opdracht nr. 49	410
• Toelichting op de opdracht	412
• De hardware	414
• Tot slot	414
Opdracht 50 • Controle van de array-opslag op de geheugenchip	414
• De software: opdracht nr. 50	415
• Toelichting op de opdracht	416
• De hardware	418
• Tot slot	418
Opdracht 51 • De geheugenchip vullen met een getallen array	418
• De software: opdracht nr. 51	419
• Toelichting op de opdracht	422
• De Hardware	426
• Tot slot	426
Opdracht 52 • Controle van de array opslag op de geheugenchip	426

• De software: opdracht nr. 52	427
• Toelichting op de opdracht	429
• De Hardware:	431
• Tot slot	431
Opdracht 53 • De geheugenchip vullen vanuit een bestand	431
• Gegevensbestand	431
• Van word naar 2 bytes	432
• Van 2 bytes naar word	433
• De software: opdracht nr. 53	434
• Toelichting op de opdracht	438
• De Hardware	445
• Tot slot	445
Opdracht 54 • Controle van het opgeslagen bestand in de geheugenchip	445
• De software: opdracht nr. 54	445
• Toelichting op de opdracht	448
• De hardware	448
• Tot slot	449
DEEL 9 • EEN SERIËLE HARDWARE VERBINDING	450
• Een hardware RS232-verbinding met de MAX232	450
• De opdrachten voor een RS232 verbinding	453
• Voorbereidingen in RealTerm	454
Opdracht 55 • Een RS232 verbinding maken	454
• De software: opdracht nr. 55	455
• Toelichting op de opdracht	456
• De Hardware	456
• Tot slot	457
Opdracht 56 • Lezen en schrijven met een RS232 verbinding	457
• De software: opdracht nr. 56	457
• Toelichting op de opdracht	459
• De hardware	459
• Tot slot	460
Opdracht 57 • De geheugenchip schrijven en lezen met RS232_hw	460
• De software: opdracht nr. 57	460
• Toelichting op de opdracht	462

• De hardware	464
• Tot slot	464
Opdracht 58 • De geheugenchip alleen lezen met RS232_hw	464
• De software: opdracht nr. 58	464
• Toelichting op de opdracht	466
• De hardware	467
• Tot slot	467
DEEL 10 • COMMUNICATIE VIA USB	468
• Inleiding USB	468
• De opdrachten voor USB	468
Opdracht 59 • USB en RealTerm	470
• De software: opdracht nr. 59	470
• Toelichting op de opdracht	471
• De hardware	473
• Tot slot	474
Opdracht 60 • USB: met toetsenbord opdrachten geven	474
• De software: opdracht nr. 60	474
• Toelichting op de opdracht	475
• De hardware	476
• Tot slot	476
• AFSLUITING	477