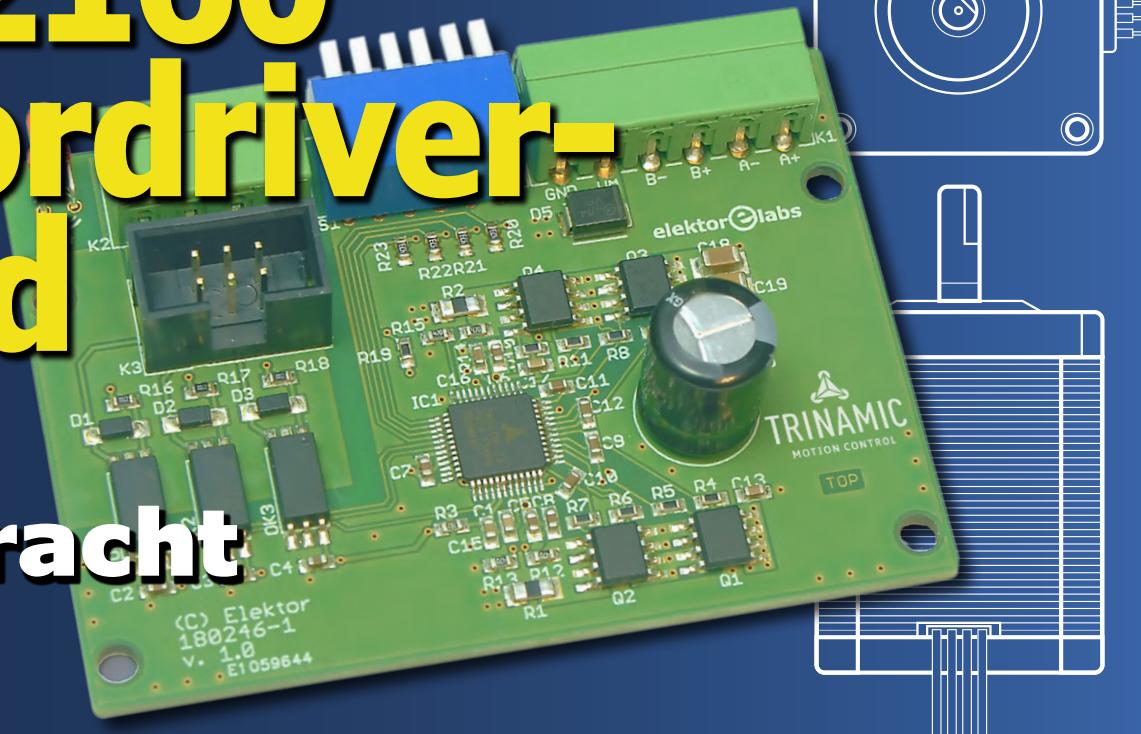


TMC2160 motordriver-board

stille kracht



Met de vos in het IoT



makerboard voor de kennismaking met Sigfox-dataoverdracht

Communicatie met UDP-pakketten

probleemloos met ESP8266



Ontwikkelboards van Infineon ▷ Kwaliteitscriteria voor LED-lampen ▷ Raspberry Pi in de automatisering ▷ Arduino-temperatuurrecorder ▷ Flash-bestandssysteem JesFS ▷ VFD-klok ▷ Retrotronica ▷ Eerlijke algoritmen ▷ Softstart voor versterkers ▷ Verbeterde stralingsmeter – verbeterd ▷ Het SCCC-project (5) ▷ Concept-ontvanger voor 1...30 MHz ▷ WiFi-schakelaar ▷ Achkanaals timer op herhaling ▷ Baluns ▷ en meer...

4K DISPLAYPORT SPLITTER

THE SIMPLEST PART OF YOUR PROJECT

DELOCK®
we move the world

Spiegel of breid het beeldschermssignaal uit tot 3 beeldschermen in 4K-resolutie!

- Dubbele Wijze geschikt (DP+++)
- DisplayPort 1.4 Multi-Stream Transport
- ondersteunt HDR
- ondersteunt HDCP 1.4 en 2.2.

BESTSELLER

Bestelnr.: DELOCK 87737

90,39
(74,71)



**4K
UHD**

Ons Keystone assortiment van

DELOCK®
we move the world

Ontdek nu ► www.rch.lt/to



LoRa 868 MHz-antenne

Omnidirectioneel, met kiepkoppeling

- SMA-stekker
- Frequentiebereik: 860 - 870 MHz
- ZigBee, Z-Wave
- Antenneversterking: 3 dBi
- Impedantie: 50 Ohm
- Efficiëntie: 45,91
- VSWR: 1,5



BESTSELLER

Bestelnr.:
DELOCK 89769 9,46 (7,82)

LoRa 863-928 MHz-antenne

- MHF-stekker
- ZigBee, NB-IoT, Z-Wave, GSM, ISM
- Antenneversterking: 1,68 dBi
- Impedantie: 50 Ohm
- Zelfklevende bevestiging
- Kabeltype: 1.13



BESTSELLER

Bestelnr.:
DELOCK 12540 7,12 (5,88)

DELOCK®
we move the world

Betaalwijzen:



- Geweldige prijs-kwaliteitverhouding
- Meer dan 110.000 geselecteerde producten

Bestellservice: +49 (0)4422 955-360

- Betrouwbare levering - vanuit Duitsland over de hele wereld

www.reichelt.nl

reichelt
elektronik - The best part of your project

Colofon

59^e jaargang nr. 656,
november/december 2019
ISSN 2590-0765



Elektorlabs is een uitgave van

Elektor International Media B.V.

Postbus 11, 6114 ZG Susteren, Nederland
Tel.: +31 (0)46- 4389444,
Fax: +31 (0)46-4370161

Nieuwe abonnementen & bestellingen

service@elektor.nl Tel. 046-4389444

Elektor International Media B.V. legt gegevens vast voor de uitvoering van de (abonnementen) overeenkomst. De door u verstrekte gegevens kunnen gebruikt worden om u te informeren over relevante diensten en producten. Stelt u daar geen prijs op, dan kunt u dit schriftelijk doorgeven aan:

Elektor International Media B.V.,
Afdeling Customer Service
Postbus 11, 6114 ZG Susteren.

Of per email: service@elektor.nl

In overeenstemming met de Wet bescherming persoonsgegevens zijn de verwerkingen van persoonsgegevens aangemeld bij de toezichthouder, Autoriteit Persoonsgegevens te Den Haag.

Druk: Pijper Media, Groningen
Distributie: Betapress, Gilze

Advertenties Benelux

Margriet Debeij
Tel. +49 2 41/955 09 174
Mobiel: +49 (170) 550 539 6
E-Mail: margriet.debeij@eimworld.com

Advertentietarieven, nationaal en internationaal, op aanvraag. Alle advertentiecontracten worden afgesloten conform de Regelen voor het Advertentiewesen gedeponeerd bij de rechtbanken in Nederland. Een exemplaar van de Regelen voor het Advertentiewesen is op aanvraag kosteloos verkrijgbaar.

Auteursrecht

Niets uit deze uitgave mag verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. De auteursrechtelijke bescherming van Elektor strekt zich mede uit tot de illustraties met inbegrip van de printed circuits, evenals de ontwerpen daarvoor. In verband met artikel 30 van de Rijksoctrooiwet mogen de in Elektor opgenomen schakelingen slechts voor particuliere of wetenschappelijke doeleinden vervaardigd worden en niet in of voor een bedrijf. Het toepassen van de schakelingen geschiedt buiten de verantwoordelijkheid van de uitgever. De uitgever is niet verplicht ongevraagd ingezonden bijdragen, die hij niet voor publicatie aanvaardt, terug te zenden. Indien de uitgever een ingezonden bijdrage voor publicatie aanvaardt, is hij gerechtigd deze op zijn kosten te (doen) bewerken. De uitgever is tevens gerechtigd een bijdrage te (doen) vertalen en voor haar andere uitgaven en activiteiten te gebruiken tegen de daarvoor bij de uitgever gebruikelijke vergoeding.



William

Alweer het laatste nummer van Elektorlabs voor dit jaar dat u in handen houdt – af en toe lijkt de tijd verschrikkelijk snel te gaan. Om u de zekerheid te geven dat dit slechts schijn is en dat de tijd in werkelijkheid in zijn normale tempo voortschrijdt, presenteren we een minimalistische klok met een vacuüm-fluorescentiebus die ondanks zijn retro-look enkele moderne features heeft, zoals IR-afstandsbediening en de mogelijkheid informatie over het display te laten lopen.

Natuurlijk hebben we het daar niet bij gelaten: ook bespreken we een conceptontvanger voor frequenties van 1 tot 30 MHz – geen kant-en-klaar nabouwproject maar een uitnodiging aan alle HF-liefhebbers om aan de knutsel te gaan. En voor de vele audio-liefhebbers onder ons een luxueuze softstart-unit die voorkomt dat bij het inschakelen van ‘zware’ versterkers de stoppen u om de oren vliegen.

Helaas moeten we in dit nummer afscheid nemen van ons SCCC-project: de vijfde aflevering is meteen ook de laatste. Maar in die vijf afleveringen hebt u meer dan voldoende informatie en tips aangereikt gekregen om zelf verder te gaan – en we zouden het leuk vinden als u ons van uw vorderingen op de hoogte zou willen houden!

Voeg daar nog een *state-of the art* motordriver-board aan toe dat stappenmotoren bijzonder geruisloos laat werken – dan zou dat toch genoeg moeten zijn om u tot aan de eindejaars-feestdagen bezig te houden.

Op het moment van schrijven is het einde van de Brexit-soap nog niet in zicht en is nog allesbehalve zeker wat de afloop zal zijn. Ik vraag me af wat William (Shakespeare, bedoel ik) daarover geschreven zou hebben. Iets in de geest van “*Lord, what fools these mortals be!*”*, of eerder iets als “*Nothing will come of nothing*”**? De VFD-klok-tijd zal het leren...

Eric Bogers

Hoofdredacteur NL

* A Midsummer Night's Dream, eerste bedrijf, eerste toneel

** King Lear, eerste bedrijf, eerste toneel

Ons team

Hoofdredacteur:	Eric Bogers (eric.bogers@elektor.com)
Internationale redactie:	Jan Buiting, Jens Nickel, Marilene Thiebaut-Brodier
Technische redactie:	Mathias Claussen, Ton Giesberts, Luc Lemmens, Denis Meyer, Clemens Valens, Jan Visser
Aan dit nummer werkten mee:	Jelle Aarnoudse, Martien Jansen, Evelien Snel
Ledenmanagement:	Denise Bodrone
Vormgeving & Layout:	Giel Dols, Jack Jamar
Hoofd Online:	Daniëlle Mertens
Directeur:	Don Akkermans

in dit nummer

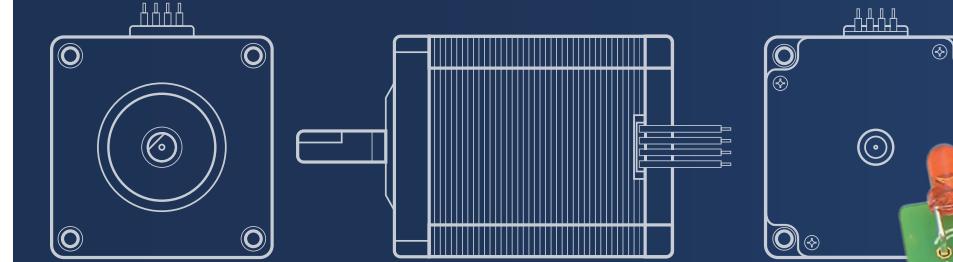
59^e jaargang – nr. 656

november/december 2019

- 15 Vreemde onderdelen
Baluns
- 35 Elektor Labs Pipeline
- 48 HomeLab Helicopter
de wondere wereld van de elektronica
in vogelvlucht
- 64 Project 2.0
correcties, updates en brieven van lezers
- 96 Review: Raspberry Pi 4
nieuw maar nog steeds goed?
- 101 Retrotronica
De eerste videospelconsole van Elektuur
- 106 Shop-highlight
Luisteren, genereren en voeden...
- 112 Elektor Store
- 114 Hexadoku

achtergrond & info

- 36 Pret met ontwikkelboards van Infineon
- 40 ...er zij (goed) licht!
kwaliteitscriteria voor
binnenverlichting met LED-lampen
- 58 De Raspberry Pi in de automatisering
makersystemen commercieel toegepast
- 92 Communicatie met UDP-pakketten
probleemloos met ESP8266
- 110 Elektor Ethisiek
Eerlijke algoritmen



TMC2160 motordriver- board

stille kracht...

Met de vos in het IoT (1)

makerboard voor de kennismaking met Sigfox-dataoverdracht

Wanneer batterijvoede sensoren gegevens naar een internetgateway moeten verzenden, kunnen draadloze standaarden zoals Sigfox en LoRa worden gebruikt. Sigfox scoort met een gestandaardiseerd en reeds goed uitgebouwd netwerk. De gebruiker hoeft slechts de sensorknooppunten te programmeren en in te loggen om de gegevens in het internet te visualiseren. Zoals we in deze serie zullen demonstreren, zijn betaalbare hardware en gratis software voldoende om eerste Sigfox-projecten te realiseren. In deze eerste aflevering presenteren we de compacte Arduino MKR FOX 1200-module met geïntegreerde Sigfox-transceiver en een passend moederboard.



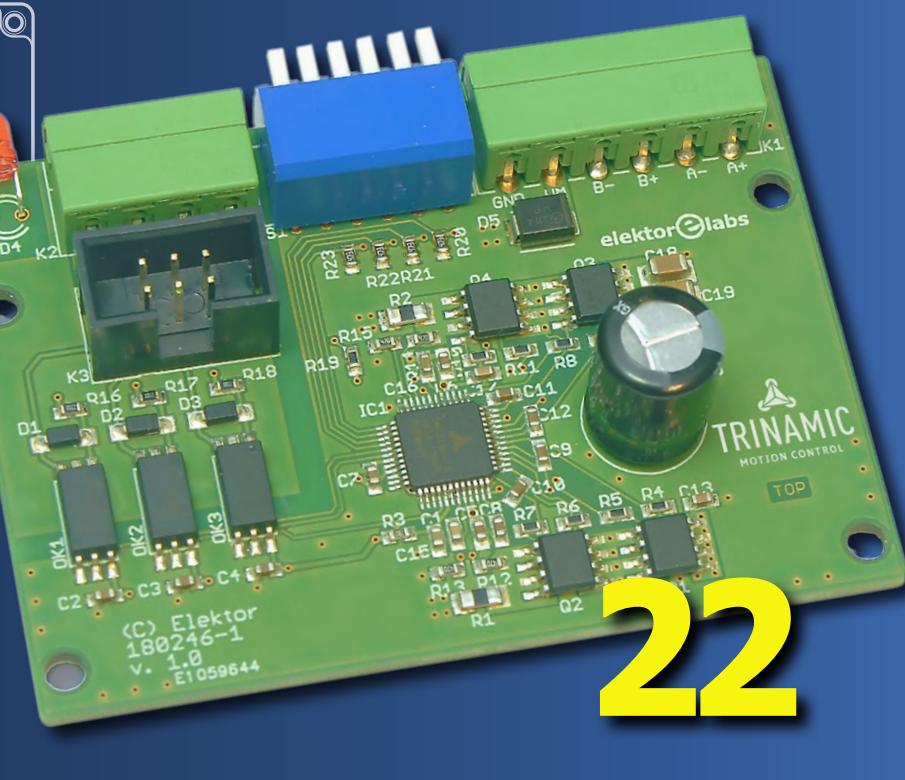
28

projecten

- 6 Softstart voor versterkers
spart zekeringen en elektronica
- 16 Arduino-temperatuurrecorder
log around the clock!
- 20 Configureren van het
Elektor BME280 break-out-board
- 22 TMC2160 motordriver-board
stille kracht...



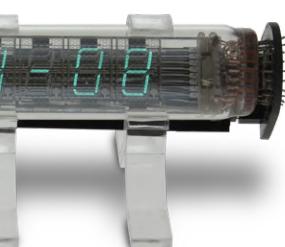
VFD-klok
oude wijn in
een nieuwe zak



Communicatie met UDP-pakketten

probleemloos met ESP8266

Om data uit te wisselen via een netwerk wordt meestal gebruik gemaakt van een client/server-model. De client stuurt daarbij een vraag naar de server, en de server stuurt zijn antwoord in de vorm van een HTML-pagina met de gevraagde gegevens. Voor dit model is heel wat software nodig: een serverprogramma op (bijvoorbeeld) een Raspberry Pi, en aan client-zijde een programma dat de gegevens uit de HTML-pagina destilleert.



70

- 28 Met de vos in het IoT (1)**
makerboard voor de kennismaking met Sigfox-dataoverdracht
- 52 Het flash-bestandssysteem JesFS**
Big Data voor kleine controllers
- 66 Verbeterde stralingsmeter – verbeterd!**
hardware-update voor de alfa-, bèta- en gammateller

70 VFD-klok

oude wijn in een nieuwe zak

77 Een WiFi-schakelaar voor 3 dollar – die het ook doet

creatief gebruik van de ESP8266

80 Het SCCC-project (5)

softcore-processor en C-compiler voor zelfbouw

84 Conceptontvanger voor 1...30 MHz

AM/SSB/CW met plug-in resonatoren, filters en kristallen

108 Achtkanaals timer met OLED-display

op herhaling
met beter verkrijgbare onderdelen

binnenkort

Elektorlabs magazine januari/februari 2020

- geigerteller • toerentalregeling voor AC-motoren • data verzenden met Sigfox • grafische bibliotheek voor microcontrollers • multitasking met ESP32 • watt-weegschaal • eerste stappen met RISC-V • Retrotronica • druktoetsen dendervrij maken • review warmtebeeldcamera • elektronica voor beginners • thee-timer • kleine schakelingen, tips en trucs ...en nog veel meer.

Aankondigingen onder voorbehoud.
Elektorlabs januari/februari 2020 verschijnt op 27 december 2019.

Elektor Industry 3/2019

Elektor Industry 3/2019 is een speciale uitgave gewijd aan Productronica 2019 in München (Duitsland) van 12 tot en met 15 november 2019. Speciale aandacht wordt besteed aan innovatieve technologieën, onderzoek, hardware en software – inclusief IoT, 5G, sensoren, CAD, SMT, PCB-productie en meer. Plus natuurlijk nieuwe afleveringen van de vaste rubrieken als Infographics en Industry Store.

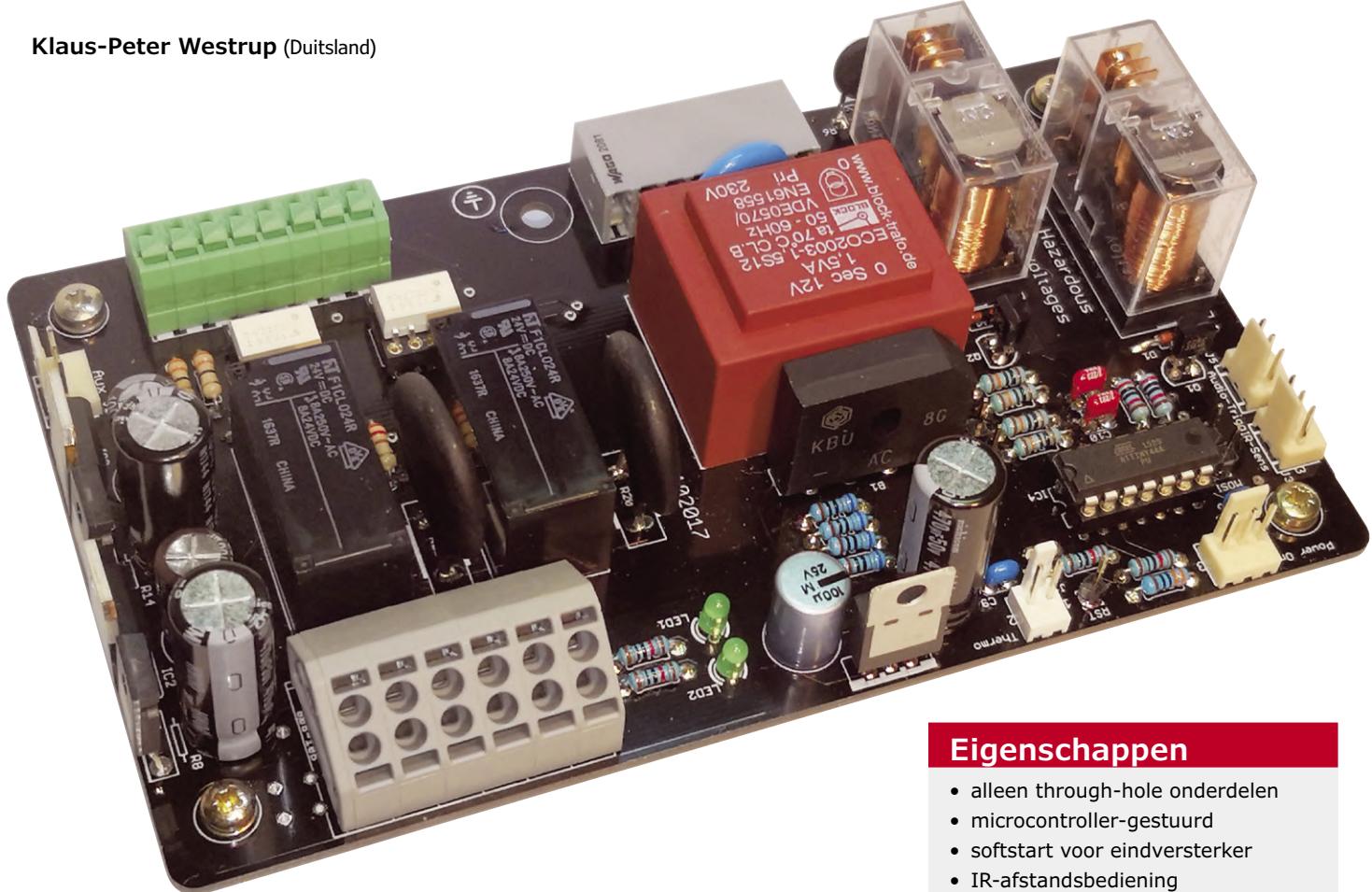
Elektor Industry 3/2019 verschijnt begin november 2019 in druk voor Elektor Gold-leden en als pdf-download voor Elektor Green-leden.

Het nummer is voor belangstellenden ook te koop via www.elektormagazine.com. Aankondigingen onder voorbehoud.

Softstart voor versterkers

spaart zekeringen en elektronica

Klaus-Peter Westrup (Duitsland)



Eigenschappen

- alleen through-hole onderdelen
- microcontroller-gestuurd
- softstart voor eindversterker
- IR-afstandsbediening
- automatisch in- en uitschakelen

Gegarandeerd is het u ook al eens overkomen: u schakelt een of ander elektrisch apparaat in en de netzekering 'vliegt eruit'. In de meeste gevallen betekent dat niet dat het apparaat in kwestie defect is; de oorzaak is doorgaans veel prozaïscher: de inschakel-piekstroom heeft het voortijdige overlijden van de zekering veroorzaakt. Deze inschakel-piekstroom (*inrush current* of *surge current*) treedt zowel bij traditionele nettransformatoren op als bij schakelende voedingen, hoewel ze bij beide typen voedingen een verschillende oorzaak hebben.

Bij voedingen met een nettrafo wordt de inschakel-piekstroom veroorzaakt door de magnetische kernverzadiging; bij schakelende voedingen wordt deze daarentegen veroorzaakt door de ontladen tussenkringcondensator.

Omdat die piekstroom zeer groot is, vormt

hij voor veel onderdelen een enorme belasting. Het wekt daarom geen verbazing dat apparaten en/of de voedings-schakelingen daarvan bijna altijd op het moment van inschakelen kapot gaan – net als het overlijden van een ouderwetse (en inmiddels verboden) gloeilamp op het

moment dat we de schakelaar omzetten. Fabrikanten van elektrische en elektronische apparatuur (en lezers van Elektor-labs) kennen dit verschijnsel maar al te goed. En de remedie is ook bekend: op een of andere manier moet de inschakelstroom begrensd worden.

Inschakelen van een nettrafo

Hoe hoger de inductie in de ijzerkern van de transformator en hoe kleiner de luchtspleet en hoe kleiner de koperverliezen, des te groter is de inschakel-stroompiek. In tegenstelling tot wat u wellicht denkt, is die piekstroom het grootste wanneer de netspanning precies op het moment van de nuldoororgang wordt ingeschakeld. Waarom dat zo is, kunnen we met een beetje wiskunde beredeneren. In ingeschakelde toestand, en nadat alle inschakelverschijnselen achter de rug zijn, bedraagt de faseverschuiving tussen de netspanning en de magnetische flux 90°, zoals beschreven door

$$\phi(t) = U_{\max} \int \sin(\omega t) dt + C$$

Deze vergelijking is afgeleid uit de Wet van Faraday. Hieruit volgt:

$$\phi(t) = -\frac{U_{\max}}{\omega} \cdot \cos(\omega t) + C$$

De magnetische flux bereikt dus bij de nuldoororgang van de netwisselspanning zijn negatieve maximum. Bij continubedrijf van de trafo is de constante C gelijk aan nul.

Op het moment van inschakelen is dat echter niet het geval, omdat de magnetische flux bij nul moet beginnen (vooropgesteld dat de ijzerkern geen restmagnetisme bezit). Wanneer we dus de trafo op het tijdstip $t = 0$ inschakelen, wordt de startconditie van de magnetische flux door de constante C gedefinieerd, en die constante is zelf weer afhankelijk van

- de waarde en polariteit van het restmagnetisme van de ijzerkern;
- de fase van de aangelegde wisselspanning;
- de eigenschappen van het kernmateriaal.

Samenvattend kunnen we schrijven:

$$\phi(t) = \phi_{\max} \cdot \sin(\omega t + \alpha) + \phi_{rest} + \phi_{\max} \cdot \sin(\alpha)$$

$$\text{met } \alpha = \theta - \frac{\pi}{2}$$

Wanneer we aannemen dat $\phi_{rest} = 0$, dan vinden we:

- wanneer we de netspanning inschakelen op het moment dat deze maximaal is: $\phi = \phi_{\max}$

- maar wanneer we op de nuldoororgang inschakelen: $\phi = 2 \cdot \phi_{\max}$

Deze tweemaal zo grote magnetische flux stuurt de trafo-kern in (magnetische) verzadiging, waardoor de zelfinductie van de spoel vrijwel naar nul gaat zodat de stroom uitsluitend door de ohmse weerstand van de wikkeling en van het netsnoer wordt begrensd.

De inschakel-stroompiek duurt maximaal zo'n 10 ms. In de praktijk kunnen we rekenen met een tijdsduur van 3...6 ms omdat de kern niet abrupt in verzadiging gaat maar daar enige tijd voor nodig heeft. We mogen echter niet vergeten dat het nog ongeveer 4...10 perioden van de netwisselspanning duurt voordat de magnetische flux en dus ook de spoelstroom hun stationaire waarden hebben aangenomen.

PROJECT-INFO

	audio
	softstart
	IR-afstandsbediening
	beginners
	gevorderden
	experts
	ongeveer 3 uur
	normaal soldeergereedschap, AVRISP (optioneel)
	ca. € 50

Mogelijke oplossingen

Om het probleem van grote inschakelstroompieken te omzeilen, zou men bijvoorbeeld op de een of andere manier kunnen proberen de trafo uitsluitend in te schakelen op het moment dat de netspanning zijn topwaarde heeft bereikt – dan vermijden we die vermaleidige inschakelpiek.

Dat is op zich helemaal correct, maar om dit goed te laten functioneren moet het restmagnetisme van de kern op het inschakeltijdstip altijd nul zijn, en dat is iets wat in de praktijk niet gegarandeerd kan worden. Er bestaan echter schakelingen die dit restmagnetisme meten en het dan zonder stroombegrenzende weerstanden kunnen stellen. Deze schakelingen zijn echter behoorlijk gecompliceerd.

Een andere mogelijkheid is de transformator zo te dimensioneren dat die niet zo snel in verzadiging gaat. Dat fungeert ook, maar leidt tot hogere kosten

en grotere elektrische verliezen, terwijl bovendien de afmetingen van de trafo toenemen, wat in de meeste gevallen ongewenst zal zijn.

Uit praktische overwegingen laten we de inschakel-stroompiek dus voor wat die is (omdat die de trafo vanwege de korte duur niet beschadigt – wanneer we niet over extreme vermogens spreken) en lossen we het probleem met een inschakelstroombegrenzing op. Zoals we nog zullen zien, kan die zowel passief als actief worden uitgevoerd.

Tabel 1 geeft een indruk van de inschakelstromen die bij meer of minder zware trafo's optreden. Het moge duidelijk zijn dat vanaf vermogens van zo'n 300 VA een inschakelstroombegrenzing nodig is om te voorkomen dat 'de stoppen ons om de oren vliegen' om het maar eens zo uit te drukken.

Tabel 1. Inschakel-stroompiek bij verschillende transformatoren.

Vermogen (VA)	Netspanning (V)	Koperweerstand (Ω)*	Inrush current (A)
200	230	8	36
300	230	5	54
500	230	3	81
800	230	1,5	130
1000	230	1	163

* Weerstandswaarden bij benadering.

Inrush current limiters			B57236S0***M0**		
ICLs			S236		
Electrical specification and ordering codes					
R ₂₅ Ω	I _{max} (0...65 °C) A	C _{test} ¹⁾ 230 V AC μF	C _{test} ¹⁾ 110 V AC μF	R _{rel} (@ I _{max} , 25 °C) Ω	Ordering code
2.2	6	200	800	0.057	B57236S0229M0**
2.5	5.5	200	800	0.067	B57236S0259M0**
3	5	300	1200	0.077	B57236S0309M0**
4.7	4.6	300	1200	0.102	B57236S0479M0**
5	4.5	300	1200	0.108	B57236S0509M0**
8	3.7	300	1200	0.152	B57236S0809M0**
10	3.5	300	1200	0.180	B57236S0100M0**
12	3.2	300	1200	0.215	B57236S0120M0**
16	2.9	300	1200	0.262	B57236S0160M0**
20	2.8	300	1200	0.284	B57236S0200M0**
25	2.5	300	1200	0.357	B57236S0250M0**
50	1.9	300	1200	0.594	B57236S0500M0**
80	1.6	400	1600	0.861	B57236S0800M0**
120	1.5	400	1600	0.990	B57236S0121M0**

Figuur 1. Specificaties van TDK-thermistoren uit de S236-serie.

Passieve inschakelstroombegrenzing

Voor passieve inschakelstroombegrenzing worden doorgaans ‘dikke’ serieweerstanden of thermistoren gebruikt. Thermistoren – wat zijn dat nou weer voor dingen? Geen angst – dat zijn gewoon weerstanden waarvan de weerstandswaarde afhankelijk is van de temperatuur. We kennen die allemaal als NTC- en PTC-weerstanden.

Wanneer het om de begrenzing van inschakelstromen gaat, komen uiteraard alleen NTC-weerstanden in aanmerking, weerstanden met een negatieve temperatuurcoëfficiënt. Die hebben in koude toestand een hogere weerstand dan in warme toestand.

Bij een zuiver passieve inschakelstroombegrenzing staat die thermistor in serie met de belasting. In uitgeschakelde toestand (zeg maar: bij kamertemperatuur) is de weerstand dusdanig dat de inschakelstroom tot een veilige, hanteerbare waarde wordt begrensd. Ten gevolge van de stroom door de thermistor wordt die warmer (er wordt immers vermogen in gedissipeerd) en neemt zijn weerstand af tot uiteindelijk niet meer dan een paar ohm en bereikt de stroom zijn nominale (stationaire) waarde. Deze oplossing met thermistoren wordt algemeen als betrouwbaar en goedkoop beschouwd.

Belangrijke parameters bij de keuze van de thermistor zijn de beginweerstand (in ‘koude’ toestand) en de stroombelastbaarheid. De waarde van de weerstand dient zo te worden gekozen dat hij de

stroom door de belasting tot een waarde begrenst die de zekering nog niet doet aanspreken (en die de belasting niet kan beschadigen).

Hieronder gaan we voor de dimensionering uit van een 500VA-transformator, die door een in het betreffende apparaat aanwezige apparaatzekering met I_{smax} = 10 A is afgezekerd.

We berekenen de koude weerstand van de thermistor met:

$$R_{NTC} = \frac{U_{eff} \cdot 1,414}{I_{smax}} - R_{trafo} = \frac{230V \cdot 1,414}{10A} - 3 = 30$$

De koude weerstand van onze thermistor dient dus 30 Ω te bedragen. Nu moeten we de stroom berekenen die in stationair (continu) bedrijf door de thermistor loopt (we veronderstellen dat de transformator maximaal wordt belast):

$$I_{NTC} = \frac{vermogen}{U_{eff}} = \frac{500VA}{230V} = 2,2A$$

We komen bij onze 500VA-trafo dus uit op 2,2 A.

Tenslotte moeten we nog inschatten wat de maximale hoeveelheid energie is die de thermistor direct na het inschakelen in warmte moet omzetten. Wanneer we veronderstellen dat de inschakelpuls bij benadering blokvormig is, dan correspondeert het product ‘vermogen maal

tijd’ de gezochte hoeveelheid energie. We vinden:

$$E = (R_{NTC} + R_{trafo}) \cdot I^2 \cdot t = \\ (30 + 3) \cdot (10A)^2 \cdot 6ms = 20J$$

In het datablad van de S236-thermistoren van TDK (zie **figuur 1**) wordt die maximaal toelaatbare energie niet als zodanig genoemd. In plaats daarvan vinden we een maximaal toelaatbare belastingscapaciteit C_{test} die op de thermistor voor stroombegrenzing mag worden aangesloten. Bij schakelende voedingen mogen we hiervoor de waarde van de tussenkringcondensator nemen. We berekenen dan

$$E = \frac{1}{2} \cdot 300 F \cdot (230V \cdot 1,414)^2 = 15,8J$$

De belastbaarheid van een enkele thermistor is niet groot genoeg; we moeten dan uitwijken naar een ‘zwaarder’ exemplaar, of twee thermistoren in serie schakelen (opmerking: thermistoren mogen niet parallel worden geschakeld). We hebben hier voor die laatste mogelijkheid gekozen: twee stuks 16Ω-thermistoren in serie.

Nadelen

Hoewel we deze passieve inschakelstroombegrenzing vaak in consumentenelektronica aantreffen, zijn er enkele nadelen aan verbonden.

In de eerste plaats: hoewel de warme weerstand van de thermistor nog slechts 1/20 tot 1/10 van de koude weerstand bedraagt, wordt er toch een aanzienlijk vermogen in gedissipeerd, in ons geval minimaal ongeveer 8 W, en dat is vanzelfsprekend alleen al om milieuredenen onwenselijk. Bovendien wordt de thermistor warm: bij nominale belasting neemt diens temperatuur toe tot (in ons geval) maar liefst 150 °C.

Dat betekent dat we het apparaat in kwestie niet meteen na uitschakelen weer mogen inschakelen: de thermistor heeft al gauw een minuut of langer nodig om zover af te koelen dat hij zijn begrenzingsfunctie weer kan waarnemen.

Ook krijgen onderdelen en soldeerverbindingen in de directe omgeving met deze warmte-ontwikkeling te maken; vooral kunststof delen moeten op voldoend

grote afstand van de thermistor(en) gemonteerd worden.

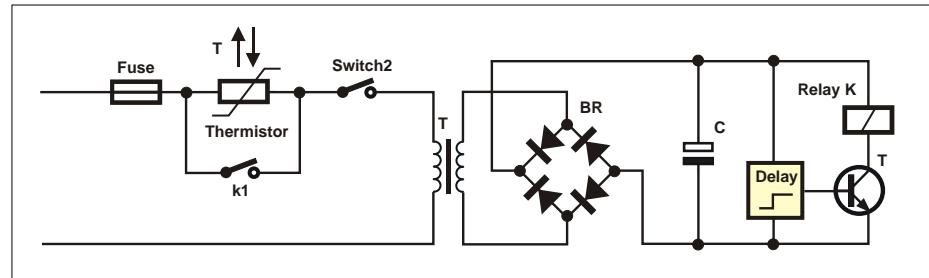
Een relais brengt uitkomst

In **figuur 2** hebben we een veelgebruikte (actieve) oplossing voor dit dissipatieprobleem geschetst. We zien hier een netvoeding met voorgeschakelde thermistor. Parallel aan die thermistor staat een relaiscontact dat korte tijd na inschakelen wordt gesloten. De thermistor is dan overbrugd zodat er geen vermogen meer in wordt gedissipeerd. Natuurlijk gaat er in het relais ook enig vermogen verloren (ongeveer 1 W) maar dat is veel minder dan de minimaal 8 W bij de uitvoering zonder relais.

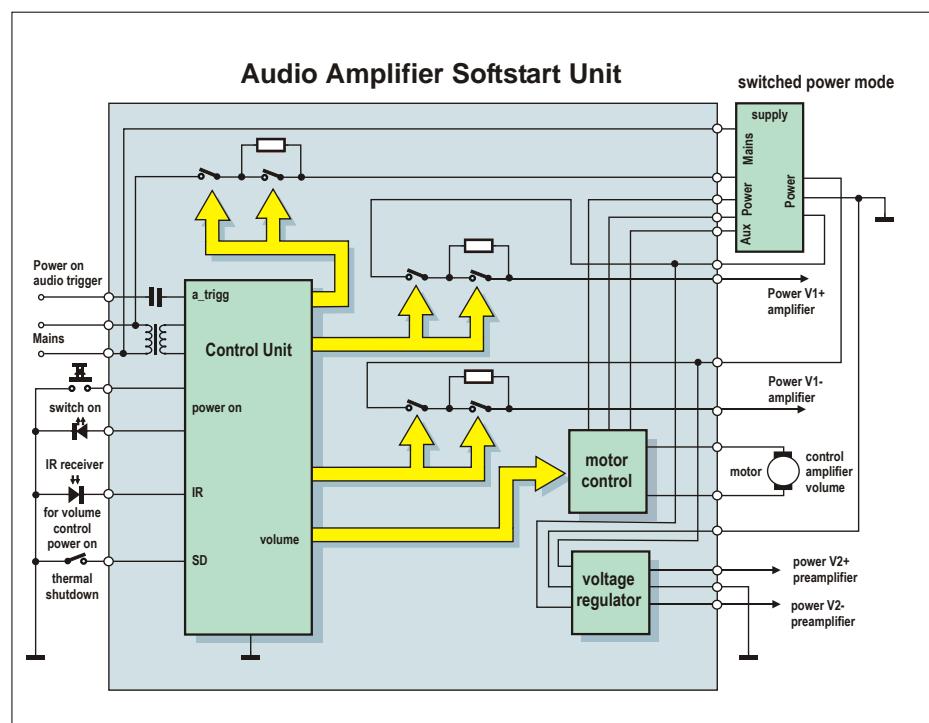
Vaak wordt de inschakelelektronica uit een kleine hulptrago gevoed. Deze ontkoppelt de inschakel-elektronica van de apparaatvoeding, zodat ook een korte stroomonderbreking tot een veilige reset van de inschakelelektronica leidt. Een ander voordeel van deze opzet is dat de vermogens-netschakelaar van het apparaat via een tweede relais door een laagspanningsschakelaar kan worden vervangen.

En dan nu de praktijk

Na al deze (hopelijk toch wel interessante) theoretische overwegingen wordt het tijd de handen uit de mouwen te steken. De softstartschakeling uit dit artikel is oorspronkelijk ontworpen voor een audio-eindversterker met een schakelende voeding. Toegegeven, de meningen over het gebruik van schakelende voedingen in audioversterkers zijn verdeeld, maar een schakelende voeding heeft ten opzichte van een klassieke lineaire voeding met ringkerntrafo enkele zwaarwegende voordeLEN. Aan de ene kant is het rendement hoger dan bij een lineaire voeding, en



Figuur 2. Principe van een softstartschakeling met thermistor en relais.



Figuur 3. Blokschema van de softstart-unit.

aan de andere kant kunnen dankzij de geringere afmetingen kleinere en lichtere eindversterkers worden gebouwd, die bovendien gemakkelijk in een luidspre-

kerbox kunnen worden ingebouwd. Een ander voordeel is dat de uitgangsspanning geregeld is, zodat een veilige maximale waarde van de uitgangsspanning ook bij

Advertentie


productronica 2019

12. – 15.11.2019 hall A4, stand 435

**small area ratio,
big performance**



Worldwide innovation: MR-NH
Discover a new dimension in the SMT-production – the new solder paste MR-NH. Even for applications with an area ratio smaller than 0,6. With nearly all stencils. A performance which convinces everyone.

Almit GmbH Unterer Hammer 3 64720 Michelstadt +49 (0) 6061 969250 www.almit.de info@almit.de

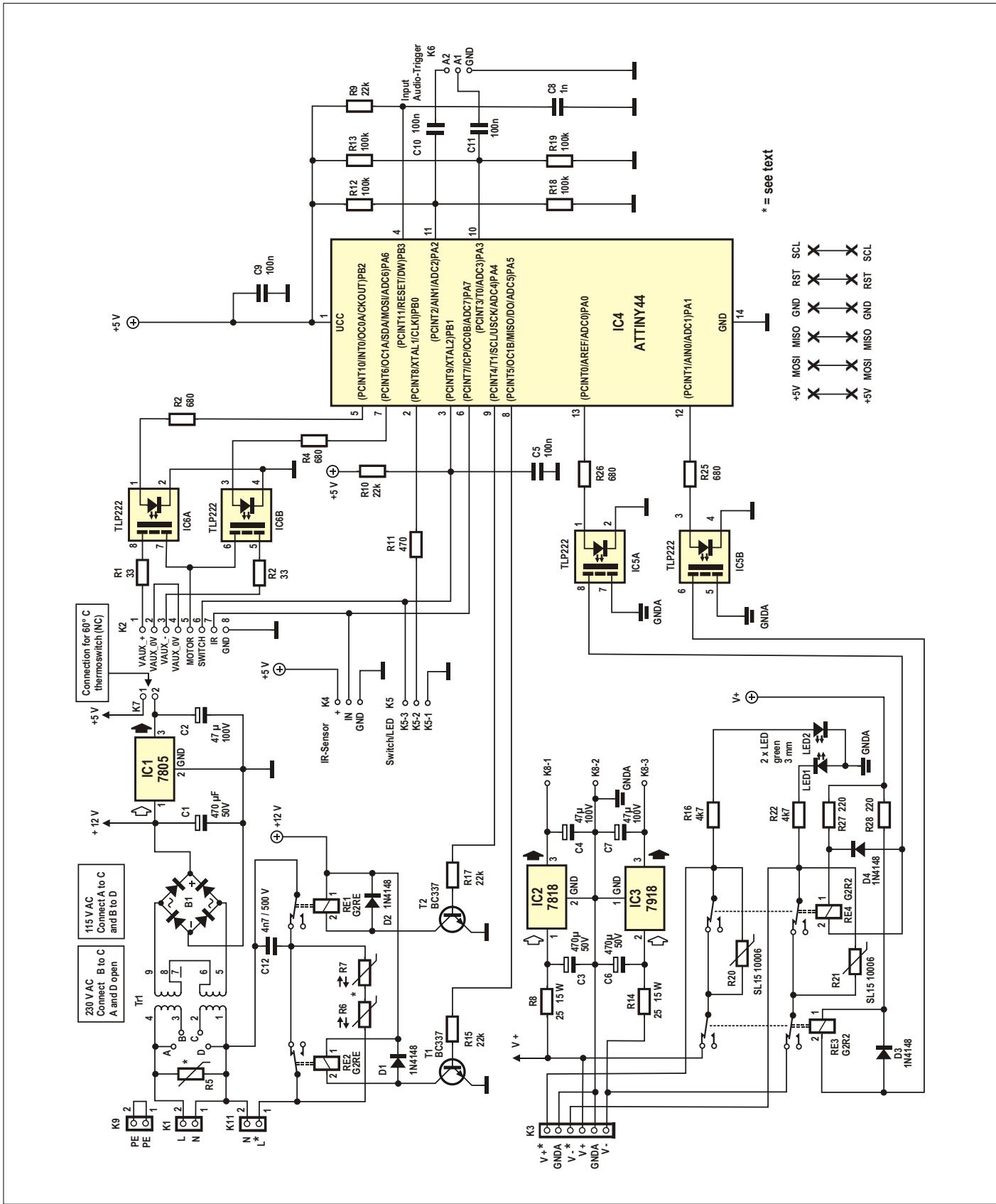
wisselende belasting niet over- of onderschreden wordt. En wanneer de topologie van de regelaar juist wordt gekozen, is het mogelijk een uiterst 'schone' voedings-

spanning te verkrijgen.

Voor audiotoe passingen worden inmiddels speciale schakelende voedingen ontwikkeld [1].

Blokschema

Alle overwegingen hebben uiteindelijk geleid tot een softstart-unit die door een microcontroller wordt gestuurd.



Figuur 4. Het uitgewerkte schema.

Zo'n microcontroller biedt een uitgelezen mogelijkheid om zonder al te veel hardware-omhaal een aantal uitbreidings te realiseren zoals een audio-getriggerde autostart-functie, die de versterker uitschakelt wanneer gedurende enige tijd geen audiosignaal aanligt, en die de versterker automatisch inschakelt zodra een audiosignaal voorhanden is. Ook is een IR-ontvanger ingebouwd waarmee (via een motorpotmeter) het volume geregeld kan worden. **Figuur 3** toont het blokschema van de uiteindelijke schakeling.

Het hart van de schakeling wordt gevormd door de microcontroller – en hoewel die prominent aanwezig is, kon in de praktijk worden volstaan met een relatief bescheiden ATTiny44. De netspanning komt van links binnen en voedt de softstart-unit via een eigen kleine trafo. Tegelijk gaat die netspanning via een relais/thermistor-schakeling naar de eigenlijke (schakelende) voeding van de versterker rechtsboven.

Deze levert de voedingsspanningen V1+ en V1- voor de versterker, die nog eens extra via relais/thermistor-combinaties zijn beveiligd. Hieruit worden op conventionele wijze de spanningen V2+ en V2- afgeleid waarmee een voorversterker kan worden gevoed. Daarnaast levert de voeding nog een hulpspanning die wordt gebruikt voor de aansturing van de motorpotmeter.

Het uitgewerkte schema...

...is getekend in **figuur 4**. De diverse componenten van het blokschema zijn zonder veel moeite te herkennen. Linksboven (K9, K1 en K11) is het netspanningsdeel. Op K1 wordt de netspanning voor de voeding van de softstart-unit zelf aangesloten. De geschakelde netspanning voor de schakelende voeding loopt via K11.

K9 heeft verder geen werkelijke functie maar dient slechts om een eventuele randaarde (PE, Protective Earth) conformabel door te lussen.

De voedingsspanningen voor de versterker die door de schakelende voeding worden geleverd, komen als V+, GND en V- binnen op K3. Het bekende lineaire regelaarpaartje 7818/7918 (IC2 en IC3) maakt hier een extra gestabiliseerde voedingsspanning van ±18 V van ten behoeve van een eventuele voorversterker. V+ en V- gaan via de relais R3

en R4 als V+* en V-* naar de versterker. De beide groene LED's dienen als statusindicatie.

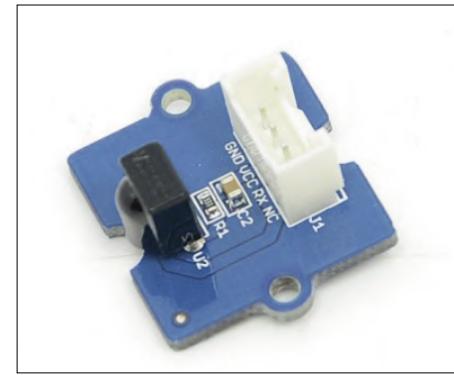
De door de auteur gebruikte versterervoeding levert nog een hulpspanning VAUX waarmee de motor van de motorpotmeter voor de volumeregeling wordt aangestuurd. Deze spanning komt binnen op connector K2 en wordt door de beide halfgeleiderrelais in IC6 naar behoefte doorgeschakeld naar de motor.

De schakelaar (druktoets) voor handmatig in- en uitschakelen wordt, samen met een aan/uit-LED, op K5 aangesloten. De IR-ontvanger wordt op K4 aangesloten.

De IR-ontvanger

De mogelijkheid om een IR-ontvangen aan te sluiten en de versterker zo op afstand te kunnen bedienen, is natuurlijk bijzonder aantrekkelijk. Er bleken echter een paar haken en ogen aan te zitten. Het grote probleem is uiteraard voor welke afstandsbedieningen (lees: welke dataprotocolen) de software geschikt moet zijn. Er zijn talloze IR-afstandsbedieningen in omloop, en eveneens talloze variaties van het IR-protocol.

Om deze reden heeft de auteur het idee laten varen om een specifieke afstandsbediening te gebruiken en de software



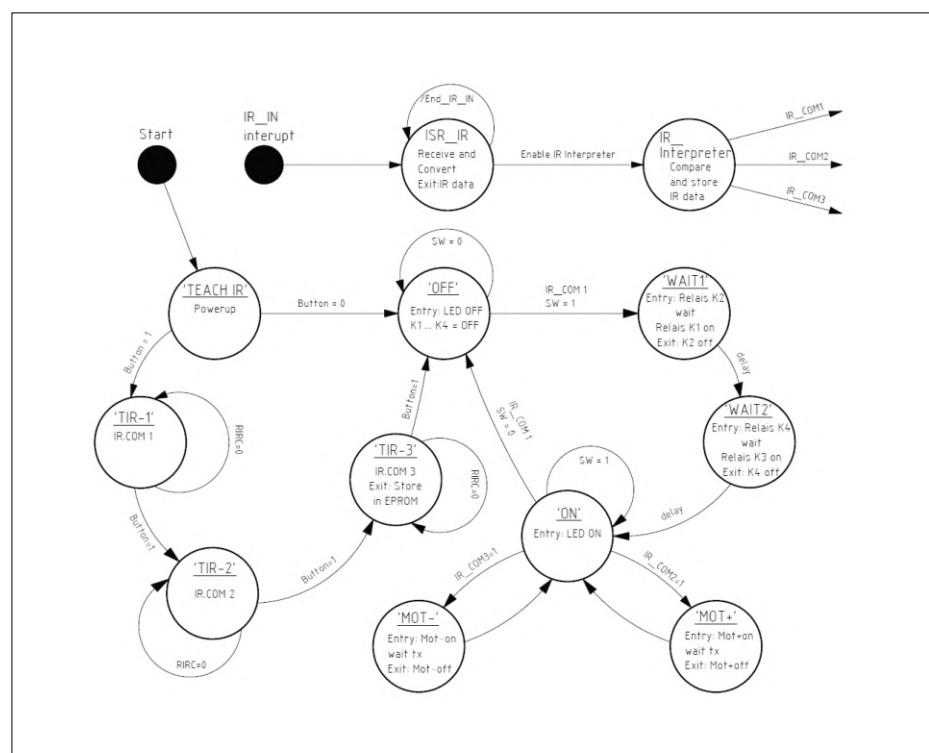
Figuur 5. De door de auteur gebruikte IR-ontvangermodule.

daarop af te stemmen. In plaats daarvan is de software voor de softstart-unit zo opgezet dat deze – binnen zekere grenzen – enkele commando's van gangbare IR-afstandsbedieningen kan leren.

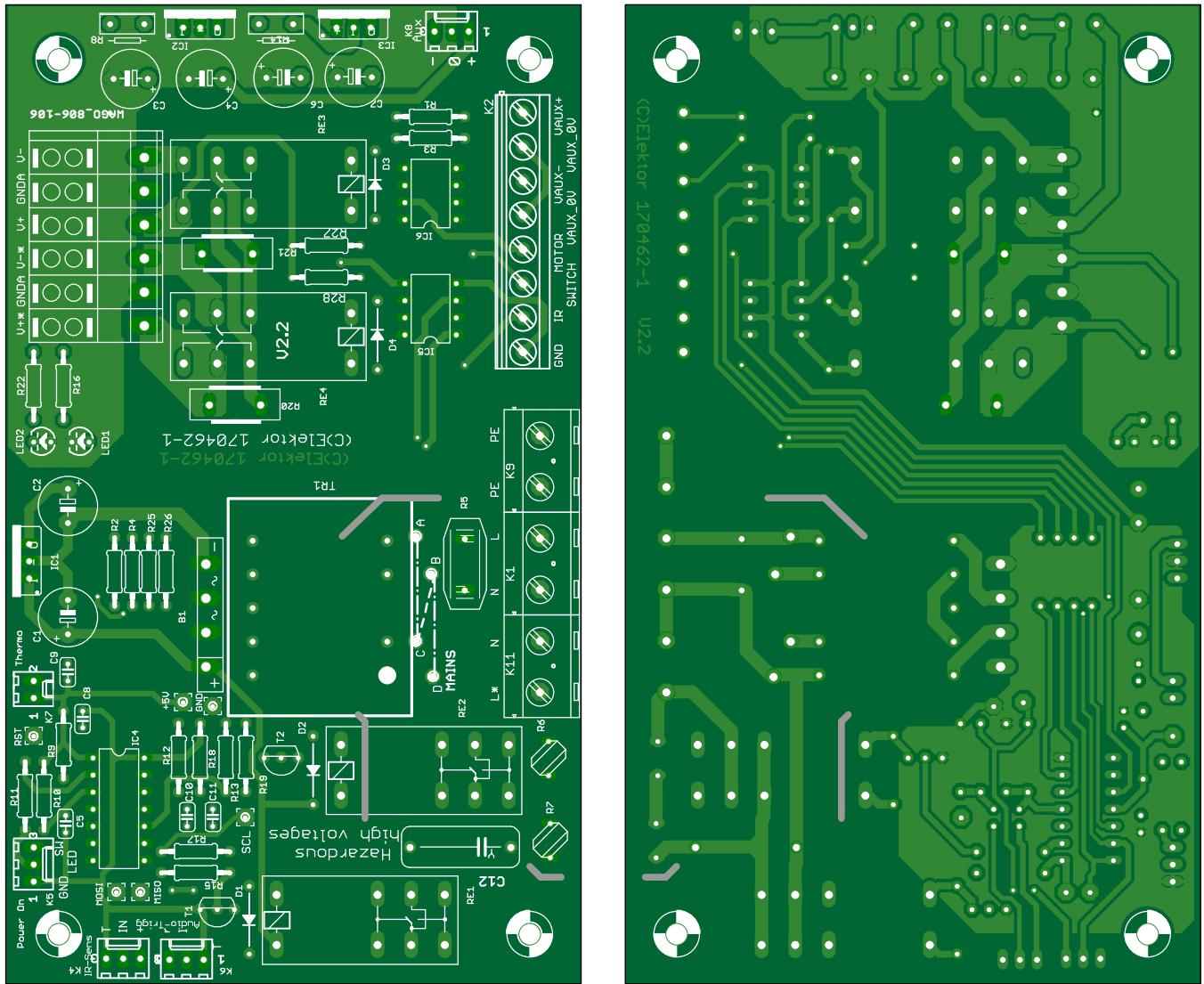
Onder het motto "Keep it simple" ondersteunt de software niet meer dan drie commando's, die voor de bediening van een audio-eindversterker echter voldoende zijn:

- aan/uit;
- volume +;
- volume -.

We hebben gebruik gemaakt van een kant-en-klare IR-ontvanger; die zijn dermate goedkoop dat het niet loont zelf iets



Figuur 6. Toestandsdiagram van de firmware.



Figuur 7. De voor de softstart-unit ontworpen print.

Voor een boterzachte start

te gaan fabrieken. Bovendien decoderen zulke ontvangers (zie **figuur 5**) het ontvangen IR-signaal en leveren aan hun uitgang een gebruiksklaar gedemoduleerd signaal dat direct aan de microcontroller kan worden toegevoerd. Onder [2] vindt u een heleboel nuttige informatie over dit onderwerp.

Tenslotte: op connector K7 kan (desgewenst) een thermostaatmodule worden aangesloten waarmee de versterker kan worden uitgeschakeld wanneer de tem-

peratuur in de behuizing te hoog dreigt op te lopen (dat wil zeggen hoger wordt dan ongeveer 60 °C).

De software

De software is in assembler geschreven voor een ATTiny44; daarbij is gebruik gemaakt van ATTEL Studio 7. Dankzij de ruime hardwarefunctionaliteit van de ATTiny44 en het voldoend grote geheugen is uiteindelijk een compacte oplossing voor de softstart-unit uit de bus gekomen (zeker wanneer we de moe-

lijkheden ervan in aanmerking nemen). Voor de goede orde: we gaan hier niet uitgebreid op de code zelf in; wie dat leuk vindt kan de firmware downloaden en zelf uitpluizen.

Een van de meest interessante features van de ATTiny is de zogenaamde 'Capture Function' die we dankbaar voor de IR-ontvangst hebben gebruikt. Met behulp van deze functie laadt de µC bij elke flank van het signaal op de capture-ingangspin een kopie van de tellerstand van de 16bit-timer in het zogenaamde capture register. Op deze manier is een uiterst nauwkeurige (orde van grootte: microseconden) tijdmeting mogelijk.

Figuur 6 toont het toestandsdiagram van de software. De microcontroller



ONDERDELENLIJST

Weerstanden:

R1,R3 = 33 Ω koolfilm, 5%, 0,25 W, 250 V
 R2,R4,R25,R26 = 680 Ω koolfilm, 5%, 0,25 W, 250 V
 R5 = varistor, Epcos B72210S2271K101 (voor 230 V_{AC} netspanning) *
 R5 = varistor, Epcos B72210S2151K101 (voor 115 V_{AC} netspanning) *
 R6,R7 = NTC 16 Ω, 2,1 W, Epcos B57236S160M (voor 230 V_{AC} netspanning) *
 R6 = NTC 16 Ω, 2,1 W, Epcos B57236S160M (voor 115 V_{AC} netspanning) *
 R7 = draadbrug (voor 115 V_{AC} netspanning) *
 R8,R14 = 25 Ω, 1%, 15 W, T1-126, Caddock 915
 R9,R10,R15,R17 = 22 k koolfilm, 5%, 0,25 W, 250 V
 R11 = 470 Ω koolfilm, 5%, 0,25 W, 250 V
 R12,R13,R18,R19 = 100 k koolfilm, 5%, 0,25 W, 250 V
 R16,R22 = 4k7 koolfilm, 5%, 0,25 W, 250 V
 R20,R21 = thermistor, ICL NTC, 10 Ω, -20% tot +20%, radiaal, Ametherm SL15 10006
 R27,R28 = 220 Ω metaalfilm, 1%, 0,6 W, 350V

Condensatoren:

C1,C3,C6 = 470 μF, 50 V, steek 5 mm (13x21 mm)
 C2,C4,C7 = 47 μF, 100 V, steek 5 mm
 C5,C9,C10,C11 = 100 n, 50 V, X7R, steek 5,08 mm
 C8 = 1 n, 100 V, X7R, steek 2,54 mm
 C12 = 4,7 n, X1/Y1, 500 V, Y5U, steek 15 mm

Halfgeleiders:

D1...D4 = 1N4148
 B1 = bruggelijkerichter 600 V, 4 A, GBU405
 LED1,LED2 = LED groen, 3 mm
 T1,T2 = BC337
 IC1 = 7805 (+5 V, 1 A)
 IC2 = 7818 (+18 V, 1 A)
 IC3 = 7918 (-18 V, 1 A)
 IC4 = microcontroller ATTiny44-20PU, geprogrammeerd 170462-41 *
 IC5,IC6 = dubbele optocoupler TLP222A-2

Diversen:

K1,K9,K11 = 2-polige printkroonsteen, steek 7,68 mm (630 V)
 K2 = 8-polige printkroonsteen, steek 5,08 mm (300 V)

K3 = 6-polige 2-draads printklem Wago 806-106 *

K3 = bijpassende 6-polige pinheader Wago 806-906 *

K3 = 6-polige printkroonsteen, raster 5,08 mm (300 V), bijv. Multicomp MC000039 *

K4,K5,K6,K8 = 3-polige pinheader, raster 2,54 mm + passende kabeldelen

K7 = 2-polige pinheader, steek 2,54 mm + passend kabeldeel

krimpconnectore 1-polig, minimaal 14 stuks

TR1 = veiligheidstransformator, 1,5 VA, primair 2x115 V, secundair 2x6 V, bijv. Block AVB1.5/2/6

RE1,RE2 = vermogensrelais, SPDT, 12VDC, 16 A, through-hole (Omron G2R-1-E 12DC)

RE3,RE4 = vermogensrelais, DPDT, 24 VDC, 8 A, niet-vergrendelend (Omron G2RL-24-CF-DC24)

GRV IR-ontvanger (Seeed)

thermostaat 60 °C, bijv. Thermorex TK24-T02-MG01-Ö60-S50 print 170462-1 (v2.21)

* zie tekst

bedient in totaal vier relais (K1...K4 in de figuur, RE1...RE4 in het schema) voor het inschakelproces. In figuur 6 is 'button' de druktoets voor het handmatig uitschakelen (zie verderop). Het proces verloopt sequentieel.

Als eerste activeert relais RE2 de thermistor R6/R7. Na korte tijd wordt de stroomkring gesloten door relais RE1, en na afloop van de wachttijd 'wait1' wordt relais RE2 weer afgeschakeld zodat de thermistor geen invloed meer heeft. De schakelende voeding voor de versterker is nu rechtstreeks met het lichtnet verbonden, maar is op dit moment nog onbelast.

Nu wordt de voedingsspanning naar de versterker doorgeschakeld. Als eerste schakelt relais RE4 de beide thermistoren R20 en R21 in de positieve en negatieve voedingslijnen van de versterker. Dit is gedaan om de 'dikke' bufferelco van de versterker stroombegrensd te laden. Hierdoor worden de betreffende componenten ontzien en wordt voorkomen dat de schakelende voeding in een kortsluitlus blijft 'hangen'. Na weer een korte vertraging wordt de voedingsspanning door relais RE3 'hard' doorgeschakeld.

Commando's aanleren

De 'leermodus' voor de IR-afstandsbediening wordt geactiveerd wanneer we de idrukttoets ingedrukt houden terwijl we de stekker van de softstart-unit in het stopcontact steken. Vervolgens drukken we op de gewenste toets van de afstandsbediening; de softstart-unit onthoudt het IR-signal en slaat dat in EEPROM op. De LED geeft een geslaagde ontvangst aan. Om het tweede commando aan te leren, moet nogmaals op de druktoets worden gedrukt, evenzo voor het derde commando.

In totaal kunnen, zoals eerder al opgemerkt, drie commando's

Advertentie

The i-CON VARIO Series

Perfect soldering and desoldering tools



More about the i-CON product family



Ersa GmbH
97877 Wertheim
info@ersa.de
www.ersa.com

kurtz eresa

worden opgeslagen. Het eerste commando is het aan/uit-commando, het tweede het commando volume+ ('harder') en het derde het commando volume- ('zachter').

Een laatste opmerking over de hardware

De hardware beschikt over een autostart-functie. Zodra een audiospanning aan de differentiële ingang van de microcontroller (pinnen 10 en 11) aanligt, schakelt de versterker zichzelf in op de manier die hierboven is beschreven. De schakeldrempel bedraagt ongeveer 20 mV. Wanneer gedurende een periode van ongeveer 5 minuten geen ingangssignaal wordt gedetecteerd, schakelt de versterker zichzelf weer uit. Het standby-verbruik van de schakeling is in dat geval minder dan 1 W. Het audiosignaal zelf wordt op connector K6 aangesloten.

De auteur gebruikt een schakelende voeding van het type SMPS300RE van Connex Electronics. Deze levert een extra hulpspanning van ± 12 V, die wordt gebruikt voor de aansturing van de motorpotmeter van de versterker. Hiertoe schakelen de twee bidirectionele MOS-relais in IC6 ofwel de positieve ofwel de negatieve hulpspanning naar de motor door. De stroom wordt begrensd door weerstanden R1 en R2. Elk volume-commando schakelt de motor gedurende 500 ms in de gewenste draairichting in.

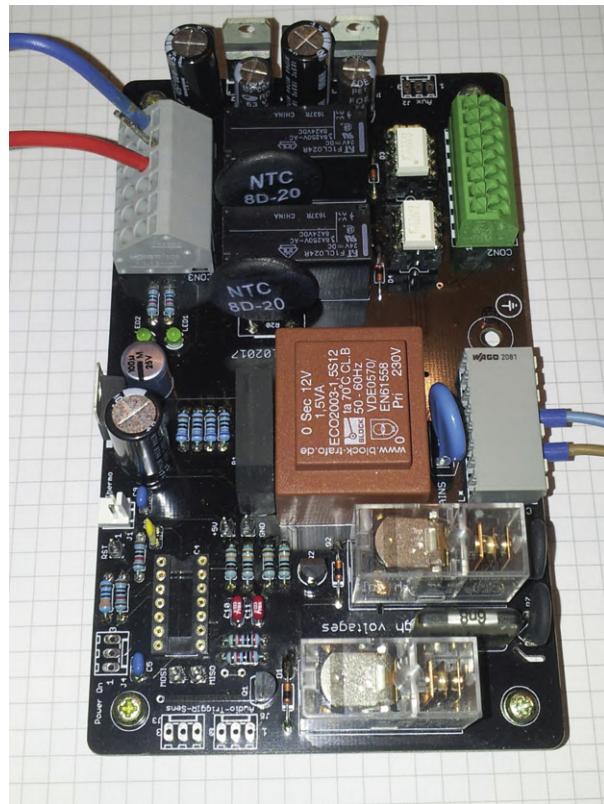
Wanneer de versterker is ingeschakeld, kan deze worden uitgeschakeld door de druktoets in te drukken.

Bouw

Voor de softstart-unit is een (dubbelzijdige) print ontworpen – zie **figuur 7**. En het zal u ongetwijfeld een plezier doen dat dit een echt 'ouderwetse' print is, met uitsluitend through-hole componenten. Geen gepriegel dus met SMD's.

We hebben het oorspronkelijke ontwerp van de auteur een beetje 'geïnternationaliseerd' – dat wil zeggen geschikt gemaakt voor zowel 230V-netspanning als voor 110V-netspanning. Dat betekent wel dat u bij de keuze en montage van enkele onderdelen moet opletten.

- In de eerste plaats de trafo. Dat is een exemplaar met 2 primaire wikkelingen. Voor 230 V moeten



op de print de punten B en C worden doorverbonden (gebruik geïsoleerde montagedraad!) terwijl de punten A en D open blijven. Voor 115 V moet punt A met punt C worden verbonden en punt B met punt D (wederom: gebruik geïsoleerde montagedraad!).

- Dan de varistor R5. Deze heeft voor 230 V een andere waarde dan voor 115 V. Kijk hier goed in de onderdelenlijst!
- Tenslotte de thermistors R6 en R7. Deze hebben weliswaar dezelfde waarde (zie onderdelenlijst), maar voor 230 V moeten beide thermistors worden gemonteerd, terwijl voor 115 V uitsluitend R6 wordt gemonteerd en R7 door een (geïsoleerde!) draadbrug wordt vervangen.

Als laatste verdient connector K3 enige aandacht. De auteur heeft daar een

Wago-printklem gebruikt, die op zich prima voldoet maar die buiten Duitsland wellicht lastig verkrijgbaar is. In plaats daarvan kunt ook een zespolige printkroonsteen met een steek van 5,08 mm gebruiken, bijvoorbeeld met Multicomp-type uit de onderdelenlijst. Let op: kiest u voor de Wago-printklem, dan dient u ook de bijpassende zespolige pinheader van Wago te bestellen!

De print is uiteraard verkrijgbaar in onze shop, en datzelfde geldt voor de geprogrammeerde ATTiny44 (zie kader 'In de store'). Wanneer u echter zelf uw controller wilt programmeren, dan kan dat ook. De firmware kan van de projectpagina bij dit artikel [3] worden gedownload (gratis, zoals u van ons gewend bent). U kunt de ATTiny44 dan programmeren met een AVRISP, die op de corresponderende printpennen op de print (5V, MOSI, MISO, GND, RST en SCL) wordt aangesloten.

Last but not least: delen van de print voeren levensgevaarlijke spanningen; bouw het geheel daarom aanraakveilig in! Rest ons nog u veel nabouwplezier te wensen, en een lang en ongestoord luistergenot. ►

(170462-01)

IN DE STORE

- Kale print
www.elektror.nl/170462-1
- Geprogrammeerde microcontroller
www.elektror.nl/170462-41
- USB ISP-Programmer Stick for AVR
www.elektror.nl/18438

Weblinks

- [1] Schakelende voedingen voor audioversterkers: www.audiphonics.fr
- [2] Infrarood-ontvangers (en andere interessante zaken): www.electronics-base.com
- [3] Projectpagina bij dit artikel: www.elektrormagazine.nl/170462-01

Baluns

vreemde onderdelen

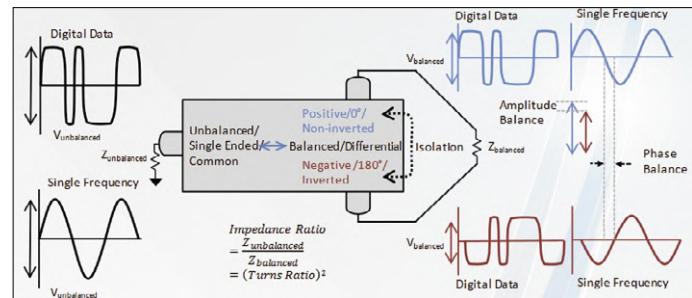
Neil Gruending (Canada)

In 1939 werd op het Empire State Building voor het eerst een 'balun' in de voedingslijn van een televisie-antenne gebruikt. Nu, bijna 100 jaar later, zijn baluns voor onze moderne samenleving belangrijker dan ooit. Maar voordat we die baluns nader bekijken, moeten we het eerst over 'balanceren' hebben.

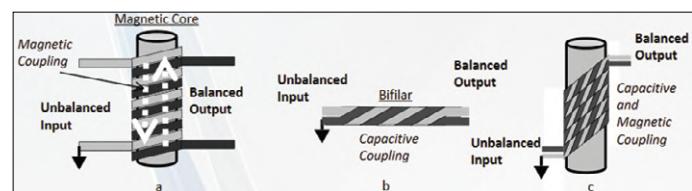
Een gebalanceerde transmissielijn is van groot belang omdat hierdoor uitstraling en ontvangst van storingen sterk worden gereduceerd. De truc om alles 'in balans' te houden is ervoor te zorgen dat de geleiders dezelfde lengte en impedantie hebben, zodat de stroom die door de ene geleider loopt, in tegenfase is met de retourstroom in de andere geleider. Wanneer de stromen precies 180 graden uit fase zijn, zullen de corresponderende elektrische velden elkaar opheffen zodat geen signaal kan worden afgestraald. Bij een lintkabel (in de oude vorm: 'kippenladder') gebeurt dit bijvoorbeeld doordat de geleiders op een constante afstand van elkaar worden gehouden; dipoolantennes gebruiken even lange geleiders in tegengestelde richtingen.

Maar het onvermijdelijke probleem is dat op een gegeven moment een ongebalanceerd, enkelzijdig signaal moet worden aangesloten op de gebalanceerde transmissielijn zoals een coax-voedingslijn voor een dipoolantenne. In dat geval zal het dipolelement dat is aangesloten op de binnengeleider (de kern) van de coaxkabel alle stroom afstralen, maar het element dat is aangesloten op de afscherming (de mantel) zal slechts een fractie van de tegengesteld gerichte stroom afstralen. De rest van de stroom loopt langs de buitenkant van de afscherming en veroorzaakt ongewenste straling ten gevolge van de impedantie-mis aanpassing [2]. Een *balun* (BALanced/UNbalanced) kan hier gebruikt worden om de misaanpassing te corrigeren en de mantelstroom van het dipolelement af te voeren.

De technische definitie van een balun is een 3-poort met een enkelzijdige ingang ten opzichte van massa en een differentiële of gebalanceerde uitgang, zoals geschetst in **figuur 1**. Een balun wordt zo ontworpen dat de ongebalanceerde ingang is afgestemd op de impedantie van de ingangslijn, en dat de uitgangen gelijk en 180 graden uit fase zijn en een gebalanceerde impedantie hebben. De verhouding van de ongebalanceerde en gebalanceerde impedanties wordt de impedantieverhouding genoemd en bedraagt meestal 1:1 of 1:4.



Figuur 1: Zo werkt een balun [1].



Figuur 2: Constructie van verschillende baluns [1].

Baluns kunnen magnetisch of capacitief gekoppeld zijn (of een combinatie van beide) zoals in **figuur 2**; magnetische koppeling komt het meeste voor. Deze wordt gerealiseerd door twee aparte wikkelingen op een magnetisch geleidende kern te wikkelen; de verhouding tussen het aantal primaire en secundaire windingen bepaalt de impedantieverhouding van de balun. Magnetische koppeling wordt doorgaans gebruikt tot ongeveer 1 GHz; vanaf die frequentie wordt capacitieve koppeling effectiever. De daadwerkelijke opbouw van de balun hangt ook af van de vraag of het een balun met gebalanceerde spanning- of gebalanceerde stroomuitgang is, en van de gebruikte frequenties.

Baluns hebben veel toepassingen in hoogfrequent-schakelingen, maar men komt ze ook tegen bij high-speed signaaloverdracht over grote afstanden, zoals Ethernet, USB en HDMI. Ze kunnen zelfs worden gebruikt om snelle differentiële ADC's aan te sluiten op enkelzijdige signalen, waarbij ze tevens meer spanningsversterking leveren bij een lager ruisniveau dan traditionele differentiële versterkers. Maar het mooiste van baluns is dat u ze zelf kunt wikkelen om bij uw volgende project uit te proberen. U kunt ze zelfs 'omgekeerd' gebruiken om gebalanceerde signalen om te zetten in ongebalanceerde signalen! ▶

(180575-F-03)

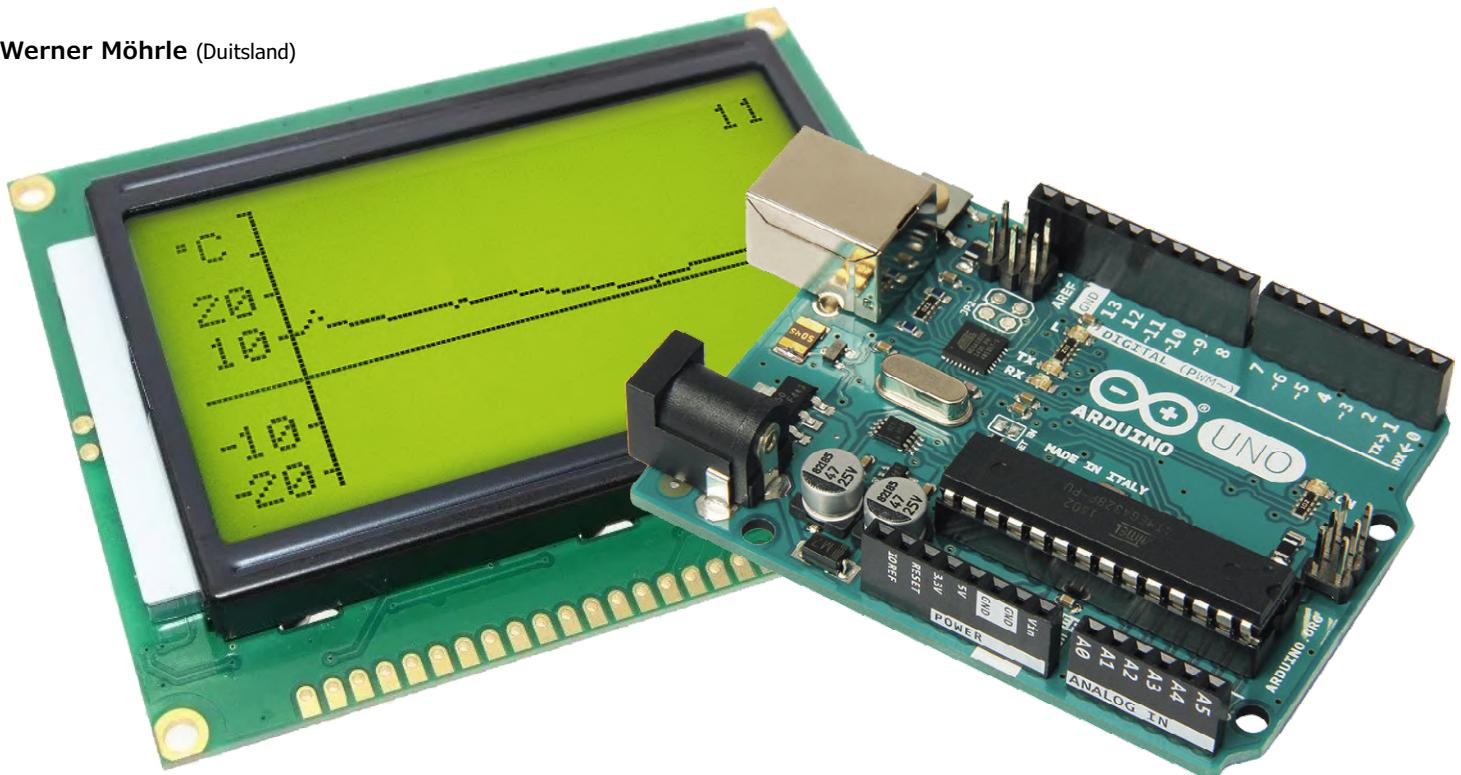
Weblinks

- [1] Werking van een balun: www.markimicrowave.com/Assets/appnotes/balun_basics_primer.pdf
- [2] Constructie van baluns: www.eznec.com/Amateur/Articles/Baluns.pdf

Arduino-temperatuurrecorder

log around the clock!

Werner Möhrle (Duitsland)



Met de Arduino Uno kunt u allerlei fraaie, kleine projecten bouwen tegen een redelijke prijs. Hier beschrijven we een eenvoudige temperatuurrecorder die de gemeten waarden van de afgelopen 24 uur weergeeft op een display. De software verdient speciale aandacht omdat geen externe bibliotheken nodig zijn.

De temperatuurrecorder meet de temperatuur in de loop van een dag en toont de gemeten waarden op een grafisch display. Wanneer een nieuwe meetwaarde wordt toegevoegd, wordt de curve op het display één pixel naar links verschoven, zodat de oudste waarde verdwijnt en de nieuwe waarde wordt toegevoegd. Het meetinterval kan eenvoudig worden gewijzigd om snellere temperatuurveranderingen te registreren, bijvoorbeeld tijdens regelprocessen.

De schakeling van **figuur 1** toont de (niet meer dan) drie componenten (plus een beetje passieve periferie) van onze mini-temperatuurrecorder.

Programmeerbaar temperatuursensor

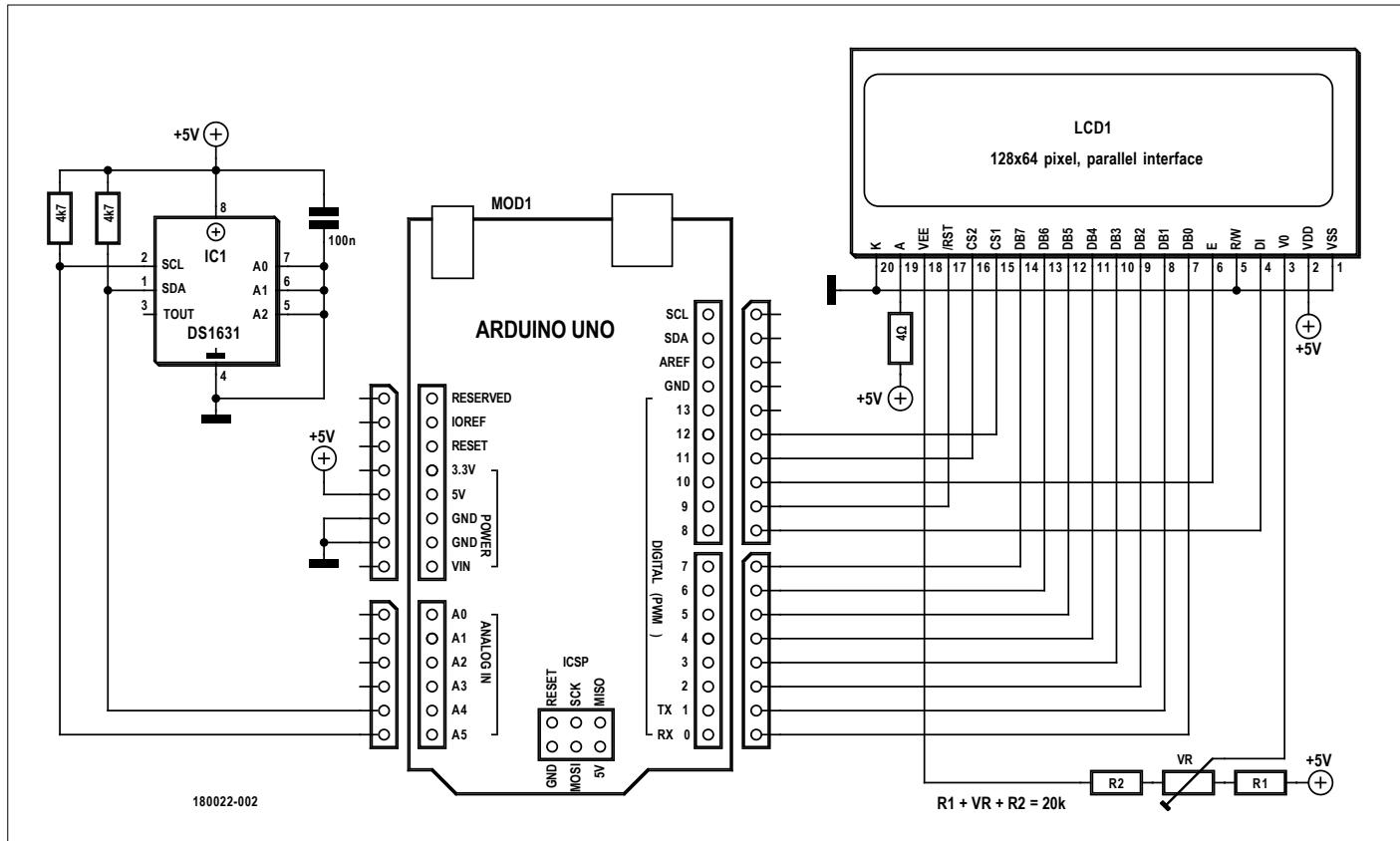
De DS1631-temperatuursensor meet temperaturen tussen -55°C en $+125^{\circ}\text{C}$, in het bereik van $0\ldots70^{\circ}\text{C}$ met een fout van $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Het meetresultaat wordt opgeslagen in een register met een resolutie van 9...12 bit (door de gebruiker in te stellen) en kan daar worden gelezen. Met een voedingsspanning van $3,0\ldots5,5\text{ V}$ is de sensor geschikt voor gebruik met

een grote verscheidenheid aan microcontrollers. En wat tegenwoordig niet meer vanzelfsprekend is: de DS1631 is niet alleen als SMD-component leverbaar, maar ook in een DIP-behuizing. De DS1631, waarvan het adres programmeerbaar is via de pinnen A0...A2, communiceert met de besturing via een I²C-bus. In het (interne) blokschema van de sensor (**figuur 2**) zien we de configuratieregisters die door de controller worden beschreven, en een read-only temperatuurregister waar de controller de gemeten temperatuur uit leest. De sensor wordt door de Arduino-temperatuurrecorder in continu-modus met een resolutie van 12 bit gebruikt.

Met de beide registers TH en TL kan een hysteresis worden gespecificeerd, waardoor de DS1631 als thermostaat (met schakeluitgang TOUT) kan worden gebruikt. Van deze functie wordt hier echter geen gebruik gemaakt.

Een geschikt display

Het is tegenwoordig gebruikelijk om grafische displays met een seriële bus (I²C of SPI) te gebruiken. Maar omdat de tem-



Figuur 1. De schakeling van de temperatuurrecorder heeft slechts drie componenten.

peratuursensor al is voorzien van een I²C-bus en slechts drie I/O-pinnen van de Arduino in beslag neemt, zijn er voldoende pinnen beschikbaar voor een parallele aansturing van het display. Dat heeft geen speciale voor- of nadelen maar spaart een paar cent kosten uit.

Bruikbare displays met 128x64 pixels zijn in overvloed leverbaar (Visay, Lumex, Winstar...) en worden voor minder dan € 10 aangeboden op ebay en consorten. Grootte en kleur zijn geheel naar uw smaak, u moet er alleen maar op letten dat de pinning (zie **kader**) klopt – er bestaan namelijk verschillende aansluitvarianten.

Het grafische display (**figuur 3**) toont een plot van 108 temperatuurmeetwaarden in een coördinatensysteem. Als de 108 waarden moeten corresponderen met 24 uur, is de resolutie

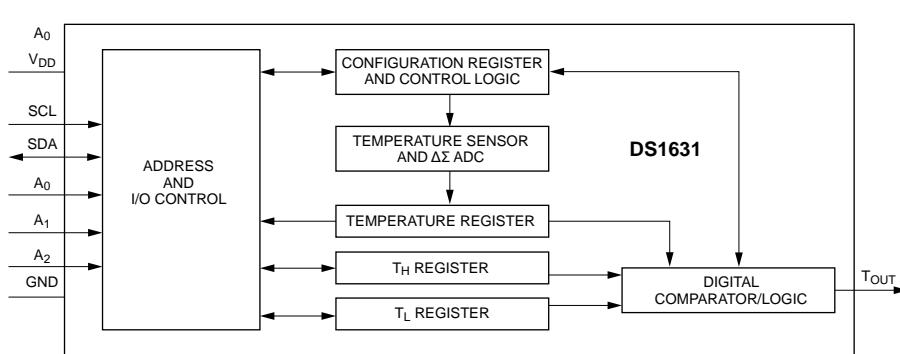
van het display in de tijd gelijk aan 800 s, iets minder dan een kwartier. De momentele temperatuur wordt in de rechterbovenhoek van het display weergegeven.

Het rekencentrum

De derde component, de Arduino Uno, start de temperatuurmetingen, registreert de gemeten temperatuurwaarden en rekent deze om naar correct op het display geplaatste pixels.

Sketch zonder bibliotheken

Al meteen valt bij het goed bcommentarieerde sketch [1] op dat er helemaal geen externe bibliotheken zijn ingesloten. Alle schrijf- en leesbewerkingen met de sensor en met het display worden uitgevoerd met de middelen die de Arduino IDE ter



Figuur 2. De interne functionaliteit van de temperatuursensor (bron: Maxim Integrated).

Aansluitgegevens van het display

Pin	Symbol	Functie
1	VSS	voedingsspanning 0 V
2	VDD	voedingsspanning +5 V
3	V0	voedingsspanning LCD-driver
4	D/I	H: data-in, L: commando in
5	R/W	H: data lezen, L: data schrijven
6	E	Enable (negatieve flank)
7...14	DB0...7	databus
15	CS1	chip select voor IC1 (segmentdriver 1...64)
16	CS2	chip select voor IC1 (segmentdriver 65...128)
17	RES	reset (actief laag)
18	VEE	uitgang negatieve spanning
19	A	LED-achtergrondverlichting (anode)
20	K	LED-achtergrondverlichting (kathode)

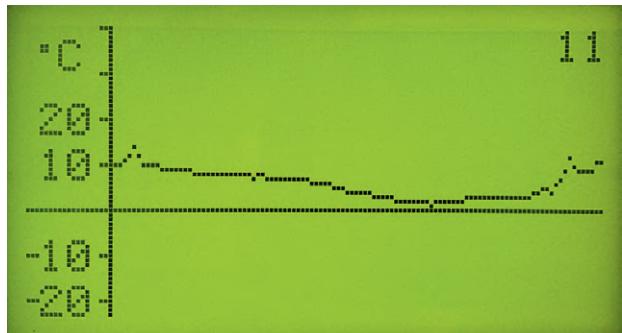
beschikking stelt.

De belangrijkste functies staan aan het eind van de sketch. Het initialiseren van de controller, de temperatuursensor en het display gebeurt in de `setup`-functie. In de hoofdroutine `loop` worden de gegevens van de temperatuursensor uitgelezen (`read_temp`) na aanroep door de timingklok zijn opgeroepen (`meas_flag==1`); hieruit wordt de gemeten temperatuurwaarde berekend (`cal_temp`). De variabele wordt op nul gezet bij overschrijden van de maximaal weer te geven grenswaarden van -23 °C en +40 °C. Hieruit wordt de waarde van de verticale as berekend (`cal_measval`), de corresponderende data voor het laden van het display bepaald (`set_measure(-measval)`) en ten slotte wordt het display daarmee bijgewerkt. Als voorbereiding op de uitvoer van de volgende meting worden de pixelgegevens van de temperatuurwaarden één pixel naar links verschoven, zodat de oudste meetwaarde verdwijnt. De timingroutine is de Interrupt Service Routine die helemaal aan het einde van de sketch staat. Hier wordt het meetinterval ingesteld op 800 s, zodat de in totaal 108 weer te geven meetintervallen één keer per 108×800 s = 24 uur wordt doorlopen. Om de sketch te testen, kunt u het interval verkorten tot bijvoorbeeld 2 s.

De aansturing van de sensor staat ook vrij ver onder in de sketch. Daarbij wordt de 2-Wire hardware-interface van de controller (A4 voor SDA en A5 voor SCL) gebruikt. In de functie `write_to_config` het configuratieregister geschreven. Met `TWDR=0xAC` wordt het configuratieregister benaderd en met `TWDR=0x0x0C` de 12-bit continu-modus geselecteerd. Vervolgens worden met de functie `start_convert` de metingen gestart (`TWDR=0x51`).

De functie `read_temp` zorgt ervoor dat de twee bytes van het register met de actuele temperatuurwaarde na elkaar (`TWCR=0x84`) worden gelezen en worden opgeslagen in de variabelen `temp_h` en `temp_l`. De functie `cal_temp` zet dan de beide binairwaarden om in de signed float-variabiele `temp`.

De 64 horizontale rijen van de 128x64 dot matrix van het display zijn verdeeld over een temperatuurbereik van -23...+40 °C, de 128 verticale kolommen in 19 pixels voor de weergave van de temperatuurschaal en 109 pixels voor de temperatuurcurve.



Figuur 3. Het display met de 108 gemeten temperatuurwaarden van de laatste 24 uur.

Het display zelf wordt aangestuurd door een segmentdriver voor de linkerhelft (CS1) en een voor de rechterhelft (CS2), opgesplitst in acht over elkaar liggende pagina's met elk 64x8 bits.

Het programma in vogelvlucht

In het array `num[11][5]` is vastgelegd hoe de cijfers van de actuele temperatuur in de rechterbovenhoek van het display – dus welke pixels zwart moeten zijn. In het array `dmask[8][128]` wordt de volledige inhoud van het display opgeslagen om de meetwaarden na elke nieuwe meting één pixel naar links verschoven te kunnen weergeven.

De daaropvolgende functies worden gebruikt om het display aan te sturen: `set_ytics` en `set_ylabels` tekenen de assen met de bijbehorende temperatuurschaal, `shift_left` verschuift de vorige temperatuurcurve één pixel naar links, `set_meas` bepaalt met welke waarde en op welk punt de nieuwe meetwaarde in `dmask` wordt geladen en `load_gdisp` laadt het display met de in dit array opgeslagen gegevens. Tenslotte wordt met `load_num` de laatste meetwaarde getalmatig in de rechterbovenhoek weergegeven, als er geen meetwaarden in dit gebied zijn (anders wordt de getalwaarde verder naar onder verschoven).

De software met Duits- en Engelstalig commentaar worden gedownload van de projectpagina bij dit artikel [1].

(180022-04) ▶

Weblink

- [1] Projectpagina bij dit artikel:
www.elektormagazine.nl/180022-04



IN DE STORE

- Arduino Nano
www.elektor.nl/arduino-nano-3

- Boek (Duitstalig): Sensoren am Arduino
www.elektor.de/sensoren-am-arduino

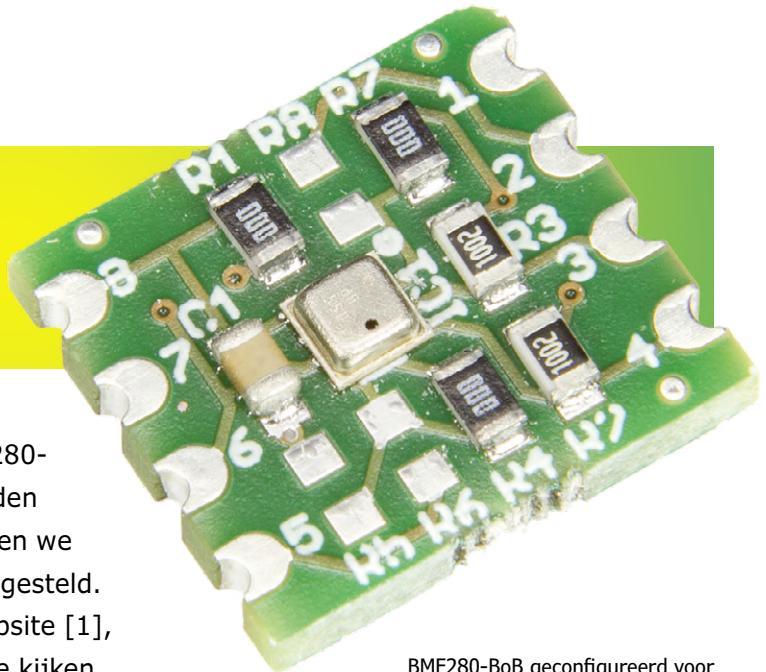
TESTEN EN METEN

Deskundige partners. Merkleiders. Oneindig veel keuze.



Configureren van het Elektor BME280 break-out board

Clemens Valens (Elektor Labs)



Enkele jaren geleden hebben we in Elektor een klein break-out board (BoB) voor de Bosch Sensortec BME280-omgevingssensor gepubliceerd. Deze sensor kan worden geconfigureerd voor communicatie via I²C of via SPI, en we kregen vragen van gebruikers hoe dit moet worden ingesteld. Die informatie kwam wel langs op de Elektor Labs website [1], maar niet iedereen denkt eraan om daar regelmatig te kijken. Vandaar deze 'papieren' versie.

Het BME280-BoB wordt geconfigureerd met een paar 0-Ω-weerstanden. Er zijn drie mogelijkheden:

- I²C met adres 0x76
- I²C met adres 0x77
- SPI

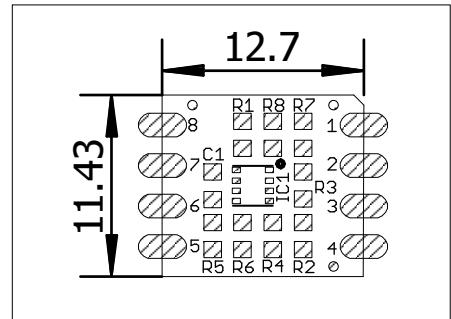
Voor SPI geldt: R8 gemonteerd, R7 niet gemonteerd. Voor I²C geldt: R7 gemonteerd, R8 niet gemonteerd.

Verbind de SDO-pen van de BME280 met GND voor I²C slave-adres 0x76 (R5 gemonteerd, R4 niet gemonteerd), of met VIO voor slave-adres 0x77 (R4 gemonteerd, R5 niet gemonteerd). De voedingsspanning voor de BME280 mag tussen 1,71 V en 3,6 V liggen. De interface heeft een eigen voedingspen (VIO), geschikt voor spanningen tussen 1,2 V en 3,6 V. Weerstand R1 verbindt VDD met VIO. Dit is waarschijnlijk de

meest voorkomende situatie. Verwijder R1 als de module wordt aangesloten op spanningsniveaus die niet gelijk zijn aan de voedingsspanning.

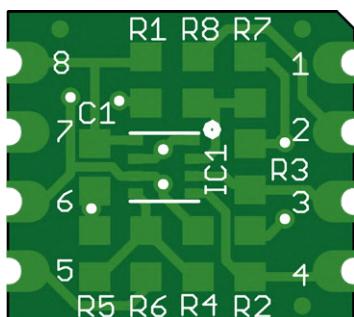
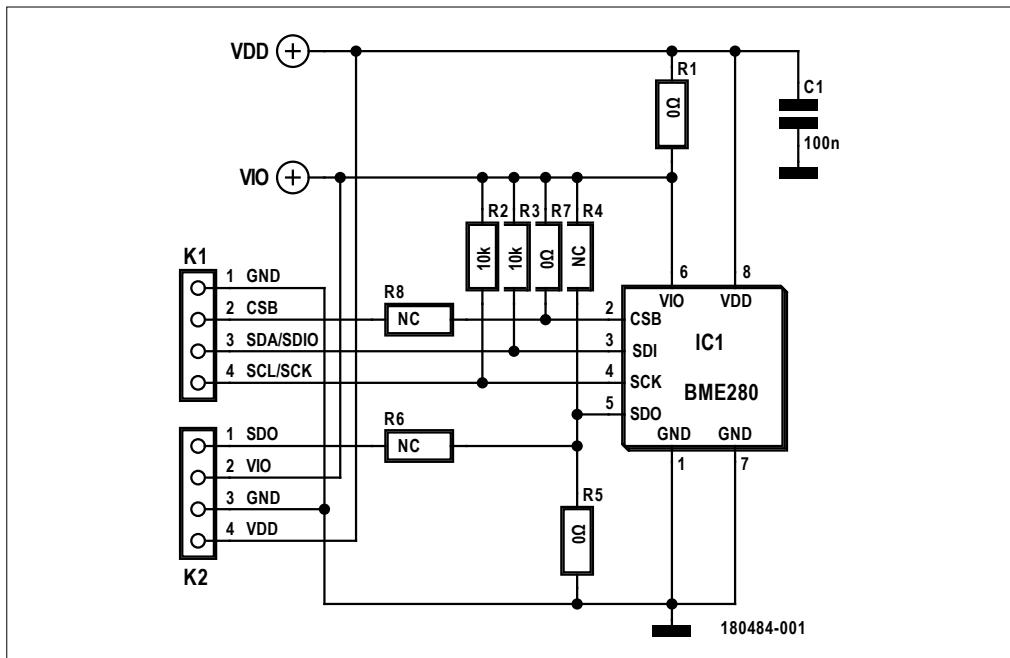
Tabel 1 toont alle instelmogelijkheden. Elektor heeft op GitHub ook een Arduino- en mbed-driver voor de BME280 gepubliceerd [2].

(180484-04)



I ² C (0x76)	I ² C (0x77)	SPI
R1 = 0Ω	R1 = 0Ω	R1 = 0Ω
R2 = 10kΩ	R2 = 10kΩ	R2 = NC
R3 = 10kΩ	R3 = 10kΩ	R3 = NC
R4 = NC R4	R4 = 0Ω	R4 = NC
R5 = 0Ω	R5 = NC	R5 = NC
R6 = NC	R6 = NC	R6 = 0Ω
R7 = 0Ω	R7 = 0Ω	R7 = NC
R8 = NC	R8 = NC	R8 = 0Ω

Tabel 1: Alle bruikbare weerstandscombinaties (NC = niet gemonteerd).



Weblinks

- [1] ElektorLabs-projectpagina: <https://www.elektor-labs.com/1745>
- [2] BME280-driver (Arduino & mbed): <https://github.com/ElektorLabs/bme280-driver>

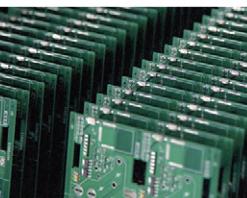
Advertentie



Als fabrikant gevestigd in Shenzhen, China, helpt PCBWay particulieren en bedrijven om elektronische technologische uitdagingen aan te gaan met behulp van hun professionele diensten in PCB-prototyping en montage. Of het nu gaat om een kleine of grote productie, het bedrijf levert zijn deskundige PCB-diensten, allemaal onder één dak.

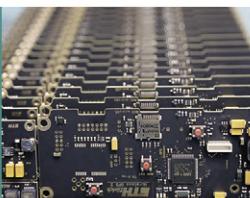
AANGEPASTE PCB-SERVICE
24 uur productietijd

**SLECHTS \$5
VOOR 10 STUKS**



SMT & THT-MONTAGE
Gratis wereldwijde verzending + gratis tooling-kosten

VANAF \$30



Wat PCBWay echt onderscheidt, is de productie-efficiëntie. Terwijl de andere concurrenten 7-10 dagen nodig hebben om te leveren, kan dit bedrijf de PCB-bestellingen binnen 24 uur voltooien. Verder biedt PCBWay ook 24-uurs klantenservice waarmee de klanten op elk moment van de dag of nacht hulp kunnen krijgen.

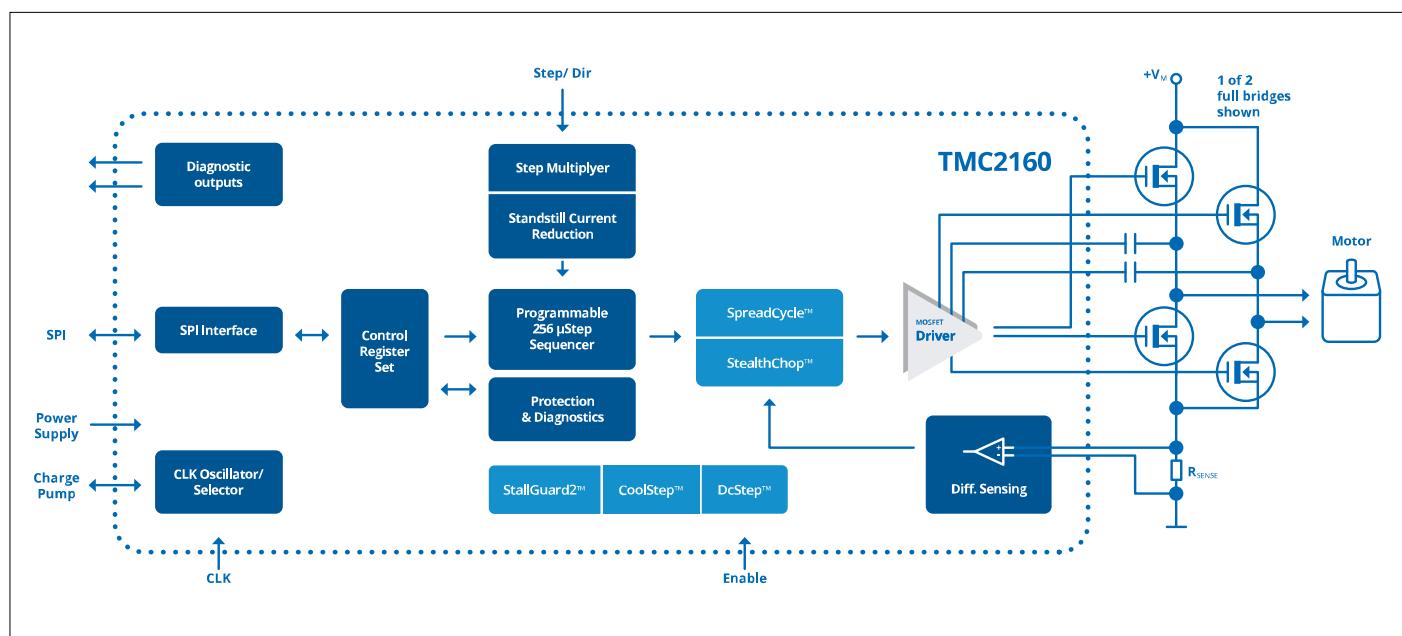
Als een van de meest ervaren PCB-fabrikanten en SMT-monteurs in China, is PCBWay trots de beste zakkenpartner voor alle PCB-behoeften van hun klanten.

Ontvang direct een offerte: www.pcbway.com E-mail: service@pcbway.com

TMC2160 motordriver-board stille kracht...

Ilse Joostens (België)

Stappenumotoren zijn populair in computer- en microcontrollertoepassingen zoals robotica, industriële automatisering, CNC-machines, 3D-printers en videocamerabesturing. Door hun ongecompliceerde interne constructie en hun beperkte aantal aansluitdraden zien stappenumotoren er bedrieglijk eenvoudig uit. Op het internet zijn er zelfs veel tutorials over hoe deze motoren bestuurd kunnen worden met een antiek L293D driver-IC en een Arduino, maar voor serieuze toepassingen hangt alles af van de kwaliteit en de mogelijkheden van de motordriver.



Figuur 1. In de TMC2160 gebeurt er een heleboel.

Eigenschappen

- voeding 9...36 V_{DC}
- Step/Dir-interface via optocoupler-ingangen
- motorstroom: instelbaar 1,6, 1,8, 2,0, 2,2, 2,4, 2,6, 2,8, 3,1 A_{RMS}
- microsteps: instelbaar 1/8 – 1/16 – 1/32 – 1/64
- SpreadCycle-modus zonder of StealthChop-modus met 50% houdstroomreductie
- houdstroomreductie instelbaar
- aansturing van NEMA 17-, NEMA 23- en enkele NEMA 34-motoren (niet op vol vermogen).
- voedings-, motor- en stuursignalaansluitingen via klemmenblokken
- max. step-ingangs frequentie 250 kHz (afhankelijk van microstep-instellingen)

Veelgebruikte drivers voor stappenumotoren

Stepstick-drivers

Wanneer u zich met hobbyprojecten met stappenumotoren bezig houdt of een 3D-printer bouwt, kent u deze stepstick-drivers waarschijnlijk. Deze bestaan uit een kleine print met een driver-IC en een pinheader waarmee de print (module) op een grotere printplaat kan worden geplikt.

Stepsticks zijn er in soorten en maten,

zodat u kunt kiezen uit een groot aantal driver-IC's van verschillende halfgeleiderfabrikanten. Enkele van de betere stepsticks zijn de zogenaamde SilentStepSticks, die zijn opgebouwd rond driver-IC's van Trinamic, waarvan de TMC2100 en TMC2130 de meest populaire zijn.

Deze SilentStepSticks zijn een goede keuze voor 3D-printers [1], zeker wanneer het om langdurige printopdrachten gaat. Bij gebruik van minder geavanceerde drivers kan het geluid van de stappenmotor al snel problematisch worden. SilentStepSticks



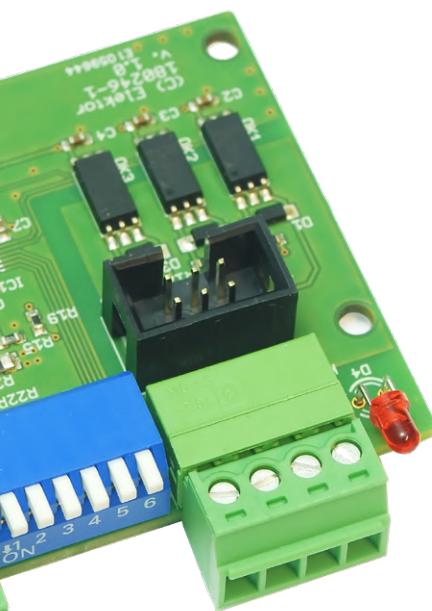
zorgen er niet alleen voor dat de printer zijn werk geruisloos doet, maar leiden ook tot betere, gladdere en meer consistentie printresultaten.

Naast de standaard Enable-, Step- en Dir-signalen die worden gebruikt om motorpositie, -snelheid en -draairichting te regelen, hebben de op TMC2130 en TMC5160 gebaseerde stepsticks ook een SPI-interface die het mogelijk maakt diverse driverparameters af te regelen en te configureren. Moderne 3D-printsoftware zoals Marlin [2] ondersteunt deze drivers en kan de motordrivers zelfs automatisch (via de SPI-interface) tijdens het printen bijregelen voor het beste resultaat.

Hoewel stepsticks klein en gemakkelijk verwisselbaar zijn, hebben ze ook een aantal nadelen. Meestal worden hier IC's met geïntegreerde MOSFET-brugschakelingen gebruikt die de neiging hebben om oververhit te raken op kleine printjes met geen of weinig koper, zelfs wanneer er een koellichaam bovenop is

gemonteerd. Dit is vooral problematisch in veeleisende toepassingen zoals CNC. Bovendien bieden stepsticks geen elektrische isolatie tussen de motorvoeding en de stuursignalen, waardoor ze minder geschikt zijn voor complexe motion control-systemen.

Industriële stappenmotordrivers
Industriële aandrijvingen worden vaak gebruikt voor een breed scala aan toe-



passingen en worden meestal geleverd in een behuizing met aansluitklemmen voor de voeding, de motorkabels en de stuursignalen. Vaak doet de behuizing meteen dienst als koellichaam voor de elektronica in de behuizing. Sommige van die modules kunnen zelfs direct op de achterkant van een stappenmotor worden gemonteerd. De configuratie van de belangrijkste driverparameters, zoals microsteps en motorstroom, vindt meestal plaats met behulp van DIP-schakelaars. Meer geavanceerde drivers bieden ook een seriële poort of een USB-interface voor het configureren en *tunen* van de motorparameters.

Industriële driver's hebben meestal optocoupler-ingangen, die voor galvanische scheiding van de stuursignalen (Enable, Step, en Dir) zorgen. Sommige drivers gebruiken in plaats daarvan ModBus (of zelfs CAN-bus) om de motorpositie, snelheid en richting te regelen.

In grote lijnen zijn er twee soorten drivers: *open lus* en *gesloten lus*. Deze laatste maken gebruik van draai-encoders voor de terugkoppeling van de stand van de motoras naar de driver. Dit resulteert in een betere nauwkeurigheid

PROJECT DECODER		
	Motor	PWM
	CNC	Trinamic
	3D-printen	
	robotica	
	beginners	gevorderden
		experts
	ca. 2 uur	
	SMD-soldeer gereedschap	
	ca. € 75	

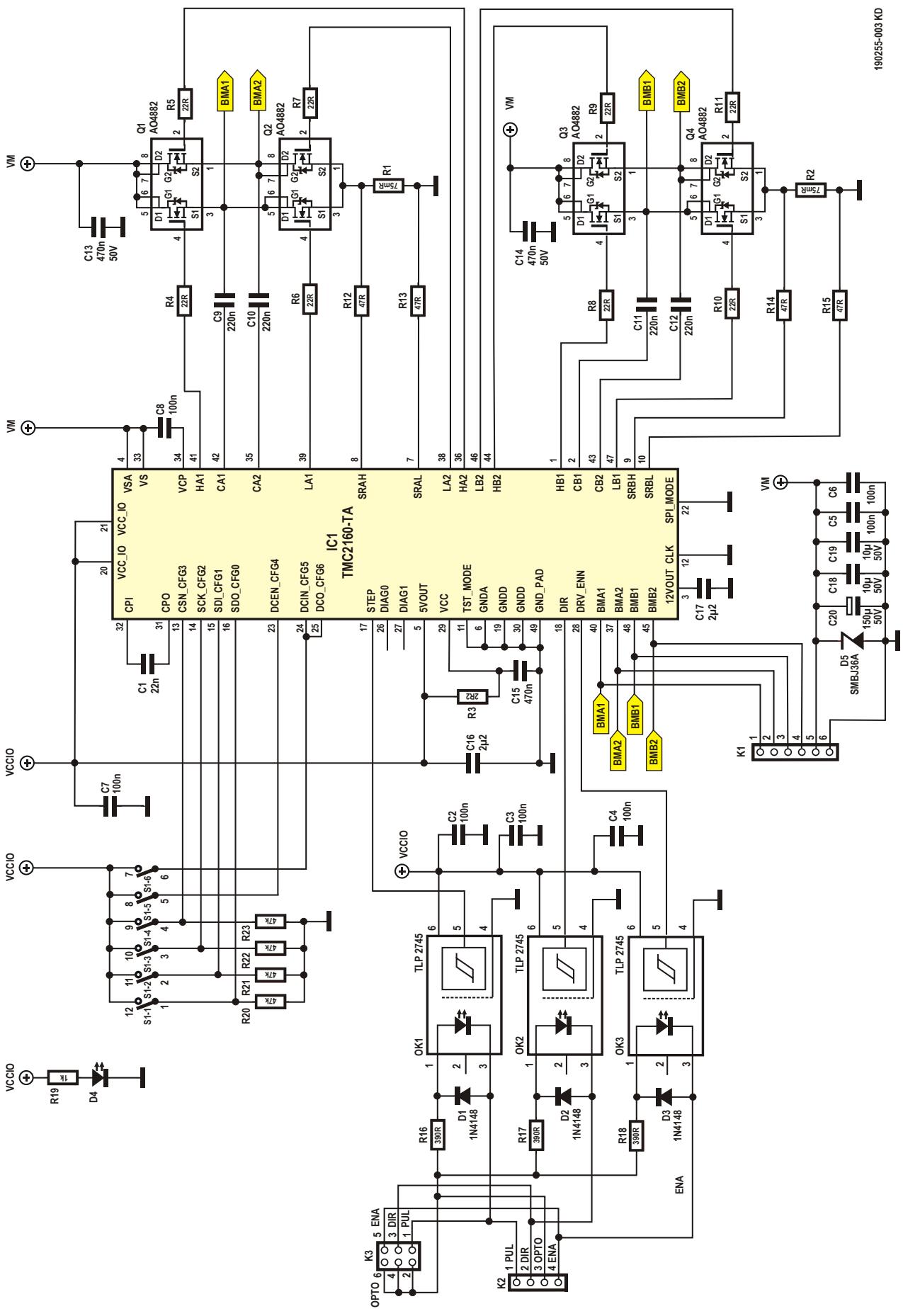


en compensatie als de motor onder bepaalde belastingsomstandigheden stappen overslaat. Wanneer u meerdere stappenmotoren moet aandrijven, zijn ook meerassige motordrivers een optie.

De Trinamic TMC2160 motordriver

Onze 'Wolverine' CNC-portaalrobot [6] [7] is gebaseerd op een CNC310-driverprint van Eding CNC. Aangezien dit CNC310 board externe stappenmotordrivers nodig heeft, hebben we overwogen om drivers op basis van Trinamic-IC's te gebruiken. Deze zouden de CNC-portaalrobot geruisloos doen werken, wat vooral belangrijk is wanneer de robot wordt gebruikt als een pick&place-machine voor SMT-componenten.

We hebben een paar snelle tests met de TMC2100 en TMC2130 SilentStepSticks uitgevoerd, maar deze bleken niet opgewassen tegen de taak en raakten snel oververhit. Als alternatief hebben we de gloednieuwe TMC2160 bekijken die externe MOSFET's gebruikt en is ontworpen voor 'stroomvretende' toepassingen (**figuur 1**). Er was een TMC2160 breakout-board beschikbaar, maar jammer genoeg was het configureren van de driverparameters alleen mogelijk via SPI, en dat ondersteunt het CNC310-



Tabel 1. Microstep-resolutie (step-input).

S1.2	S1.1	Microstep-instelling
uit	uit	8
uit	aan	16
aan	uit	32
aan	aan	64

Tabel 2. Stroominstellingen.

S1.5	S1.4	S1.3	Stroom RMS/ piek [A]
uit	uit	uit	1,6 / 2,2
uit	uit	aan	1,8 / 2,5
uit	aan	uit	2,0 / 2,8
uit	aan	aan	2,2 / 3,1
aan	uit	uit	2,4 / 3,4
aan	uit	aan	2,6 / 3,7
aan	aan	uit	2,8 / 4,0
aan	aan	aan	3,1 / 4,4

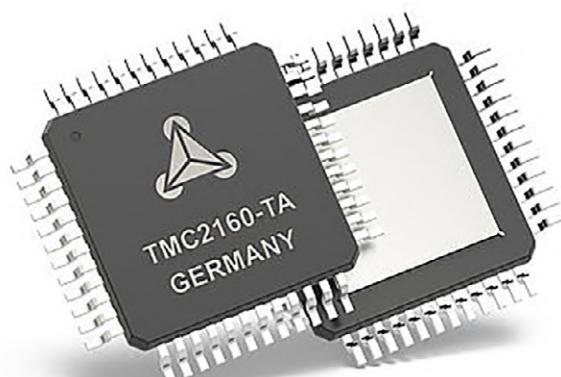
Tabel 3. Chopper-modus en houdstroom.

S1.6	Chopper-modus en houdstroom
uit	SpreadCycle zonder reductie van de houdstroom
aan	StealthChop2 met 50% houdstroomreductie

board niet. Ook was er geen galvanische scheiding tussen de stuursignalen en de motorvoeding.

Uiteindelijk hebben we onze eigen TMC2160-gebaseerde driver ontworpen met het IC in standalone-modus, en met optocoupler-ingangen voor de stuursignalen. Dit maakt het mogelijk de parameters van de motordriver in te stellen met behulp van DIP-schakelaars. De meeste moderne stappenmotordrivers zoals de TMC2160 zijn zogenaamde chopperdrivers, die snel een relatief hoge spanning (typisch acht maal de nominale motorspanning voor het beste resultaat) op de motorwikkelingen in- en uitscha-

Trinamic zet digitale informatie om in fysieke beweging



Wanneer digitale informatie kan worden omgezet in precieze fysieke bewegingen, wordt het onmogelijke plotseling mogelijk en komt de 4de industriële revolutie op gang: geavanceerde robotica, automatisering, protheses en het IoT, om maar een paar zaken te noemen.

Maar om digitale informatie efficiënt in fysieke beweging om te zetten, is meer nodig dan alleen het letterlijk vertalen van gegevens in beweging.

Motorbesturingstechnologie moet eenvoudig te implementeren zijn, vraagt om flexibiliteit om de toenemende mogelijkheden van apparaten te ondersteunen en moet kunnen leren om eenvoudige herhaalde bewegingen in de automatisering om te zetten in intelligente bewegingen. En moet passen in steeds kleinere vormfactoren ten behoeve van nieuwe gebruiksmogelijkheden.

Trinamic maakt dit alles mogelijk door uiterst geavanceerde motion control tot kinderspel te maken. De lange ervaring van het bedrijf heeft geleerd hoe de prestaties te optimaliseren, en te miniaturiseren en motoreigenschappen in concurrentievoordelen voor uw apparaten om te zetten.

kelen. Deze techniek maakt het mogelijk om de gemiddelde stroom per fase te regelen. De meeste chopperdrivers gebruiken een chopperfrequentie in de orde van grootte van 20...50 kHz. Omdat die frequentie boven het audiobereik ligt, blijft het geluidsniveau laag. Bij een constante vaste chopperfrequentie wordt de gemiddelde uitgangsstroom geregeld door de pulsbreedte van de uitgangspulsen te variëren, een techniek die bekend staat als pulsbreedtemodulatie (PWM).

Naast de klassieke chopper-modus met constante uit-tijd beschikt de TMC2160 ook over twee geavanceerde SpreadCycle

en StealthChop2 chopper-modi, die een geruisloze werking garanderen in combinatie met een maximaal rendement en een optimaal motorkoppel.

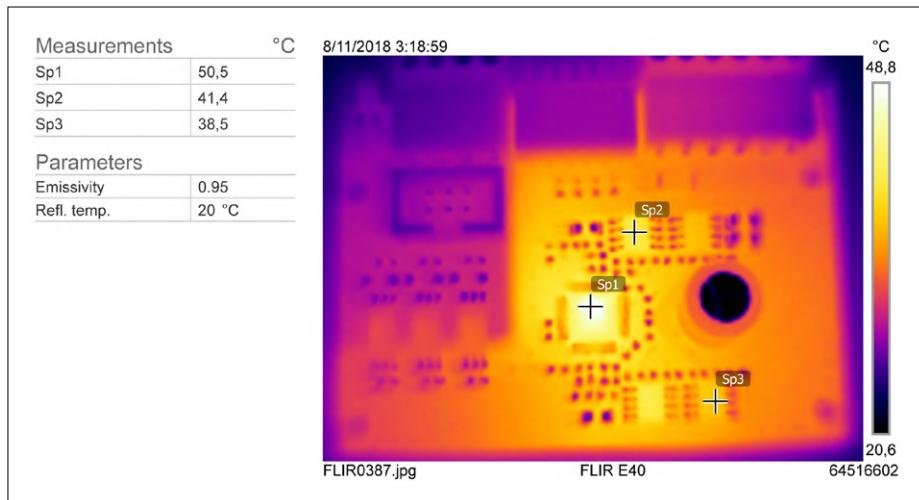
StealthChop2 werkt volgens een *voltage-mode* chopperprincipe. Dit garandeert vooral dat de motor geruisloos is bij stilstand en langzame bewegingen, uiteraard afgezien van het geluid dat door de kogellagers wordt geproduceerd. In tegenstelling tot andere *voltage-mode* choppers hoeft StealthChop2 niet geconfigureerd te worden. Tijdens de eerste bewegingen na het opstarten worden automatisch de beste instellingen bepaald, die bij de volgende

Advertentie

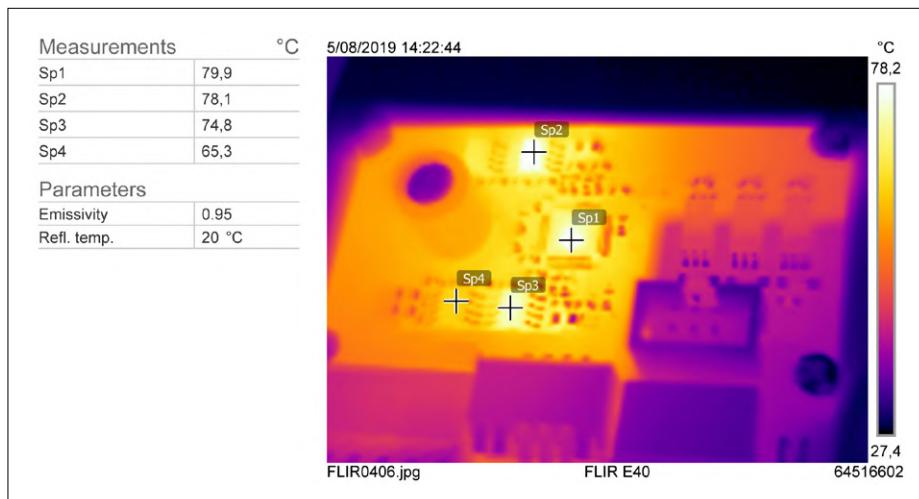
We Transform Digital Information Into Physical Motion

Visit us at SPS 2019, Hall 10.1 Booth 232

TRINAMIC
MOTION CONTROL



Figuur 3. Warmtebeeld van de motordriver-print bij aansturing van een NEMA 17-stappemotor met een stroom van $1,6 \text{ A}_{\text{RMS}}$ in de SpreadCycle chopper-modus.



Figuur 4. Met een stroom van $3,1 \text{ A}_{\text{RMS}}$ en een motor die een gewicht van 12 kg trekt, nam de temperatuur toe tot ongeveer 80 °C.

bewegingen worden geoptimaliseerd. Een initiële *homing* voldoende om te leren. StealthChop2 maakt een hoge motordynamiek mogelijk door direct te reageren op een verandering van de motorsnelheid.

SpreadCycle is een geavanceerde ‘per cyclus’ chopper-modus. Deze zorgt voor een soepele werking en goede resonantiedemping over een breed snelheids- en belastingsbereik. Het SpreadCycle chopper-principe integreert en regelt automatisch snelle afvalcycli waardoor een vloeiente nuldoorgang wordt gegarandeerd, en zorgt voor een groot dynamisch bereik en de hoogste topsnelheid met minimale trillingen.

Andere voordelen van de TMC2160 zijn

de MicroPlyer-stapinterpolatie, trillingsdemping voor middenfrequente resonanties, DcStep belastingsafhankelijke snelheidsregeling, StallGuard sensorloze detectie van de motorbelasting en CoolStep stroomregeling voor maximaal 75% energiebesparing. Raadpleeg voor meer informatie de productpagina en de datasheet van de TMC2160 [3].

Over het schema

Zie **figuur 2**. Onze TMC2160 driverprint is grotendeels gebaseerd op het Trinamic TMC2160 breakout-board [4]. Hoewel de meeste aansluitingen naar de TMC2160 hetzelfde zijn en we dezelfde onderdelen hebben gebruikt voor de H-bruggen, zijn er nogal wat verschillen.

Om de TMC2160 in standalone-modus te gebruiken, hebben we pin 22 (SPI Mode) aan massa gelegd. Daardoor zijn de pinnen 13...16 en 23...25 nu de configuratie-ingangen CFG0...CFG6 die we hebben aangesloten op de 6-polige DIP-schakelaar S1 (zie **tabel 1, 2 en 3**). Aangezien de CFG4 en CFG5 interne pull-down-weerstanden hebben, hebben we besloten om ook externe pulldown-weerstanden te gebruiken voor de andere configuratie-ingangen (CFG0...CFG3). CFG5 en CFG6 zijn **beide** aangesloten op S1.6, omdat in het geval dat deze ingangen een verschillend niveau zouden hebben, ingang CFG6 een hoge stroom van 20 mA zou trekken, met als gevolg dat de interne lineaire spanningsregelaars van de TMC2160 te veel warmte zouden produceren.

De high-speed optocouplers van het type TLP2745 met digitale uitgangen (OK1...OK3) zorgen voor een galvanische scheiding tussen de stuuringangen (Enable, Step and Dir) en het TMC2160 driver-IC. De ingangen zijn geoptimaliseerd voor een spanningswaai van 5 V. Hogere spanningen zijn toegestaan als extra weerstanden in serie met de stuuringangen worden opgenomen. Merk op dat we de naam van het ‘Step’-signaal hebben veranderd in ‘Pul’ (puls) om beter aan te sluiten bij de signaaldelen die zijn afdrukt op de behuizingen van gangbare industriële stappenmotordrivers.

Een extra 6-pins boxheader (K3) maakt eenvoudige aansluiting mogelijk op onze CNC310 breakout-board [7] met behulp van flatcable.

We hebben een vierlaags print ontworpen met grote kopervlakken voor betere koeling en met een vormfactor die gelijk is aan die van gangbare industriële stappenmotordrivers, inclusief ‘steekbare’ aansluitklemmen van Phoenix Contact, een piano-type 6-voudige DIP-schakelaar en een power indicatie-LED.

Ten slotte hebben we een suppressordiode van het type SMBJ36A toegevoegd om de schakeling te beschermen tegen spanningspieken op de voedingsrails. Wanneer de driver met lange draden op een voedingsrail is aangesloten, kan de parasitaire inductie van de draden bij het inschakelen van de voedingsspanning in combinatie met de MLCC-condensatoren C18 en C19 [5] spanningspieken veroorzaken. Let op: de schakeling is niet beveiligd tegen oompoling, dus wees voorzichtig bij het aansluiten van de voedingskabels.



ONDERDELENLIJST

Weerstanden:

(SMD 0603, 1%, 100 mW tenzij anders vermeld)

R1,R2 = 75 mΩ, 1W, 1206

R3 = 2,2 Ω

R4,R5,R6,R7,R8,R9,R10,R11 = 22 Ω

R12,R13,R14,R14,R15 = 47 Ω

R16,R17,R18,R18 = 390 Ω

R19 = 1k

R20,R21,R22,R23 = 47k

Condensatoren:

(SMD 0603, 50V tenzij anders vermeld)

C1 = 22n

C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8 = 100n

C9,C10,C11,C11,C12 = 220n

C13,C14 = 470n

C15 = 470n, X5R, 16V

C16,C17 = 2,2μ, X5R, 25V,

C18,C19 = 10μ, X5R, 50V, 1206

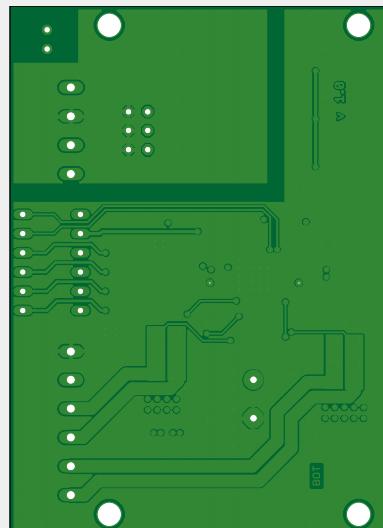
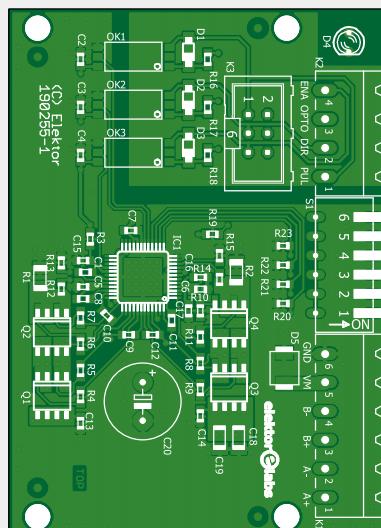
C20 = 150μ, 50V, 5000h/105°C

Halfgeleiders:

D1,D2,D3 = 1N4148, SOD-123

D4 = LED 3mm, rood

D5 = SMBJ36A



IC1 = TMC2160TA (TQFP48-EP) Trinamic
OK1,OK2,OK3 = TLP2745-E-T
Q1,Q2,Q3,Q4 = AO4882

Overig:

K1 = MC 1,5/6-G-3,81 + MC 1,5/6-ST-3,81,
Phoenix Contact

K2 = MC 1,5/4-G-3,81 MC 1,5/4-G-3,81 + MC
1,5/4-ST-3,81, Phoenix-contact

K3 = 6-polige boxheader, 2x3, verticaal, raster
0,1"

S1 = 6-polige DIP-schakelaar, piano-type,
raster 0,1"

We hebben enkele tests uitgevoerd met een thermische camera bij verschillende belastingen. Bij een 24V-voeding liep de temperatuur van de TMC2160 en de MOSFET-transistoren op tot 50 °C resp. 41 °C, terwijl een NEMA 17-stappenumotor met verschillende snelheden werd aangedreven. De motorstroom werd met behulp van de SpreadCycle-chopper op 1,6 A_{RMS} ingesteld (**figuur 3**).

Daarna vervangen we de stappenumotor door een NEMA 34-exemplaar en hebben we de voedingsspanning opgevoerd tot 32 V. De stroom werd ingesteld op 3,1 A_{RMS} en de motor een gewicht van 12 kg trok. Daarbij steeg de tempera-

tuur van de TMC2160 en de MOSFET's tot 80 °C resp. 78 °C (**figuur 4**).

Bij het aansturen van zwaardere stappenumotoren zoals NEMA 23- en NEMA 34-types verdient het aanbeveling om een koelplaat aan de onderkant van de print aan te brengen of met een kleine

ventilator voor geforceerde luchtkoeling te zorgen. ▶

(190255-04)

IN DE STORE



IN DE STORE

→ TMC2160 Motordriver-board - kale print (190255-1)
www.elektor.nl/19010

→ TMC2160 Motordriver-board - gedeeltelijk gemonteerde module (190255-91)
www.elektor.nl/19009

Weblinks

- [1] Zo maakt u uw 3D-printer slim en stil met de TMC2130: www.youtube.com/watch?v=sPvTB3irCxQ
- [2] Marlin-firmware voor 3D-printers: <http://marlinfw.org/>
- [3] Trinamic TMC2160 productpagina: www.trinamic.com/products/integrated-circuits/details/tmc2160-ta/
- [4] TMC2160 breakout-board: www.trinamic.com/support/eval-kits/details/tmc2160-bob/
- [5] SDGEE #061 Keramische condensatoren zijn de dood voor uw print: www.youtube.com/watch?v=2287hcWFqe8
- [6] Wolverine CNC-portaalrobot - deel 1: www.elektormagazine.nl/180246-01
- [7] Wolverine CNC-portaalrobot - deel 2: www.elektormagazine.nl/180246-B-01
- [8] Project op Elektor Labs: www.elektormagazine.com/labs/tmc2160-motor-driver-board-190255



Met de vos in het IoT (1)

makerboard voor de kennismaking met Sigfox-dataoverdracht

Frank Schleking en Bernd vom Berg (Duitsland)

Wanneer batterijgevoede sensoren gegevens naar een internetgateway moeten verzenden, kunnen draadloze standaarden zoals Sigfox en LoRa worden gebruikt. Sigfox scoort met een gestandaardiseerd en reeds goed uitgebouwd netwerk. De gebruiker hoeft slechts de sensorknooppunten te programmeren en in te loggen om de gegevens in het internet te visualiseren. Zoals we in deze serie zullen demonstreren, zijn betaalbare hardware en gratis software voldoende om eerste Sigfox-projecten te realiseren. In deze eerste aflevering presenteren we de compacte Arduino MKR FOX 1200-module met geïntegreerde Sigfox-transceiver en een passend moederboard.

5G-netwerken zijn momenteel op ieders lippen. Ze zijn nodig om zeer grote hoeveelheden gegevens in de kortst mogelijke tijd draadloos te verzenden. De hardware en software die nodig zijn om deze netwerken in te richten is echter enorm. Het bereik tot het volgende basisstation is zeer klein en het energieverbruik van de stations is zeer hoog.

Hoe ziet de situatie eruit wanneer u slechts geringe hoeveelheden sensor- en/of positiegegevens wilt verzenden, bijvoorbeeld in het kader van 'Smart City', 'Smart Farming', 'Smart Transport' of 'Smart Hobby'?

De sensoren in het veld moeten met slechts één acculading gedurende meerdere jaren onderhoudsvrij functioneren. Het bereik (tot aan het dichtstbijzijnde basisstation) moet enkele kilometers bedragen; vaak is een (zeer) goedkope dataoverdracht over landsgrenzen heen vereist. Daaar komen draadloze sensor/actuator-netwerken, nu bekend als 0G netwerken, in

het spel. Zulke communicatiesystemen zijn momenteel wereldwijd in opkomst, waarbij momenteel drie grote concepten het voortouw nemen: Sigfox, LoRa en NB-IoT.

Sigfox Makerboards

Een grote verscheidenheid aan makerboards maakt de kennismaking met Sigfox-communicatie wel heel gemakkelijk; daarbij beschikt de gebruiker over volledig functionele hardware en veelzijdige softwaredrivers. Ontwikkelen wordt op die manier veel eenvoudiger; u hoeft slechts uw eigen applicatie 'eromheen' te ontwerpen.

Zulke makerboards zijn verkrijgbaar als opsteekprinten voor verschillende microcontroller-platforms, bijvoorbeeld de Raspberry Pi. Als er echter extreem zuinige Sigfox-stations ontwikkeld moeten worden die gedurende meerdere maanden of zelfs jaren op een batterij moeten werken, zijn oplossingen met een

Raspberry Pi uitgesloten omdat die systemen vanwege hun hoge stroomverbruik bijna altijd afhankelijk zijn van een netvoeding (u kunt natuurlijk ook een krachtige zonnegenerator met zeer grote accu's gebruiken...)

Het *Arduino MKR FOX 1200* makerboard (**figuur 1**) daarentegen maakt een bijzonder eenvoudige en vooral zeer energieuze instap mogelijk. Daarbij wordt het concept van de bekende Arduino Zero gebruikt en eenvoudig aangevuld met de volledige Sigfox-functionaliteit.

Alle software-ontwikkeltools uit de Arduino-wereld kunnen zo worden gebruikt; voor de eigenlijke Sigfox-communicatie is een krachtige bibliotheek beschikbaar, die eenvoudig in uw eigen software kan worden geïntegreerd.

Bij aankoop van de MKR FOX 1200 krijgt u meteen een Sigfox-jaarabonnement, en dat betekent dat u het board een jaar lang gratis kunt gebruiken in het wereldwijde Sigfox-netwerk.

Onze artikelreeks

In het **eerste deel** van deze reeks introduceren we eerst de hardware van de MKR FOX 1200. Voor de MKR FOX 1200 hebben we bovendien een moederboard ontwikkeld dat de gebruiker enkele interessante extra functies biedt.

Verder kijken we naar de programmering van het board en programmeren we test- en voorbeeldapplicaties (die zoals altijd van de projectpagina bij dit artikel [1] kunnen worden gedownload). In het **tweede deel** van de serie gaan we specifiek op Sigfox in. We zullen het onderliggende communicatieconcept en de integratie van individuele stations in het wereldwijde Sigfox-netwerk toelichten.

Vervolgens gaan we in op de Sigfox-cloud en beantwoorden we de vraag hoe berichten daadwerkelijk worden verzonden en ontvangen met het Sigfox back-end.

Het **derde deel** van de serie laat dan in detail zien hoe de gebruiker Sigfox-gegevens van stations wereldwijd via het internet kan ontvangen, evalueren en weergeven. Freeware-tools stellen gebruikers in staat om hun eigen individueel ontworpen dashboards (beeldscherm-interfaces) te ontwerpen en te gebruiken.

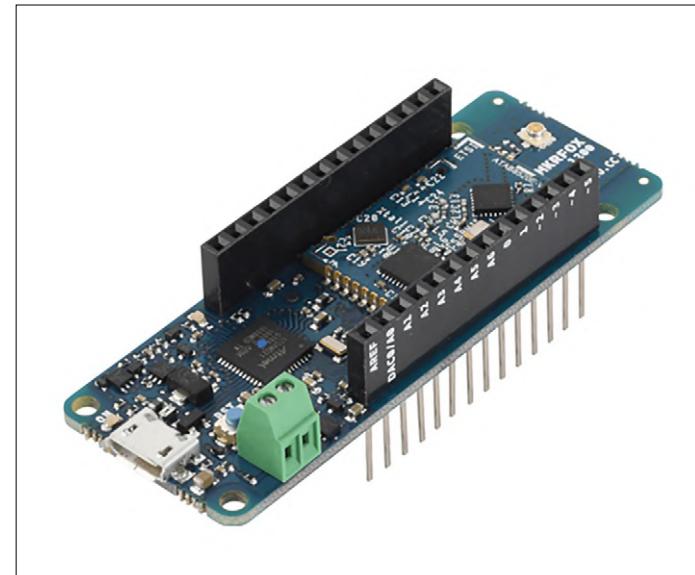
MKR FOX 1200 – de hardware

De officiële homepage van de MKR FOX 1200 met veel aanvullende informatie (*Getting Started*, technische informatie, schema, FAQ) is te vinden op [2]. **figuur 2** toont een blokschema van dit board.

De maker FOX 1200 is gebaseerd op de Arduino Zero met de microcontroller *AT SAMD 21 G 18A - 48* van Microchip. Op deze chip zit een ARM-gebaseerde 32-bits Cortex M0+processor, plus de typische on-chip periferie zoals timer/teller, A/D-en D/A-converters, UART-interface, watchdog, RTC en meer. De Sigfox-functionaliteit wordt geleverd door de single-chip SIGFOX HF-zender ATAB8520E. Deze component bevat alles wat nodig is voor het gebruik in het Sigfox-netwerk: een eigen microprocessor, het complete HF-deel inclusief de zend/ontvangtrappen en daarnaast een complete Sigfox-protocolstack (in hardware uitgevoerd). Alleen het HF-uitgangsfilter en de antenne moeten extern worden aangesloten.

Dit Sigfox-modem wordt aangestuurd door de SAMD21 via een SPI-businterface.

De overige componenten op het MKR FOX 1200-board dienen een flexibele voeding en een USB-interface ten behoeve van PC of laptop.

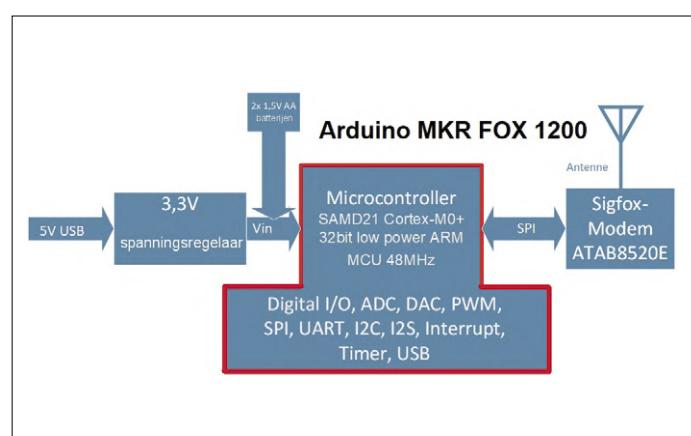


Figuur 1. De Arduino MKR FOX 1200 is uitgerust met een transceiver voor draadloze Sigfox-communicatie.

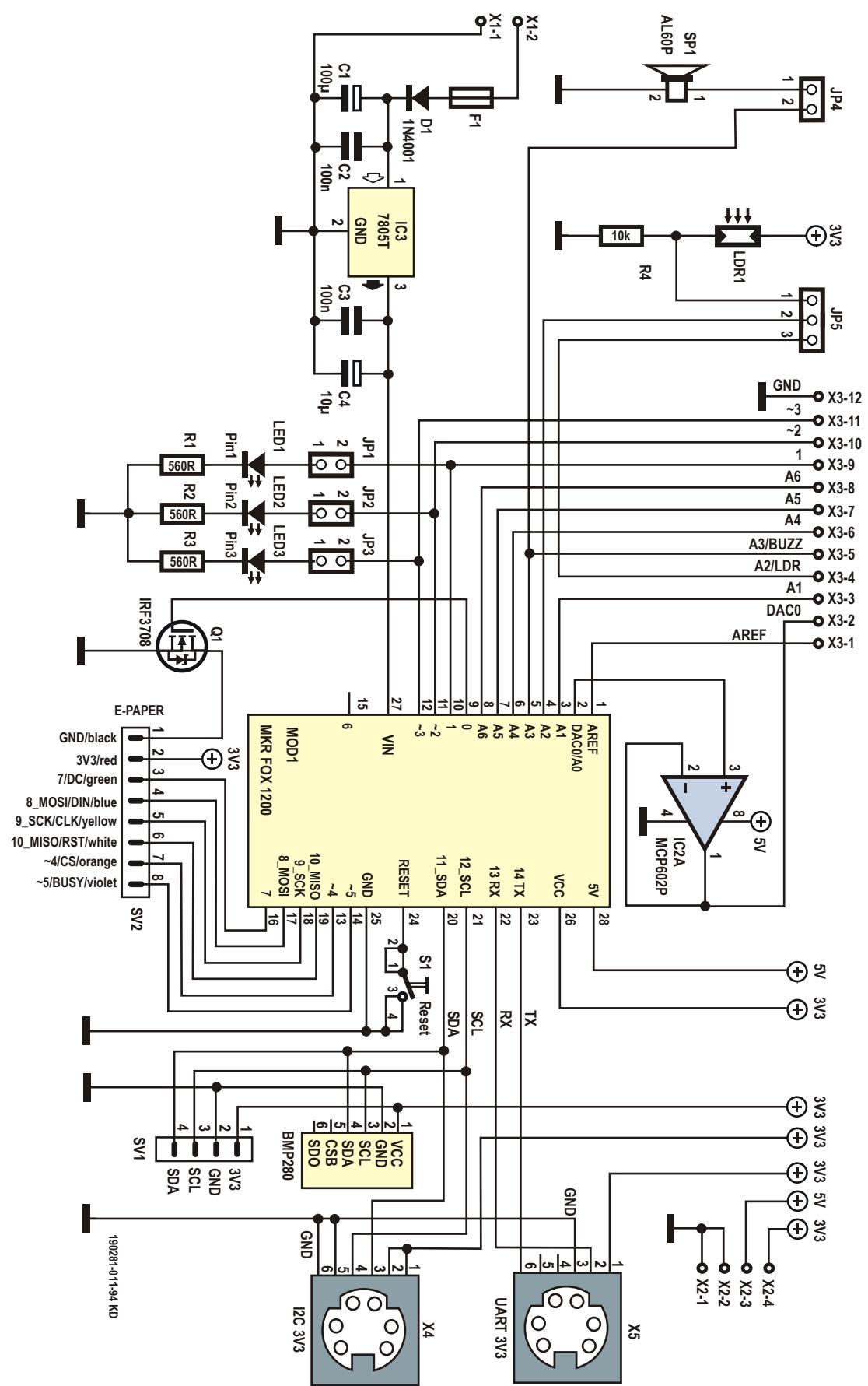
Dankzij deze beide chips heeft de MKR FOX 1200 een functionaliteit die essentieel is voor autonome IoT-stations. Het board biedt niet alleen veel rekenkracht, maar heeft in de Sleep-modus een extreem gering stroomverbruik van 4 µA (SAMD21G) en 5 nA (ATAB8520) [9][10]. Tijdens de meeste slechts zeer kortdurende actieve bedrijfsfasen bedraagt het stroomverbruik 32,7 mA in de zendmodus en 10,4 mA in de ontvangstmodus. Dit maakt het mogelijk om stations maanden- of zelfs jarenlang uit bijvoorbeeld twee AA- of AAA-batterijen voordat deze verwisseld moeten worden.

Uiteraard kunnen deze Sigfox-stations ook uitstekend via (kleine) zonnecellen met accubuffering 24 uur per dag en 365 dagen per jaar worden actief blijven. Het totale stroomverbruik van een station is ook afhankelijk van de aangesloten sensoren/actuatoren. Maar ook hiervan bestaan zeer energieuze versies; vooral omdat deze units niet permanent in bedrijf hoeven te zijn, maar alleen (voor korte tijd) geactiveerd hoeven te worden wanneer dat nodig is.

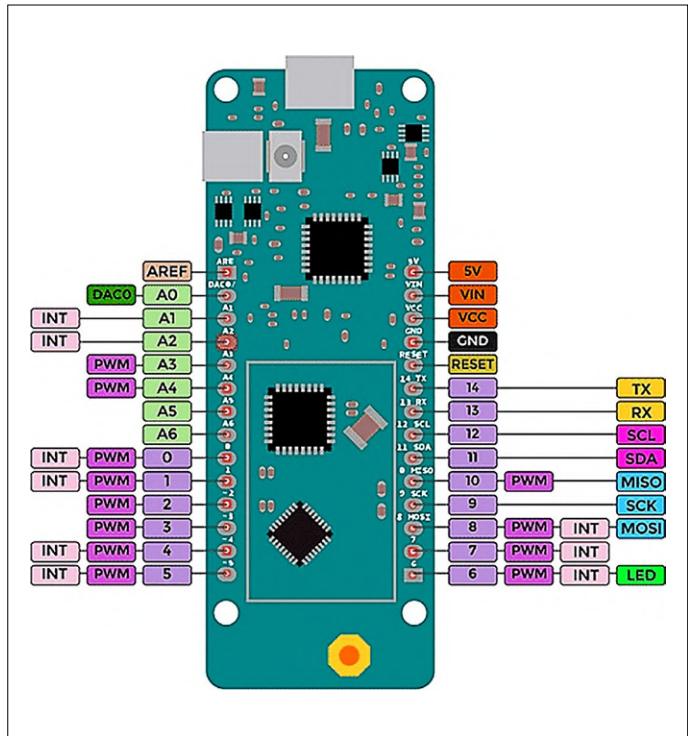
De basis voor de ontwikkeling van een applicatie met de MKR FOX 1200 is de pinout (zie **figuur 3**). De microcontrollerkenmerken van de SAMD21-chip zijn hier duidelijk zichtbaar: de



Figuur 2. Blokschema van de Arduino MKR FOX 1200.



Figuur 5. Schema van het moederbord voor de MKR FOX 1200.



Figuur 3. Pinout van de MKR FOX 1200 [3].

verbindingen van belangrijke on-chip periferie zijn naar buiten geleid en bijna alle aansluitingen hebben een dubbele of zelfs drievoudige functie. De feitelijke functie van een pin wordt dan bepaald door de toepassingssoftware.

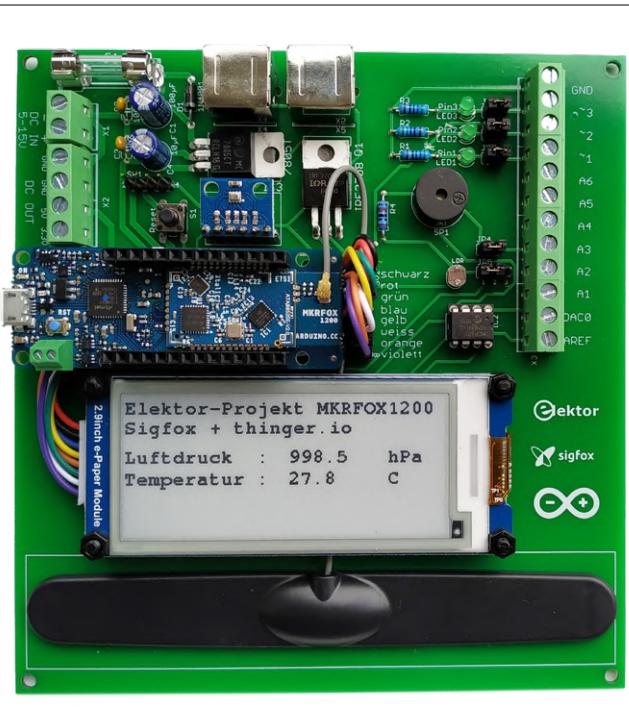
MKR FOX 1200 – het moederboard

Om de MKR FOX 1200 effectief in gebruik te nemen en om snel eerste eigen toepassingen te kunnen realiseren, hebben we een moederboard ontwikkeld waar de MKR FOX 1200 simpelweg op geprint kan worden (**figuur 4**). **Figuur 5** toont het bijbehorende schema.

De voeding van de MKR FOX 1200-print kan nu *op drie verschillende manieren* worden uitgevoerd.

- *Voeding via de USB-interface*

In de eerste plaats kan de print worden gevoed via de USB-interface, die ook wordt gebruikt om het programma van de ontwikkel-PC te downloaden of om de seriële communicatie tussen het gebruikersprogramma en de computer te implementeren.



Figuur 4. Het moederboard met ingestoken MKR FOX 1200.

- *De groene 2-polige printkroonsteen op de print*

Hier kan een accupack (2 maal AA of 2 maal AAA in serie) worden aangesloten om het board te voeden. De juiste polariteit is bij de printkroonsteen afgedrukt.

Deze 3V-voeding is echter niet geschikt voor de voeding van de periferie op het moederbord.

- *De aansluiting VIN*

Hier kan een extern geregelde vaste spanning van +5 V worden aangesloten voor de voeding van het board. Als hier een spanning wordt aangesloten, wordt de voeding via de USB-aansluiting automatisch uitgeschakeld.

De 5 V-aansluiting

Dit is een *uitgang*. Hier is een niet-geregelde spanning van 5 V (ongereguleerd) beschikbaar als de printplaat via de USB-interface of via VIN wordt gevoed.

De spanning wordt rechtstreeks via de USB-interface of via VIN doorgegeven. De maximale uitgangsstroom bedraagt 500 mA.

Advertentie



Your SPECIALIST for ESD- and
PRECISION TOOLS

Visit us at PRODUCTRONICA 2019
hall A4 / booth 577

www.bernstein-werkzeuge.de



De VCC-aansluiting

Dit is een *uitgang*. Via deze uitgang worden de volgende spanningen geleverd:

3,3 V van de spanningsregelaar op de print, indien de voeding via de USB-interface of via VIN plaatsvindt (maximale uitgangsstroom 500 mA);

Als de print wordt gevoed met twee batterijen, wordt hier evenvoudig de batterijspanning doorgesluisd.

De indicatie-LED: LED ON

De indicatie-LED (groen, naast de USB-poort) licht alleen op als het board via de USB-interface of extern via VIN wordt gevoed.

Bij batterijvoeding is de LED uit (om energie te besparen). We voeden het MKR FOX 1200-printje vanaf het moederboard via een gestabiliseerde 5V-spanning, zodat de het complete systeem in eerste instantie door een netadapter kan worden gevoed.

Op enkele poortpinnen van de MKR FOX 1200 zijn op het moederboard al sensoren of actuatoren aangesloten, zodat u meteen al kleine applicaties kunt ontwikkelen:

- een lichtgevoelige weerstand voor het meten van het omgevingslicht;
- een passieve piezo-zoemer voor het produceren van toontjes;

Tabel 1. Aansluiting van de MKR FOX 1200 module op het moederboard.

Pin-nr.	Pinnaam	Gebruik
1	AREF	Ingang, standaardfunctie – aangesloten op X3-1; aansluiting van een externe referentiespanning, max. 3,3 V
2	DAC0/A0	Uitgang van de D/A-omzetter – via de impedantie-omvormer naar X3-2; uitgangsspanning 0...3,3 V; max. uitgangsstroom 30 mA
3	A1	Aangesloten op X3-3, standaardfunctie
4	A2	Aangesloten op X3-4, standaardfunctie. Kan ook worden gebruikt voor lichtmeting met de LDR (jumper JP5)
5	A3	Aangesloten op X3-5, standaardfunctie. De passieve piezo-zoemer kan via jumper JP4 worden aangesloten
6	A4	Aangesloten op X3-6, standaardfunctie
7	A5	Aangesloten op X3-7, standaardfunctie
8	A6	Aangesloten op X3-8, standaardfunctie
9	0	Uitgang, schakelt op het board de voeding voor het ePaper-display aan en uit
10	1	Aangesloten op X3-9, standaardfunctie. Via JP1 kan een LED voor statusindicatie worden aangesloten
11	~2	Aangesloten op X3-10, standaardfunctie. Via JP2 kan een LED voor statusindicatie worden aangesloten
12	~3	Aangesloten op X3-11, standaardfunctie. Via JP3 kan een LED voor statusindicatie worden aangesloten
13	~4	Vereist voor het gebruik van het ePaper-display: CS\
14	~5	Vereist voor het gebruik van het ePaper-display: BUSY
15	6	Niet gebruikt; hier is de gele LED van de MKR FOX 1200 aangesloten.
16	7	Vereist voor het gebruik van het ePaper-display: DC
17	8_MOSI	Vereist voor het gebruik van het ePaper-display: DIN
18	9_SCK	Vereist voor het gebruik van het ePaper-display: CLK
19	10_MISO	Vereist voor het gebruik van het ePaper-display: RST
20	11_SDA	Vereist voor het gebruik van de I ² C-bus: SDA
21	12_SCL	Vereist voor het bedrijf van de I ² C-bus: SCL
22	13 ~ RX	Data-ingang van de UART. Aangesloten op de 6-polige UART-mini-DIN-bus X5 (wordt via Serial1 onafhankelijk van de USB-interface aangesproken).
23	14 ~ TX	Data-uitgang van de UART. Aangesloten op de 6-polige UART-mini-DIN-bus X5 (wordt via Serial1 onafhankelijk van de USB-interface aangesproken).
24	RESET	Aansluiting van de externe resetknop
25	GND	GND-aansluiting
26	VCC	Uitgang voor de 3,3 V-spanning (zie tekst)
27	VIN	Ingang voor de gestabiliseerde 5V-voedingsspanning (zie tekst)
28	5V	Uitgang voor de 5V-spanning (zie tekst)

(Standaardfunctie ≡ zoals gespecificeerd voor de MKR FOX 1200-module)

- een impedantietransformator voor de gebufferde uitvoer van een analoge spanning (OPV MCP602P); met deze omvormer kan de maximale uitgangsstroom van DAC0 van 7 mA naar 30 mA worden opgevoerd;
- op drie poortpinnen zijn voor visualisatiedoelen (tijdens het testen) LED's aangesloten; met jumpers kunnen zeworden uitgeschakeld.

Als complexere I/O-periferie gebruiken we (voor weergave op locatie) een uiterst energiezuinig 2,9" ePaper-display, en ook de I²C-bus. Op deze laatste hebben we een BMP280, een barometrische absolute luchtdruksensor die ook de omgevingstemperatuur meet. Bovendien wordt de I²C-bus via een 6-polige mini-DIN-connector naar buiten gevoerd, zodat een-eenvoudig andere I²C-componenten kunnen worden aangesloten. De seriële UART-interface is eveneens via een 6-polige mini-DIN-connector naar buiten gevoerd. Een externe reset-knop maakt de uitrusting van het moederbord compleet.

Tabel 1 toont een overzicht van de precieze aansluitingen de I/O-pinnen van de MKR FOX 1200.

Let alstublieft op:

In tegenstelling tot de meeste andere Arduino kaarten, werkt de MKR FOX 1200-print met een *voedingsspanning van 3,3 V*. Dit betekent dat de I/O-poorten ook alleen werken met in-/uitgangsspanningen van 3,3 V!

Hogere spanningen op de I/O-poorten kunnen de print beschadigen! Ook moet worden opgemerkt dat de vermogenseindtrap van het Sigfox-modem beschadigd kan raken wanneer u zonder antenne probeert te zenden.

Als het ePaper-display, de I²C-bus en/of de UART-interface niet nodig zijn, kunnen de dan vrijkomende I/O-poortpinnen normaal voor hun standaardfunctie worden gebruikt.

De software

Hoe kunnen we de software voor onze sensornode implementeren? Dat gaat in vier stappen:

- eerst moet de Arduino IDE op de computer worden geïnstalleerd en voor het board worden aangepast;

- vervolgens moeten de extra bibliotheken worden geïnstalleerd die nodig zijn om de periferie te kunnen gebruiken;
- dan schrijft u een set algemene routines voor de aansturing van de periferie: gebruik van de A/D- en D/A-convertisers, I²C-bus, UART-interface enzovoort;
- en als laatste houdt u zich bezig met de 'speciale functies' voor de implementatie van de Sigfox-communicatie.

Installatie van de Arduino IDE

De laatste versie van de Arduino IDE (de ontwikkelomgeving) kan direct gedownload worden van de Arduino homepage [6]. Om de IDE permanent op uw computer te installeren, selecteert u in het rechter vak de versie *Windows ZIP file for non admin install*, een download van ongeveer 108 MB.

Installatie en configuratie voor het board verlopen zeer eenvoudig [7][8]. U hoeft alleen maar te weten om wat voor board het gaat – hier MKR FOX 1200 met SAMD21-controller. In de Arduino IDE kan de driverbibliotheek voor de SAMD-boards worden geïnstalleerd via *Tools → Board → Board Administrator*.

Vereiste bibliotheken

Bij het maken van Arduino-programma's (*sketches*) kunt u terugvallen op een groot aantal kant-en-klare functies, gegroepeerd in bibliotheken. Dit vermindert de ontwikkelinspanning aanzienlijk en u kunt zeer snel bruikbare resultaten bereiken. Naast de bibliotheken die al in de Arduino IDE zijn opgenomen, zijn er vele andere functieverzamelingen op het internet te vinden voor allerhande externe periferie (displays, sensoren enzovoort) die eenvoudig aan uw eigen project kunnen worden toegevoegd. Voor het gebruik van de hier gemonteerde externe periferie moeten deze extra bibliotheken worden geïnstalleerd:

- voor het ePaper-display: de *GxEPD-* en *Adafruit GFX*-bibliotheeken;
- voor de BMP280-luchtdruksensor: de *BMx280MI*-bibliotheek;
- in het tweede deel van de serie installeren we nog *Sigfox*-bibliotheek.

Advertentie

USB Type-C™

24 reasons to connect with us.



#USBTYPEC
WE speed up
the future

© EiCan/eSos



USB Type-C™

Würth Elektronik offers the complete product range from connectors, components for filtering of EMI noise, ESD surge protection as well as AC/DC to DC/DC power conversion for USB 3.1. The specially designed products are featured in the Würth Elektronik USB Type-C™ EMC Dongle to easily and quickly validate the EMC and Surge compliance of your application. Our products are referenced in the USB Type-C™ reference designs of leading IC manufacturers.

For further information, please visit: www.we-online.com/typec

App Note ANP007 – Effective USB 3.1 filtering and protection: www.we-online.com/anp007

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ■ USB licensed and TID listed Type-C™ Connectors WR-COM ■ 60 W and 100 W Vbus filter ■ High efficiency molded power inductors WE-MAPI for Vbus filter | <ul style="list-style-type: none"> ■ Low parasitic capacitance WE-TVS diode ■ High speed, low noise data transmission filter with WE-CNSW HF ■ Pulse stable SMT Chip Bead Ferrites WE-MPSB for hot-pluggin |
|---|---|

The screenshot shows the Arduino IDE interface with the board set to 'MKR FOX 1200'. The monitor window displays a menu of demo programs:

```
*****
*** Demo-program for Arduino-Sigfox-Board MKR FOX 1200 ****
*****
```

Please choose:

- 1) Blink integrated LED on Pin 6
- 2) Output over digital Port-Pin
- 3) Read digital Port-Pin
- 4) Read analog voltage
- 5) Output PWM-Signal
- 6) Generate tones over the passive Piezo-Buzzer
- 7) Output a 'real' voltage over DAC
- 8) Measurement of the ambient brightness with the LDR
- 9) Text-Demo for the ePaper-Display
 - a) Operating the ambient pressure sensor BMP280
 - b) Demo-Program 1
 - c) Demo-Program 2

Your choice: Autoscroll Zeitstempel anzeigen Kein Zeilenende 1200 Baud Ausgabe löschen

Figuur 6. Menu van het demo- en testprogramma.

De eerste twee bibliotheken maken deel uit van ons software-pakket [1]. De Sigfox-bibliotheek kan later worden geïnstalleerd via de bibliotheekmanager van de Arduino IDE (Tools → Manage libraries...)

Een beknopte handleiding voor het installeren van Arduino ZIP-bibliotheken is bijvoorbeeld te vinden onder [5].

Besturingssoftware voor de MKR FOX 1200

Een zeer goede Duitstalige referentiehandleiding voor de Arduino-instructieset is te vinden onder [4]. We hebben een kleine Arduino-sketch geschreven om enkele basisfuncties van het board uit te proberen (inbegrepen in ons softwarepakket [1]). Tegelijkertijd dient deze schets als testprogramma voor het moederboard. De afzonderlijke softwaremodules kunnen als uitgangspunt dienen voor uw eigen ontwikkelingen.

Figuur 6 toont het menu van dit programma; de afzonderlijke functies kunnen via de seriële interface worden opgeroepen. Daartoe moet u eerst de Arduino IDE starten.

Open dan de demosketch in de IDE. Laad de schets nog niet in het board, maar start eerst de interne seriële monitor van de IDE met *Ctrl+Shift+M*.



Laat nu de sketch compileren, downloaden en starten. Schakel over op het monitorvenster (*Ctrl+Shift+M*). Daar zou u het menu van figuur 6 moeten zien.

Nu kunt u een van de demovoorbeelden selecteren (de invoer in de bovenste monitorregel moet altijd met Enter worden afgesloten).

De Sigfox-communicatiesoftware

In het volgende deel van de serie bespreken we het gebruik van de speciale functies voor het opzetten en afhandelen van Sigfox-communicatie. ↗

(190281-03)

IN DE STORE



→ Arduino MKR Fox 1200
www.elektor.nl/19096

→ Arduino antenne 868 MHz
www.elektor.nl/19095

Weblinks

- [1] Projectpagina bij dit artikel: www.elektormagazine.nl/190281-03
- [2] Officiële homepage van de MKR FOX 1200: <https://store.arduino.cc/arduino-mkrfox1200>
- [3] Pinout van de MKR FOX 1200: <https://arduinoplus.ru/ref/raspinovka-plat/raspinovka-arduino-mkr-fox-1200/>
- [4] Duitstalige Arduino instructieset-referentie: www.arduinoforum.de/referenz.php
- [5] Extra bibliotheken installeren:
<https://dev-blog.vcp.de/arduino/arduino-entwicklungsumgebung/installieren-zusaetzlicher-bibliotheken/>
- [6] Download hier de nieuwste versie van de Arduino IDE: www.arduino.cc/en/main/software
- [7] Installatie van de Arduino IDE: <https://funduino.de/anleitung>
- [8] Installatie van de Arduino IDE en inleiding tot de IDE: www.youtube.com/watch?v=K_FhVhRP0mg
- [9] Datasheet van de SAMD21-microcontrollerfamilie:
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/SAMD21-Family-DataSheet-DS40001882D.pdf>
- [10] Datasheet van de Sigfox-transceiver:
http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-9409-Smart-RF-ATA8520E_Datasheet.pdf

Elektor Labs Pipeline



Clemens Valens (Elektor Labs)

Sensoren, batterijen en een goede connectiviteit zijn belangrijk voor succesvolle IoT-applicaties. Voeg daar dan ook nog een fraaie gebruikersinterface (UI) aan toe en je zit gebeiteld. Hier een paar mooie voorbeelden van dit soort projecten – en meer...

Een gebruikersinterface met presets voor uw voeding

Een paar jaar geleden heeft Elektor onder de naam UniLab2 een 30V/3A regelbare labvoeding gepubliceerd. Om het project betaalbaar te houden was de gebruikersinterface tamelijk Spartaans. Dit Elektor Labs-project biedt een gelikte gebruikersinterface voor de UniLab2 door toevoeging van draai-encoders en een 4-regelig LCD. Bovendien is voorzien in handige presets voor 3,3 V, 5 V en 12 V uitgangsspanning.



@ Elektor Labs: www.elektormagazine.nl/labs/1836

Accupacks puntlassen – doe het zelf

Het lijkt erop dat Europa ver achterloopt op China als het gaat om de productie van accu's. Er zullen miljarden geïnvesteerd moeten worden om de achterstand in te lopen. Hoewel dit Elektor Labs-project slechts een druppeltje in de accu-oceaan is, kan het goed van pas komen voor diegenen die niet willen wachten tot investeerders en bestuurders in actie beginnen te komen.



@ Elektor Labs: www.elektormagazine.nl/labs/1817

Stralingsdetector met PIN-diode – als MQTT-cliënt

Meer dan 30 jaar na de meltdown van de kerncentrale in Tsjernobyl (Oekraïne) heeft de straling die daar het gevolg van was nog steeds meetbare consequenties in gebieden op honderden kilometers afstand. Dit project is geconciepeerd toen Zweden in 2018 een landelijk project startte om gedroogde paddestoelen te analyseren om het geaccumuleerde stralingsniveau in de bodem te bepalen.



@ Elektor Labs: www.elektormagazine.nl/labs/1553

Een PIR-sensor die kan e-mailen

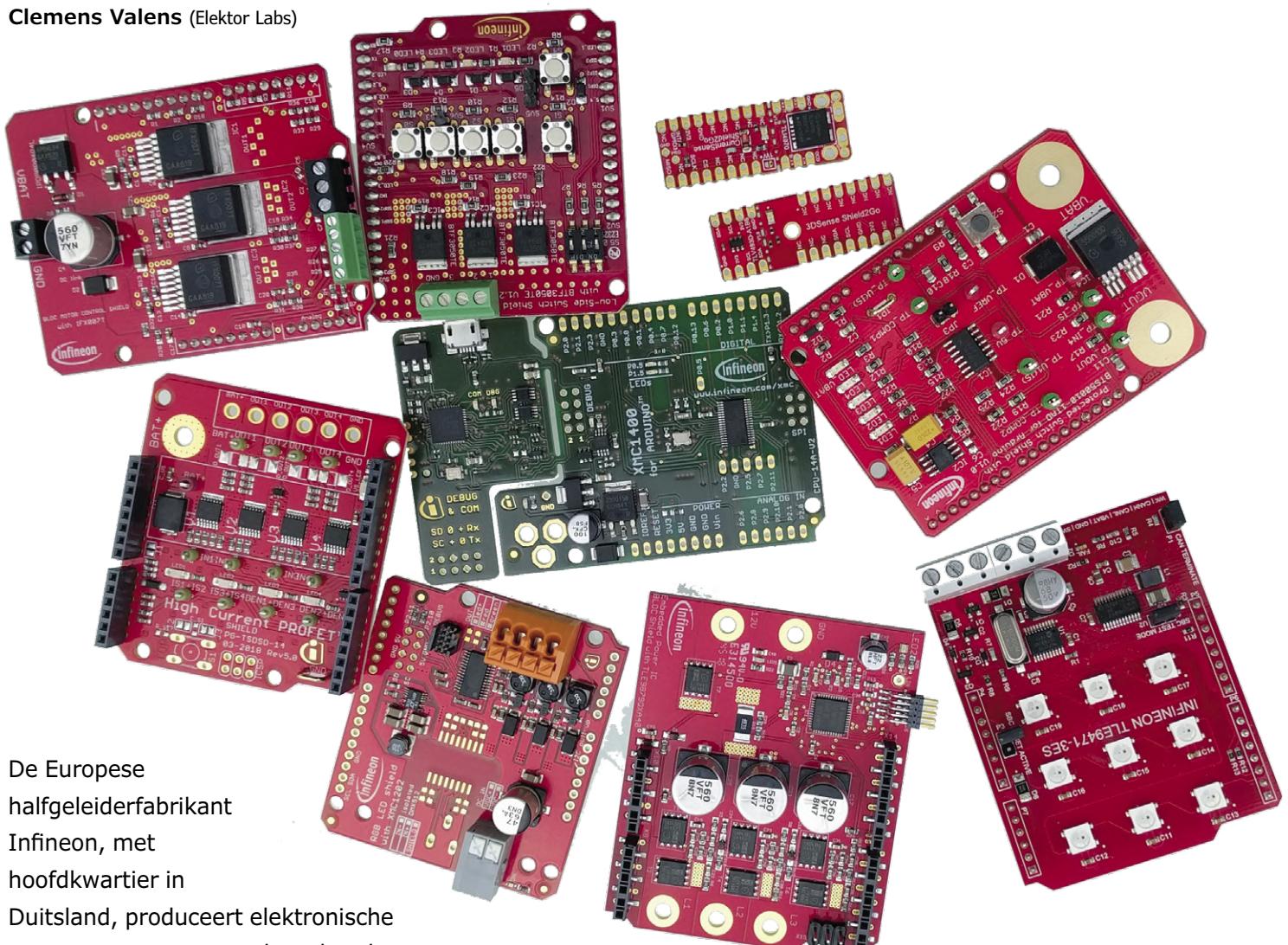
Goedkoop, krachtig en uitgerust met Bluetooth en WiFi – de ESP32 is snel uitgegroeid tot een populair ontwikkelplatform voor zelfgemaakte IoT-toepassingen. Dit is er een die een gewone PIR-sensor omdovert tot een bijna intelligente, communicerende entiteit. Dit alarm is mogelijkwijs minder geschikt voor mensen die hun e-mail slechts eenmaal per maand of zo controleren. ▶



@ Elektor Labs: www.elektormagazine.nl/labs/1827

Pret met ontwikkelboards van Infineon

Clemens Valens (Elektor Labs)



De Europese halfgeleiderfabrikant Infineon, met hoofdkwartier in Duitsland, produceert elektronische componenten voor een breed scala aan toepassingen. Om het leven van een ontwerper een beetje aangenamer te maken zijn er ook tal van evaluatie- en ontwikkelboards die deze componenten ondersteunen. Omdat Arduino de de-facto standaard voor dit soort boards is geworden, heeft ook Infineon een reeks Arduino-shields gelanceerd. Een paar daarvan zullen we hier nader bekijken.

Infineon voor makers

Als ik me goed herinner, zag ik ‘makers’ als doelgroep voor het eerst bij een Infineon-presentatie tijdens een professionele elektronica beurs. Dat bleken geen loze woorden, want sindsdien ontwikkelt Infineon Arduino-compatible ontwikkelboards (‘shields’) voor hun componenten. Omdat Infineon is gespecialiseerd in automotive en vermogenselektronica en digitale beveiliging, zal het geen verbazing wekken dat vooral voor die toepassingen boards zijn ontwikkeld.

Uit respect voor de conventies van de maker-scene worden de boards ondersteund door via GitHub gepubliceerde open source-libraries en zijn de hardware-ontwerpen beschikbaar als Eagle-bestanden. Naast de Arduino-compatibele boards zijn ook meer traditionele tools beschikbaar.

Voor de serieuze programmeur van applicaties met Infineon-microcontrollers is er de op Eclipse gebaseerde gratis IDE DAVE, rijkelijk voorzien van voorbeeld-code.

Robuuste microcontrollers voor industriële en automotive toepassingen

Microcontroller units (MCU's) vormen het hart van vrijwel elke hedendaagse toepassing en Infineon biedt daarvan dan ook een heel gamma aan. De Multicore Aurix-familie is bedoeld voor veiligheidskritische en rekenintensieve automotive en andere toepassingen, terwijl de XMC-lijn meer gericht is op industrie en verlichting. Vooral de van 32-bits ARM-cores voorziene XMC-familie is geschikt voor makers: de XMC1000-serie heeft Cortex-M0 cores en de XMC4000 Cortex-M4. Daarnaast bestaan ook nog gespecialiseerde componenten met Cortex-M3-core. Naast de standaard periferie – merk op dat bij Infineon een USART een USIC heet en een timer/counter een CCU (met talloze PWM- en capture/compare-opties) – bieden deze MCU's geavanceerde PWM-functies voor motorbesturing en verlichtingstoepassingen. Sommige hebben zelfs een CORDIC-engine aan boord voor snelle trigonometrische berekeningen samen met een 32-bits hardware-deler. De XMC4300 en XMC4800

hebben zelfs EtherCAT voor real-time besturing via Ethernet. Op dit moment omvat de XMC1000-familie vier productlijnen:

- **XMC1100** – voor algemeen gebruik;
- **XMC1200** – LED-verlichting en human/machine interface (HMI) toepassingen;
- **XMC1300** – motorbesturing en digitale vermoegensomzetting, maar heeft ook periferie voor LED-verlichtingstoepassingen;
- **XMC1400** – de krachtigste van de op de Cortex-M0 gebaseerde chips, combineert de mogelijkheden van de XMC1200 en XMC1300.

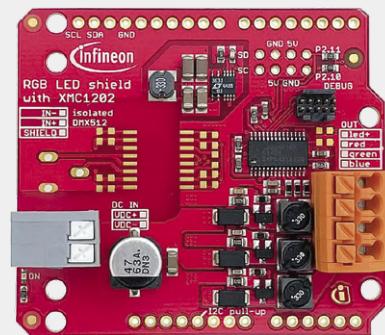
Vermogensregeling met high- en low-side switches

Een high-side switch verbindt een belasting met de positieve kant van een voeding, terwijl een low-side switch tussen belasting en massa zit. Voor het schakelen van zware belastingen

RGB-LED verlichting-shield met XMC1202

Dit shield is opgebouwd rondom een XMC1202-TQ28X0016 microcontroller en integreert een 9-kanaals 'Brightness and Colour Control Unit' (BCCU), een *peripheral* voor flikkervrij LED-dimmen en kleurregeling met pulsduurmodulatie (PDM). Het shield kan tot drie LED-kanalen met constante stroom aansturen. De buck-converter die deze stroom levert kan online worden gesimuleerd. Bij dit shield zijn maar liefst twee dozijn softwarevoorbeelden.

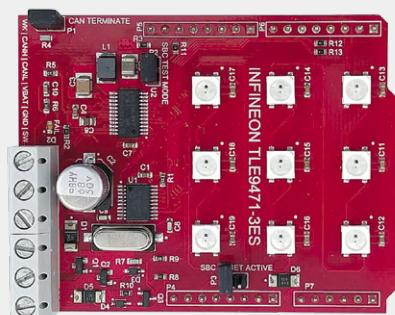
www.infineon.com/cms/en/product/evaluation-boards/kit_led_xmc1202_as_01



DCDC System Basis Chip-shield met TLE9471-3ES

Het TLE9471-3ES shield is opgebouwd rond een zogenoamde DCDC System Basis Chip (SBC) en heeft negen WS2812B adreseerbare RGB-LED's, een CAN-bus en een high-side switch met flyback-diode, waarmee (inductieve) belastingen tot 2,5 A kunnen worden geschakeld. De buck-converter die de LED's voedt, de CAN-bus en de high-side driver zijn alle geïntegreerd in de TLE 9471 SBC. Communicatie tussen de SBC en het basisboard verloopt via SPI. Om de SBC te programmeren is een grafische configuratietool beschikbaar die de benodigde code genereert voor bijvoorbeeld Arduino. Dankzij de grote variëteit aan on-board periferie is dit shield een prima platform om auto-elektronica te simuleren.

www.infineon.com/cms/en/product/evaluation-boards/sbc-shield_tle9471/

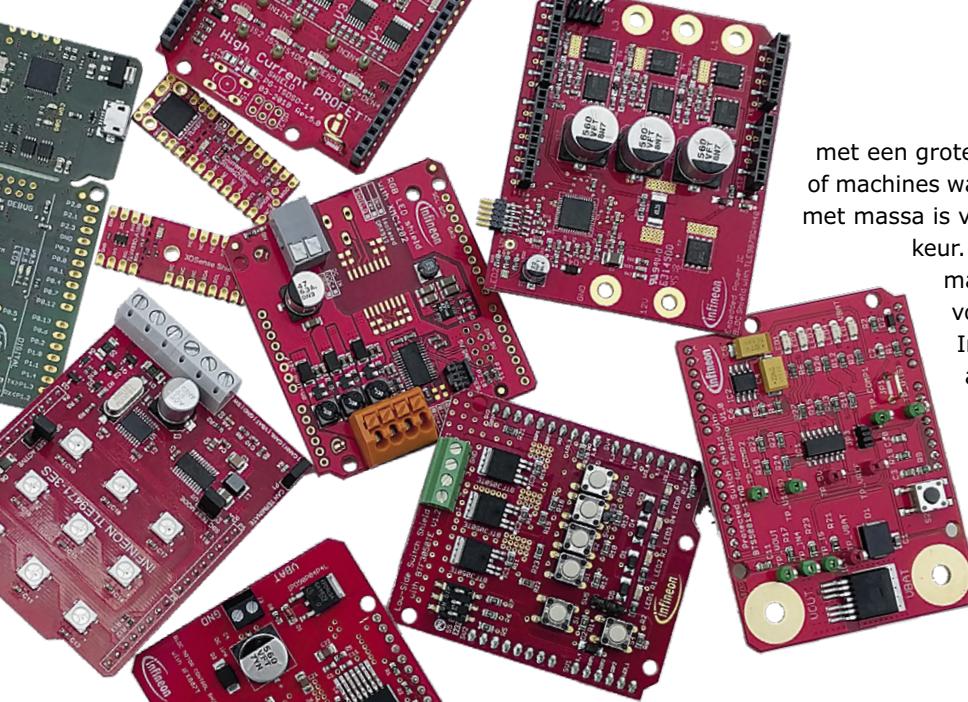


BLDC-shield met TLE9879QXA40

Als lid van de Embedded Power Microcontroller Boards-familie is dit shield uitgerust met een TLE9879QXA40, een driefase-motordriver met geïntegreerde ARM Cortex-M3 core. Het IC wordt ondersteund door zes IPC90N04S5-3R6 vermogenstransistors, die elk 90 A kunnen schakelen (met voldoende koeling, het shield zelf is gespecificeerd voor een maximale uitgangsstroom van 10 A). Het board heeft ook een RGB-LED. De MCU wordt voorgeprogrammeerd geleverd met drie motor-besturingsalgoritmes, sensorloos Field-Oriented Control (FOC); back-EMF en Hall-sensor gebaseerde blokcommutatie. Een Arduino-compatibel basisboard communiceert via SPI met de TLE9879, waardoor de gebruiker de parameters van de motoralgoritmes kan instellen. Op een basisboard kunnen tot vier van dit soort boards worden gestapeld. Voorbeeldsoftware voor Arduino en µVision kan worden gedownload van de webpagina van het shield.

www.infineon.com/cms/en/product/evaluation-boards/bldc_shield_tle9879/



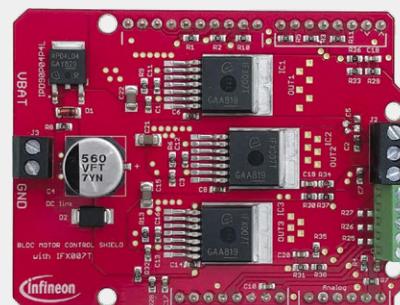


met een grote kans op sluiting naar massa, zoals in auto's of machines waar een groot deel van de omgevingsstructuur met massa is verbonden, heeft high-side switching de voorkeur. Low-side switching is doorgaans goedkoper en makkelijker aan te sturen en daardoor geschikt voor lichte belastingen en PWM-besturing. Infineon maakt een breed scala aan zowel high- als low-side switches. De high-side-familie is gebaseerd op wat de 'PROFET'-technologie wordt genoemd, van PROtected FET. Deze componenten zijn bedoeld voor automotive en industriële toepassingen en kunnen stromen schakelen tot 40 A bij spanningen tot 28 V. Ze zijn opgebouwd met een N-FET die is omringd door allerlei beveiligingscircuiten en een ladingpomp, waardoor ze

(BL)DC Motor Driver-shield IFX007T

Standaard worden vermogens MOSFET's gebruikt als drivers voor zowel borstel- als borstelloze (BL)DC-motoren. Infineon levert hiervoor talloze componenten, maar gezien de beperkte ruimte belichten we hier alleen het (BL)DC motordriver-shield IFX007T. Dit is een soort tegenpool van het eerder besproken shield op basis van de TLE9879QXA40. In plaats van een intelligent board dat geheel zelfstandig allerlei fancy algoritmes draait, is dit een discreet ontwerp bestaande uit drie IFX007T high-current half-bridges. Het board kan motoren besturen met of zonder koolborstels, tot een continuvermogen van 300 W. Het shield kent verschillende modi, die kunnen worden geconfigureerd door het omsolderen van enkele weerstanden. De intelligentie moet worden geleverd door een basisboard, bijvoorbeeld een Arduino. Hierdoor kan worden gekozen voor besturing met Hall-sensoren of juist voor sensorloze Back EMF- of space-vector modulatie algoritmen.

www.infineon.com/cms/en/product/evaluation-boards/bldc-shield_ifx007t/

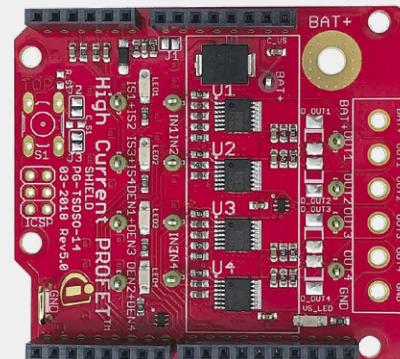


High-Side Switch-shield met BTS700x-1EPP

Een interessante familie van shields wordt gevormd door de vier-kanaals BTS700x-1EPP high-side switch-shields, waar 'x' staat voor '2', '4', '6' of '8'. Hoe lager het nummer, hoe hoger de stroom die ze kunnen schakelen (resp. 20, 15, 12,5 en 10 A). Welke chip is gemonteerd is alleen af te leiden uit een vinkje op de verpakking; op het board zelf is dat niet vermeld! De switches kunnen relais en zekeringen vervangen voor grote belastingen in automotive toepassingen, uitgangen van 12V-voedingen besturen en beveiligen, belastingen schakelen en stroom meten en no-load condities detecteren.

www.infineon.com/cms/en/product/evaluation-boards/shield_bts7002-1epp/

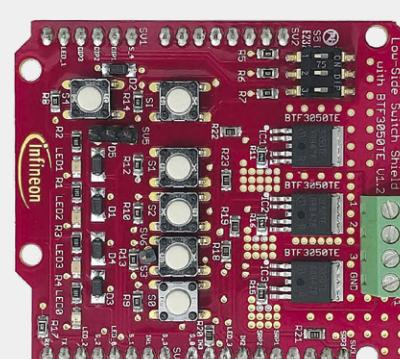
www.infineon.com/cms/en/product/evaluation-boards/shield_bts7004-1epp/



Low-Side Switch-shield met BTF3050TE

Het op de BTF3050TE gebaseerde drie-kanaals shield leent zich prima voor experimenten met low-side switches. Elk kanaal is geschikt voor resistieve, inductieve en capacitive belastingen tot 3 A_{DC} nominaal en is beveiligd tegen te hoge spanning, stroom en temperatuur. Ook PWM wordt ondersteund (tot 14 kHz). De on-board drukknoppen en LED's zijn bruikbaar als primitive gebruikersinterface. Voorbeeldsoftware voor zowel Arduino als DAVE is beschikbaar.

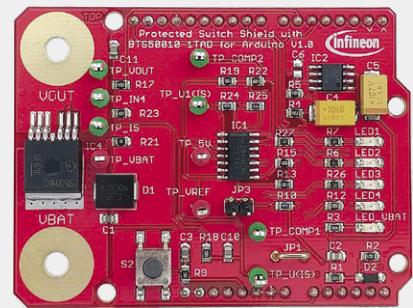
www.infineon.com/cms/en/product/evaluation-boards/shield_btf3050te/



12V Protected Switch-shield met BTS50010-1TAD

De BTS50010-1TAD high-side switch is een N-channel-chip met een R_{on} van 1 mΩ die 40 A kan leveren (de datasheet vermeldt ook 80 A, maar dat lijkt onjuist). Hij kan rechtstreeks vanuit een op 3,3 of 5 V draaiende microcontroller worden aangestuurd. Er is een hele reeks aan beveiligingen ingebouwd: *loss-of-ground* en *loss-of-load* detectie, beveiliging tegen over- en onderspanning, overstroom, verkeerde polariteit en te hoge temperatuur. Een geïntegreerde uitgangsdiode maakt een externe flyback-diode overbodig. Met de sense-pin kan de belastingsstroom worden gemonitord en kunnen fouten worden gedetecteerd.

www.infineon.com/cms/en/product/evaluation-boards/shield_bts50010-1tad/



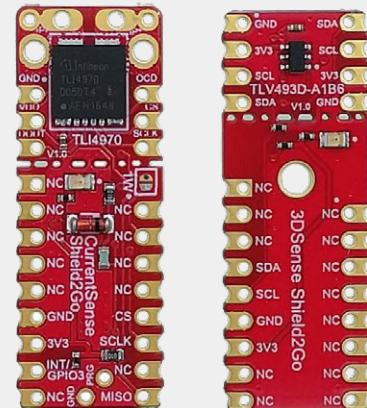
Shield2Go TLV493D en TLI4970

De TLV493D is een 3D magnetische sensor die lineaire beweging en rotatie meet in drie dimensies. Te gebruiken voor joysticks en andere besturingselementen – eigenlijk voor elke toepassing waar nauwkeurige hoekmetingen nodig zijn.

www.infineon.com/cms/en/product/evaluation-boards/s2go_3d-sense_tlv493d/

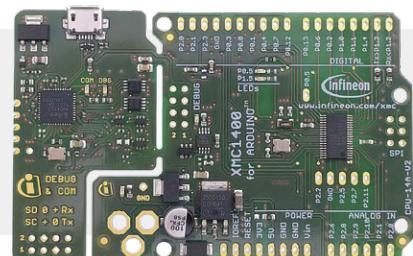
De TLI4970 is een kernloze AC/DC-stroomsensor die stromen kan meten tot ±50 A met een resolutie van 12,5 mA (13 bits) en die een SPI-interface heeft. De chip is nauwelijks handmatig te solderen, dus een BoB is wel zo handig. Het mag misschien een simpel ding lijken, maar dat is het zeker niet, want hij beschikt over een DSP, ADC, digitaal filter, overstroombeveiliging, een EEPROM, een temperatuursensor en een mechanische stress-sensor.

www.infineon.com/cms/en/product/evaluation-boards/s2go_cur-sense_tli4970/



XMC voor Arduino

Voor zowel XMC1000 als XMC4000-chips bestaan Arduino-compatibele ontwikkelboards. Als voorbeelden noemen we de 'XMC1400 for Arduino' en de daarop lijkende 'Boot Kit XMC1000'. Deze boards worden ondersteund door het 'Infineon Boards Package for Arduino', zodat de gebruiker ze met de Arduino IDE kan programmeren.



Alle hier gepresenteerde Infineon boards zijn beschikbaar in de Elektor Store!

rechtstreeks door een microcontroller kunnen worden aangestuurd. De low-side switches van Infineon maken gebruik van de 'HITFET'-technologie (Highly Integrated Temperature protected FET). Ze worden vooral toegepast in automotive toepassingen waar ze lampen, verwarming, relais en kleine motors schakelen.

Sensoren evalueren met Shield2Go

Infineon is actief op meerdere fast-prototyping fronten. Shield2Go is hun eigen benadering van zo'n platform. Dit bestaat uit een familie van kleine (39x15 mm) breadboard-vriendelijke breakout-boards (BoB's) met een gestandaardiseerde pinout. Elk board heeft een ander sensor of beveiligings-IC. Daarnaast is er een board met een XMC1100 microcontroller ('XMC 2Go'). Het IC waar het om draait zit aan één kant van het board en kan worden afgebroken. Zo kan de gebruiker het IC eerst testen op een breadboard en als hij daarmee klaar is het print-

gedeelte met het IC afbreken en inbouwen in de uiteindelijke toepassing, zonder dat daar onnodig ruimte in beslag wordt genomen. In plaats van pinheaders is het board uitgerust met klemcontactjes, zodat zelfs solderen niet nodig is. Het 'My IoT Adapter'-board overbrugt de kloof naar Arduino-compatible platforms zoals Infineons eigen Boot Kits. Met deze adapter kunnen tot drie Shield2Go-boards met een basisboard worden verbonden. Arduino-libraries voor de Shield2Go-boards zijn beschikbaar op GitHub. ▶

(190352-04)

Web Links

- [1] Infineon voor makers: www.infineon.com/makers
- [2] Infineon op GitHub: <https://github.com/Infineon>

...er zij (goed) licht!

kwaliteitscriteria voor binnenverlichting met LED-lampen

Uli Zappe (Duitsland)

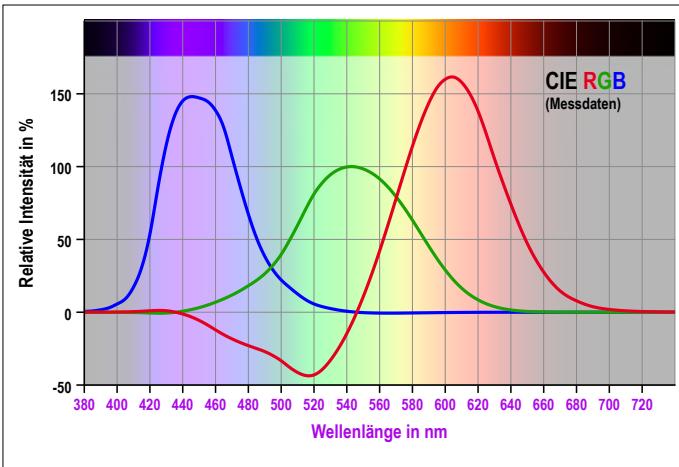




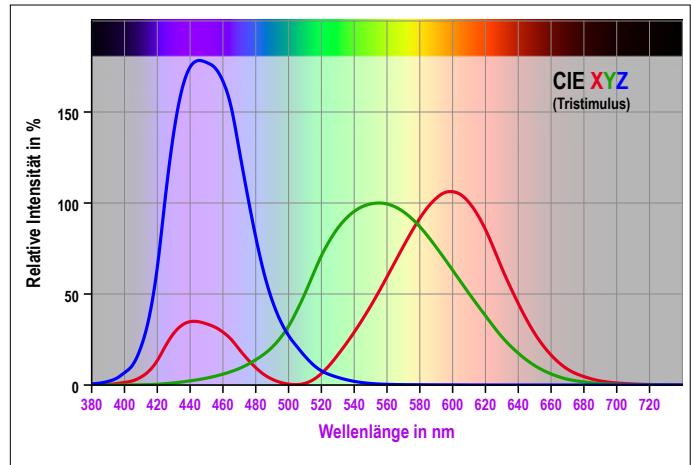
Vroeger was alles beter – of in ieder geval eenvoudiger: wie een gloei- of halogeenlamp wilde kopen hoefde alleen maar na te denken over vermogen, afmetingen en afstraalhoek. De eigenschappen van het uitgestraalde licht werden bepaald door het verlichtingsprincipe. Ook was de helderheid zo sterk aan het opgenomen vermogen gekoppeld dat er niet op lumen maar op watt werd gekozen. De huidige LED's kunnen echter met de meest uiteenlopende eigenschappen worden 'gekweekt'. Maar wat zijn nu de criteria voor goede LED-verlichting?

Om kwaliteitscriteria voor LED-verlichting te kunnen opstellen, moeten we ons eerst wat verdiepen in de kleurenleer. En die blijkt helaas gecompliceerder dan gedacht. De reden hiervoor is simpel: kleur bestaat niet als object in de fysieke wereld – pas in onze hersenen worden uit lichtgolven kleu-

ren gemaakt. Dit geldt weliswaar ook voor geluidsgolven en tonen, maar daar ligt de zaak veel eenvoudiger: de dubbele frequentie levert dezelfde toon, maar dan een octaaf hoger. Van zulke eenvoudige relaties kunnen we in de kleurenwereld alleen maar dromen.



Figuur 1. Resultaat van de historische kleurmengproeven (hierop is in 1931 de standaardwaarnemer van de CIE gebaseerd).



Figuur 2. Tristimulus: getransformeerde versie van de kleurmenging van de standaardwaarnemer.

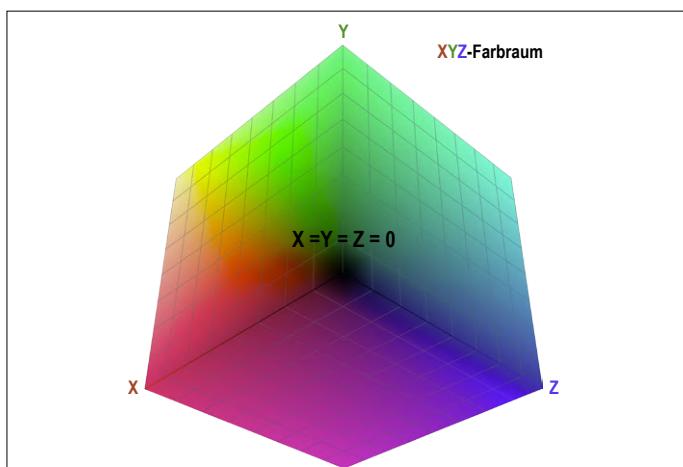
De standaardwaarnemer

Maar hoe kun je iets dat alleen maar in de menselijke geest bestaat in de echte wereld onderzoeken? Dat kan alleen worden gerealiseerd met psychologische tests die een kwantitatieve relatie leggen tussen natuurkundige grootheden en menselijke kleurwaarneming. Zulke tests werden rond 1930 uitgevoerd met maar liefst 17 (!) proefpersonen, en het gemiddelde van de resultaten werd vastgelegd als de *standaardwaarnemer van 1931*, die door de internationale verlichtingscommissie CIE (*Commission Internationale de l'Éclairage* [1]) als basis van de kleurenleer werd aangenomen. Tot op de dag van vandaag vertegenwoordigen deze 17 proefpersonen natuurkundig beschouwd de kleurwaarneming van de mensheid!

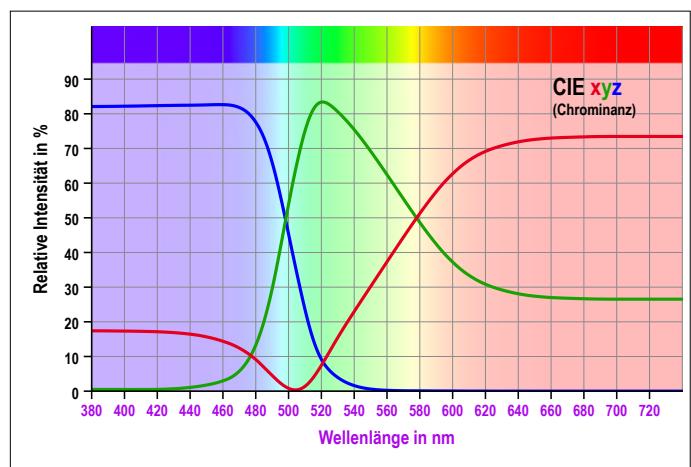
Omdat toen al bekend was dat door menging van drie 'basiskleuren' alle verschillende kleurindrukken bij mensen kunnen worden opgewekt, kregen de 17 proefpersonen een regelkastje in de hand waarmee ze de helderheid van monochrome lichtbronnen met golflengtes van 700 nm (rood), 546 nm (groen) en 436 nm (blauw) tussen 0% en 100% konden instellen. Ze kregen de opdracht om het licht van deze bronnen zodanig te mengen dat het licht van andere monochrome lichtbronnen ermee werd nagebootst, en wel zodanig dat ze geen verschil

meer konden waarnemen. In **figuur 1** ziet u het statistisch gemiddelde van de uitkomsten, dat door de CIE in 1931 werd gepubliceerd. Hierbij werd afgesproken om de curve van de groene regelaar op 100% in te schalen.

De drie meetcurves werden om voor de hand liggende redenen aangeduid met R, G en B (niet te verwarren met het bij computers en monitoren gebruikte RGB-kleurruimtes). Om bijvoorbeeld een monochrome oranje lichtbron van 600 nm te simuleren was dus 160% R, 29% G en 0% B nodig. Wat hierbij opviel was dat kleuren in het golflengtegebied tussen 437 nm en 546 nm absoluut niet goed uit de drie mengkleuren konden worden samengesteld. Dat lukte pas toen *aan de na te bootsen kleur* een beetje van de rode mengkleur van 700 nm werd toegevoegd. In de grafiek werd dit als een negatieve meetwaarde voor R uitgedrukt; men trok zogezegd aan beide kanten van de vergelijking dezelfde hoeveelheid R af. Maar hoe moeten we ons een helderheid van minder dan 0% voorstellen? U bent niet de enige die hier moeite mee heeft. Om dit probleem op te lossen liet men op de meetresultaten een wiskundige (lineaire) transformatie los, die alle waarden in positieve richting verschoof met behoud van de mengverhoudingen uit de metingen. En toen men toch eenmaal bezig was,



Figuur 3. De XYZ-kleurruimte.



Figuur 4. Chrominantie-curves. De som van de drie kleurcomponenten is gelijk aan 1.

werd de transformatie ook nog zodanig gekozen dat de G-curve overeenkwam met een correcte weergave van de helderheidswaarneming van het menselijk oog – erg handig. Hiermee was echter de fantasie van de betreffende wetenschappers uitgeput, en zinvolle namen voor de nieuwe curves hebben ze daarom niet meer verzonden. En omdat R, G en B al bezet waren, koos men eenvoudigweg voor de in de wiskunde gebruikelijke algemene variabele-aanduidingen X, Y en Z. (**figuur 2**).

Omdat deze *drie* meetcurves aangeven hoe ons gezichtsvermogen door lichtgolven wordt *gestimuleerd* om tot een kleurindruck te komen, worden deze XYZ-curves *tristimulus-curves* genoemd. Vele tientallen jaren later, kort voor de millenniumwisseling, was men met moderne technieken in staat om het spectrale absorptiegedrag te meten van de drie soorten kegeljes die in het netvlies van het menselijk oog verantwoordelijk zijn voor de kleurwaarneming. Hierbij werd vastgesteld dat deze absorptiecurves goed overeenkomen met de XYZ-curves.

Kleuren bepalen

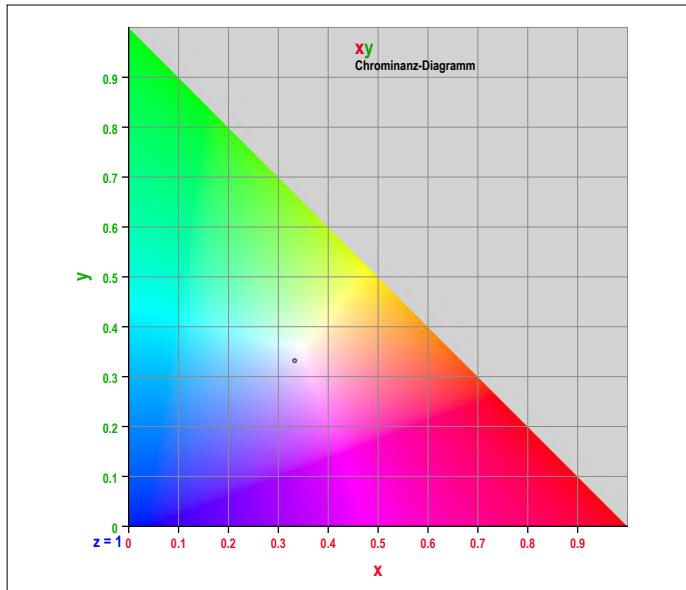
Natuurkundige grootheden met drie componenten kunnen in een driedimensionaal coördinatenstelsel worden afgebeeld: daarom hebben we het bij het kwantificeren van kleuren over *kleurruimtes*. De XYZ-kleurruimte kan ongeveer zoals in **figuur 3** worden voorgesteld. Hoewel dit er op het eerste gezicht erg mooi uitziet, is het niet echt handig om kleuren mee op te zoeken, want het merendeel van de kleuren zit onzichtbaar in het binnenste van deze ‘doebelsteen’ verscholen!

Als het alleen maar om de *kleurtint* gaat, bijvoorbeeld of het turquoise of oranje of violet betreft, maar niet over hoe helder of verzadigd deze kleuren zijn, dan kunnen we een truc uithalen: We delen X, Y en Z van een kleur steeds door de som X + Y + Z. Daarmee blijft de *verhouding* tussen X, Y en Z onveranderd, maar de som van X, Y en Z is altijd 1 oftewel 100%. En juist deze *verhouding* is de kleurtint of *chrominantie* (het oud-Griekse *chroma* betekent kleur). Hierbij wordt buiten beschouwing gelaten welke specifieke waarden voor helderheid en verzadiging nodig zijn om ervoor te zorgen dat de som van de kleurcomponenten altijd 1 is.

Toen de wetenschappers destijds dit idee hadden uitgewerkt, waren ze door deze intellectuele krachttoer waarschijnlijk (opnieuw) zo uitgeput dat ze ook voor de chrominantie geen originele letters meer konden bedenken. Deze werden simpelweg x, y en z genoemd. In **figuur 4** ziet u de resulterende chrominantie-curves.

Maar wat hebben we hier nu eigenlijk mee gewonnen? Omdat we weten dat de som van x, y en z altijd 1 is, hebben we genoeg aan een tweedimensionale voorstelling van x en y, want daaruit kan z volgens $z = 1 - x - y$ worden afgeleid (in het nulpunt van x en y is z logischerwijs gelijk aan 1). Hieruit volgt het chrominantiediagram van **figuur 5**.

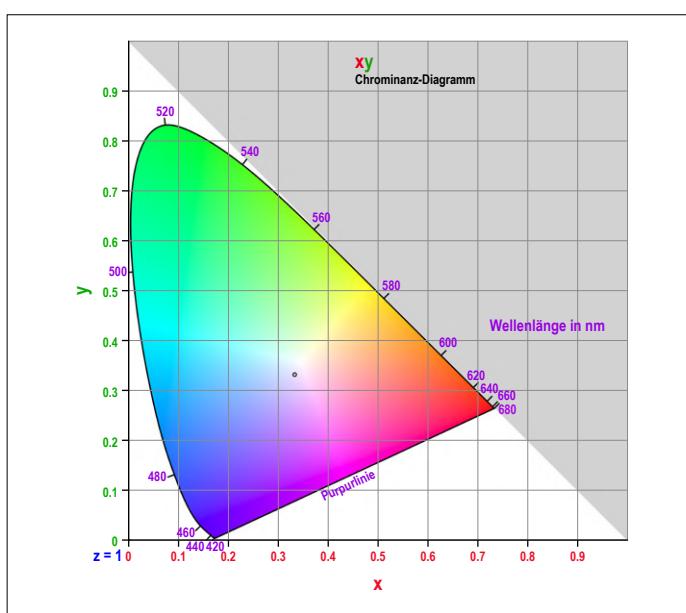
De grijsgemaakte helft rechts boven de diagonaal bevat geen zinvolle waarden, omdat hier geldt dat $x + y > 1$ en dat is per definitie uitgesloten. In de overblijvende helft (linksonder) bevinden zich – hoera! – eindelijk goed zichtbaar alle waarneembare kleuren, maar alleen met een bepaalde helderheid en verzadiging. Beter gezegd: alle waarneembare *kleurtinten*. Maar niet te vroeg gejuicht! In het chrominantiediagram bevinden zich namelijk niet alleen alle waarneembare kleurtinten, maar daarnaast ook sommige kleurtinten die helemaal niet bestaan (de in de figuur afgedrukte kleuren zijn alleen symbolisch bedoeld omdat ElektorLabs op dit moment helaas nog



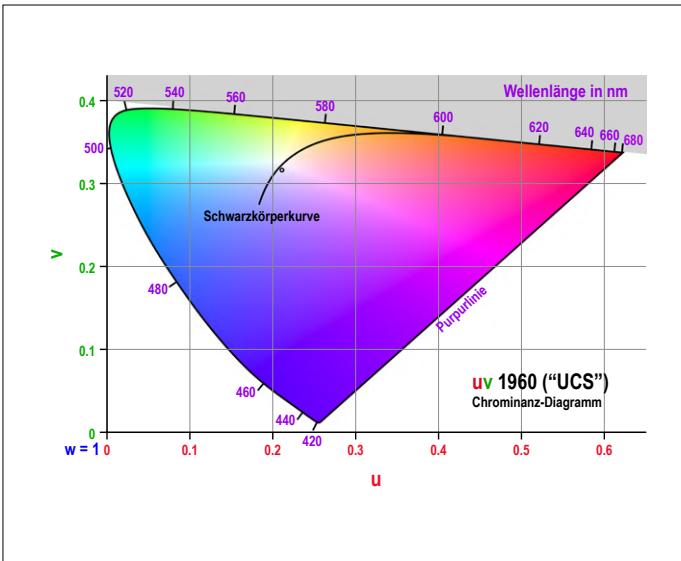
Figuur 5. Het chrominantiediagram. Hierbij geldt: $z = 1 - x - y$.

geen ‘niet bestaande kleuren’ kan afdrukken). Ik denk dat u nu toch op z’n minst uw wenkbrauwen fronst...

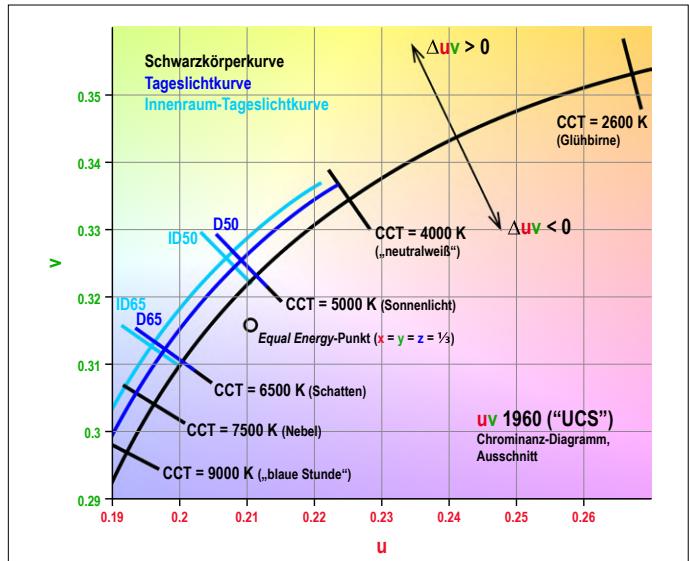
Hier komt de verklaring: R, G en B waren de werkelijk bestaande monochrome kleuren die werden gebruikt in de experimenten voor de bepaling van de standaardwaarnemer. Door de lineaire transformatie om negatieve waarden te vermijden werden ze echter naar X, Y en Z verschoven, en deze ‘verschoven kleuren’ bestaan niet in de ons omringende werkelijkheid. Het zijn imaginaire, zuiver wiskundige constructies. En dit levert natuurlijk direct de volgende vraag op: welke kleuren in het chrominantiediagram van figuur 5 bestaan dan wel? Heel eenvoudig, we bepalen voor alle monochrome kleuren met behulp van de tristimulus-grafieken welke XYZ-waarden overeenkomen met de monochrome golflengtes, rekenen ze om naar xy-chrominantiewaarden, voeren ze in het chrominantiediagram in en



Figuur 6. Chrominantiediagram van echt bestaande kleurtinten.



Figuur 7. Chrominantiediagram uv-1960.



Figuur 8. Gecorreleerde kleurtemperatuur. Uitsnede uit figuur 7 met voorbeelden van verschillende gecorreleerde kleurtemperaturen.

– dit is zowel belangrijk als verhelderend – verbinden al deze punten met een lijn met elkaar. Alle echt bestaande kleurtinten liggen dan binnen de zo geconstrueerde meetkundige figuur, want een bepaalde kleur is hetzij monochroom (en ligt dan op de omtrek van de figuur), hetzij een mengsel van verschillende monochrome kleuren en ligt dan logischerwijs in de tweedimensionale ruimte tussen deze monochrome kleuren en niet erbuiten. Zo krijgen we het in **figuur 6** weergegeven chrominantiediagram van reële kleurtinten.

Op de rechte verbindinglijn tussen de kortste en de langste golflengte, waarmee de meetkundige figuur wordt gesloten, kunnen geen andere monochrome kleuren liggen, want deze liggen allemaal al op het gebogen deel. De kleuren op deze rechte verbindinglijn bestaan dus – anders dan de kleuren op de rest van de omtrek – uitsluitend uit een mengsel van kleuren, en nooit als monochrome kleur. Omdat de mengkleuren op de verbindinglijn hoofdzakelijk uit blauw en rood zijn samengesteld en voor het grootste deel purperkleuren zijn, wordt deze lijn de *purperlijn* genoemd.

De kleine stip in het midden van het chrominantiediagram is het zogenaamde *Equal-Energy-Point*, het punt van gelijke energie waarbij x , y en z alledrie even groot zijn en dus alle de waarde $1/3$ hebben. Als u hier goed naar kijkt dan ziet u dat dit punt niet het neutrale wit voorstelt dat u misschien zou verwachten, maar een beetje naar violet is verschoven. Wat wij als wit waarnemen verschilt dus van een uit natuurkundig oogpunt neutrale kleur. Dit is een goed voorbeeld van het eerder vermelde verschil tussen de kleurenleer en de geluidsleer waarbij alles er harmonischer aan toe gaat.

Kleuren in uniform

We hebben nu *bijna* alles behandeld wat we voor de beoordeling van lichtbronnen nodig hebben, maar we zijn er nog net niet helemaal.

De Amerikaanse natuurkundige David Lewis MacAdam had er namelijk moeite mee dat in het xy-chrominantiediagram van figuur 6 gelijke afstanden geen gelijke kleurverschillen betekenen. In het middengebied van het diagram ($x = y = 0,5$)

gaat bijvoorbeeld oranje snel over in geel en daarna in groen, maar over dezelfde afstand verandert er in het bovenste groene gedeelte van het diagram vrijwel niets; de kleurtint blijft hier groen.

Daarom liet MacAdam opnieuw een wiskundige (lineaire) transformatie op de chrominantiegegevens los, waardoor het lijkt alsof je schuin van opzij naar het xy-chrominantiediagram kijkt. Het geheel wordt hierdoor zodanig vervormd dat gelijke afstanden ongeveer gelijke kleurveranderingen betekenen. Zo ontstond de ‘uniforme’ kleurruimte met gelijke afstand *UCS* (**Uniform Color Space**).

Omdat echter zowel X , Y en Z als x , y en z al waren gebruikt, noemde MacAdam de coördinaten van zijn nieuwe kleurruimte in een opwelling van fantasie U , V en W . Het bijbehorende chrominantiediagram heet dan ook het uv-diagram (let op: dit heeft niets te maken met UV-licht...). De CIE nam deze kleurruimte in 1960 als officiële aanbeveling over, maar bleef streven naar verdere verbeteringen van de uniformiteit. Dit leidde vervolgens in 1979 tot alweer een nieuwe kleurruimte. En om de chaos compleet te maken noemde de CIE de coördinaten ook weer U , V en W . Als de kleurruimte van MacAdam wordt bedoeld, dan hoort daar dus altijd de toevoeging ‘1960’ bij. In **figuur 7** ziet u het betreffende chrominantiediagram *uv-1960*. Door de hierboven beschreven ontwikkeling van nieuwe kleurruimtes wordt UCS 1960 tegenwoordig vaak als verouderd beschouwd. Voor de verlichtingstechniek is dit echter absoluut niet het geval, want veel hiervoor relevante meetwaarden zijn in UCS 1960 gedefinieerd.

MacAdam gebruikte zelf zijn nieuwe kleurruimte onder andere voor het aangeven van toleranties voor kleurafwijkingen van lichtbronnen. Hoe kleiner de toegestane afwijking van een productieserie van LED’s, des te kleiner de cirkel rond het nominale uv-kleurpunt. Wat in het uv-1960-chrominantiediagram vaak bijna perfecte cirkels zijn, vertaalt zich in alle kleurruimtes met een ander perspectief naar ellipsen. Er wordt tegenwoordig dan ook in het algemeen gesproken over *MacAdam-ellipsen* [2] als het gaat over de spreidingstolerantie van de lichtkleur van lichtbronnen. De MacAdam-ellipsen, die ook bekend zijn onder

de naam *SDCM* (**S**tandard **D**eviation of **C**olour **M**atching), zijn er in verschillende tolerantieklassen van 1 (zeer nauw) tot 7 en nog hoger. Met UCS 1960 hebben we nu eindelijk alles verzameld om de parameters voor goed licht te kunnen bepalen.

Zwarte lichamen

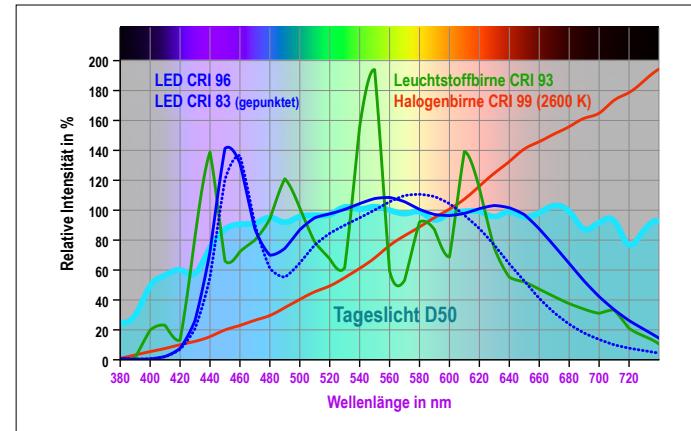
Even afgezien van het licht van vuurvliegjes is licht in de natuur vrijwel altijd afkomstig van gloeiende materie. De exacte kleur van het uitgestraalde licht hangt daarbij af van de temperatuur van het betreffende voorwerp. Hoe hoger de temperatuur, des te blauwer het licht. De kleur van het licht kan dus als *kleurtemperatuur* in de eenheid *K* (*kelvin*) worden aangegeven. Men gaat hierbij uit van een ideaal *zwart lichaam* (ook wel *zwarte straler*) dat absoluut geen licht reflecteert of anderszins uitstraalt, maar uitsluitend licht geeft door zelf te gloeien. Bij zo'n zwart lichaam wordt de lichtkleur eenduidig door de temperatuur bepaald. De mogelijke (temperatuurafhankelijke) lichtkleuren liggen allemaal op de zogenaamde *zwarte-straler-curve* die ook in het uv-1960-chrominantiediagram van figuur 7 is ingetekend.

In het chrominantiediagram zijn altijd twee waarden nodig om een kleur aan te geven. Met de kleurtemperatuur lijkt het alsof er maar één waarde nodig is, maar de tweede waarde wordt hierbij impliciet bepaald door de eis dat de kleur op de zwarte-straler-curve moet liggen. Helaas voldoen de meeste bestaande lichtbronnen niet aan deze eis. Daarom heeft men het begrip *gecorreleerde kleurtemperatuur* ingevoerd. Hiervoor worden in het uv-1960-chrominantiediagram lijnen getrokken, loodrecht op de zwarte-lichaamscurve. Alle kleuren die op zo'n lijn liggen hebben dezelfde gecorreleerde kleurtemperatuur, en die is gelijk aan de kleurtemperatuur waarbij deze lijn de zwarte-straler-curve kruist. U kunt dit in detail bekijken als u in het uv-1960-chrominantiediagram inzoomt op het gebied rond het Equal-Energy-Point. In **figuur 8** ziet u zo'n uitsnede met een paar CCT's (*Correlated Color Temperatures*).

Omdat de verschillende kleuren op deze lijnen allemaal dezelfde gecorreleerde kleurtemperatuur hebben, moet deze waarde voor een nauwkeurige kleurbepaling worden aangevuld met de afstand tot de zwarte-straler-curve in het uv-1960-chrominantiediagram. Deze afstand wordt Δ_{uv} genoemd (als u de Δ op uw toetsenbord niet zo snel kunt vinden, mag u ook D_{uv} schrijven...) Zonder deze afstand is de *gecorreleerde kleurtemperatuur* niet eenduidig.

De zon is weliswaar een zwarte straler, maar de filtering van het zonlicht door de aardatmosfeer zorgt ervoor dat de verschillende mogelijke daglichtkleuren zich op een naast de zwarte-straler-curve liggende *daglichtcurve* bevinden. Gecorreleerde daglicht-kleurtemperaturen worden vaak aangeduid met *D_{nn}*. *D₅₀* (*Daylight 50*) betekent bijvoorbeeld daglicht met een gecorreleerde kleurtemperatuur van 5000 K. Daglicht in ruimtes binnenshuis wordt door het filtereffect van het vensterglas nog een beetje verder verschoven: *ID₅₀* ligt dus naast *D₅₀*, omdat het hier geen binnenshuis-daglicht met een gecorreleerde kleurtemperatuur van 5000 K betreft, maar binnenshuis-daglicht dat resulteert uit 500-K-daglicht.

Het ligt voor de hand dat ons gezichtsvermogen door de evolutie optimaal aan daglicht is aangepast. Kleurverschuivingen langs de daglichtcurve in de richting van blauw of geel kan ons oog daardoor goed compenseren. Zo ziet wit papier er overdag voor ons onder alle lichtomstandigheden wit uit. Deze aanpassing wordt *chromatische adaptatie* genoemd. Daglicht kent



Figuur 9. Het gemeten spectraalverloop van vier verschillende lichtbronnen.

geen kleurverschuivingen in de richting van violet of groen. Daarom werkt de chromatische adaptatie in die gevallen niet, en wordt licht met een afwijking in die richtingen al gauw als kunstmatig en onprettig ervaren. Dit heeft dus consequenties voor de verlichtingspraktijk: de Δ_{uv} van een lichtbron mag niet te groot zijn (volgens de CIE mag deze waarde niet groter zijn dan $\pm 0,0054$). De lengte van de CCT-lijnen in het uv-1960-chrominantiediagram komt hier precies mee overeen. In het ideale geval moet de lichtkleur zo dicht mogelijk bij de daglichtcurve liggen, en indien mogelijk tussen de binnenshuis-daglichtcurve en de zwarte-straler-curve. Δ_{uv} mag dus nooit < 0 zijn.

Advertentie

NO COMPROMISE.

PRECISION. PERFORMANCE. POWER.

EXPLORE THE NEW ACTIVE SOLDERING TIP RANGE

Active tip technology
Features a built-in sensor and perfect heat transfer, for the fastest heat-up and recovery time. Reduce your downtime for a faster workflow and better results.

Patented tip and grip design
Fast and hassle-free tip changing without needing any tool.

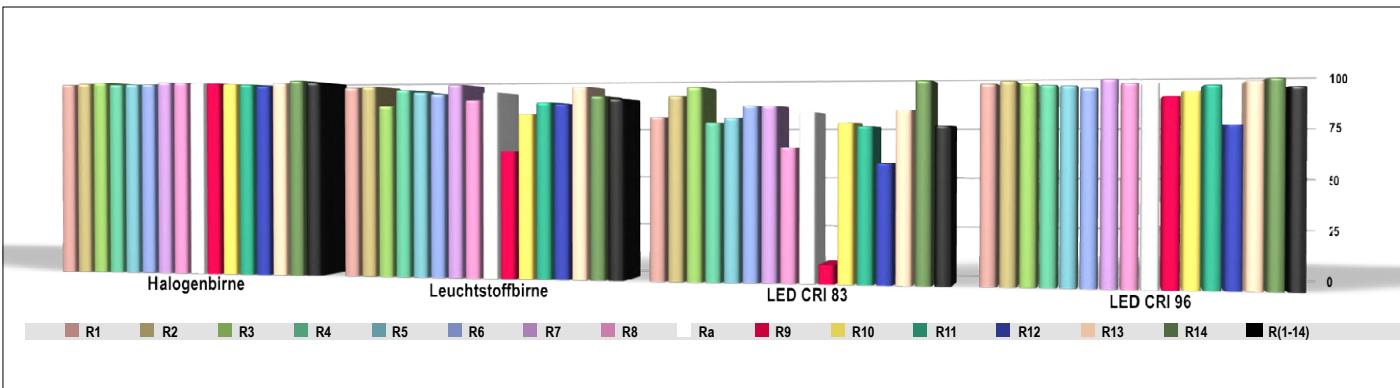
One intelligent WX platform
Run any active tip from one WX station, meeting all operational hand soldering needs such as motion sensing or traceability with digital data storage in the soldering tool and station.

Precise control, ergonomic grip
The boomerang handle design allows for precise handling while providing an ergonomic and secure grip.

productronica 2019
November 12 – 15, 2019,
Messe München

hall A4, stand 241

Learn more at:
weller-tools.com/nocompromise/



Figuur 10. Metingen van de kleurweergave-index (CRI) voor de vier lichtbronnen van figuur 9.

Over stoomlocomotieven en gloeilampen

Mensen hebben soms de merkwaardige gewoonte om verouderde en technologisch zowel als ecologisch volledig achterhalde technologieën te verheerlijken als herinneringen aan ‘die goede oude tijd’. Daarom worden roetspuwende stoomlocomotieven met een miserabel rendement (hooguit 17,6%) als ‘romantisch’ beschouwd. Hetzelfde gebeurt nu met de gloeilamp. Omdat gloeidraden bij hogere temperaturen technisch niet beheersbaar zijn, blijven gloei- en halogeenlampen noodgedwongen steken bij een kleurtemperatuur van ongeveer 2600 K, hoewel die waarde mijlenver verwijderd is van daglicht en daarom ook minder goed bij het menselijk oog past. Maar nu er LED’s zijn die probleemloos licht van 5000 K kunnen produceren, geldt deze onvolkomenheid plotseling als ‘gezellig’ en worden LED’s zonder noodzaak van een gele tint voorzien. Het vooroordeel dat 5000 K als lichtkleur van de ‘gouden’ middagzon ‘koud’ zou zijn, berust echter op een misverstand. De eerste technisch haalbare mogelijkheid om lichtbronnen met deze kleurtemperatuur te fabriceren werd namelijk geboden door fluorescentielampen, en hun licht is inderdaad onaangenaam. Maar dit ligt niet aan de vermeende koude lichtkleur (die bij verlichting met 5000 K door de chromatische adaptatie toch niet zou worden opgemerkt) maar aan het feit dat fluorescentielampen een spectraalcurve hebben die veel scherpe pieken en dalen vertoont.

In **figuur 9** ziet u als voorbeeld de gemeten spectraalcurves van vier lichtbronnen (allemaal ongeveer 5000 K, behalve de halogeenlamp) met D50-daglicht als referentie. Dat laatste heeft over het volledige spectrum een erg gelijkmatig verloop. Voor de fluorescentielamp (ook bekend als ‘spaarlamp’) werd een

bijzonder hoogwaardig, op goede kleurweergave geselecteerd, peperduur exemplaar van € 45 gekozen. Desondanks heeft deze lamp een spectrum als een berglandschap met pieken en dalen dat op deze manier nergens in de natuur voorkomt, en als gevolg hiervan voor het menselijk oog onnatuurlijk en koud overkomt. Tegen iets dat zodanig van het daglicht afwijkt is ook de beste chromatische adaptatie niet opgewassen. De halogeenlamp laat weliswaar een volledig vlak spectraalverloop zien, maar toont zijn ware gezicht als ecomonster: de meeste energie wordt uitgestraald in het infraroodgebied. Deze lamp verwarmt meer dan dat hij lichtgeeft. De twee LED’s laten vanwege hun constructie een piek in het blauwe gedeelte zien, want ‘witte’ LED’s zijn eigenlijk blauwe LED’s waarvan het licht door een fosforlaag over het hele spectrum wordt uitgesmeerd. De beste van de twee heeft een gebalanceerd spectraalverloop dat dicht in de buurt komt van daglicht.

Het probleem met lichtbronnen met hoge kleurtemperatuur komt in dus werkelijkheid voort uit een spectrum met veel pieken en dalen dat alleen bij fluorescentielampen en inferieure LED’s optreedt. Hoogwaardige LED’s zijn daarentegen nauwelijks door andere lichtbronnen te overtreffen.

Om de negatieve invloed op de lichtkwaliteit te kunnen aangeven werd de kleurweergave-index **CRI** (**Color Rendering Index**) ingevoerd. Deze wordt bepaald door 14 rendering-testkleuren met de te testen lichtbron te beschijnen, en het gereflecteerde licht te vergelijken met de reflectie die ontstaat als de testkleuren worden beschenen met daglicht van dezelfde gecorreleerde kleurtemperatuur. Bij kleurtemperaturen <5000 K wordt hierbij het licht van een zwarte straler als referentie gebruikt. Een waarde van 100 betekent identiek aan daglicht, dus de beste

Tabel 1. Waarden en criteria voor goede verlichting.

	CRI R_a	CRI R₉	Δuv	GAI
Waarden voor goede verlichting	≥ 90	≥ 80	$\geq 0 \leq 0,0054$	$\geq 80 \leq 100$
Halogenlamp	99	99	0,0007	44
Fluorescentielamp	93	64	0,0080	88
LED CRI 83	83	9	0,0036	78
LED CRI 96	96	90	0,0024	88

lichtkwaliteit. Hoe groter de afwijking, hoe kleiner de CRI. Deze kan in principe zelfs negatief worden, want het is geen percentage. In **figuur 10** ziet u hoe de 14 testkleuren ‘het doen’ als ze met de vier lichtbronnen van figuur 9 worden verlicht. De witte balken in figuur 10 geven het rekenkundig gemiddelde Ra aan dat overeenkomt met de CRI. De ‘a’ staat eigenlijk voor ‘all’, maar merkwaardigerwijs is Ra in werkelijkheid alleen het gemiddelde van R1...R8, allemaal pasteltinten. De verzadigde kleuren R9...R14 en met name het voor LED’s bijzonder lastige verzadigde rood R9 blijven volledig buiten beschouwing. Het zou beter zijn om R1...R14 (de zwarte balken in figuur 10) in plaats van Ra voor de beoordeling te gebruiken. Op z’n minst zou naast Ra ook met R9 rekening moeten worden gehouden. Het door R1...R8 gereflecteerde licht kan ook nog op een tweede manier als kwaliteitskenmerk voor licht worden gebruikt. Hierbij worden de uv-coordinates van de gereflecteerde lichtkleuren in het uv-1960-chrominantiediagram ingetekend, en worden de acht punten met elkaar verbonden waardoor een achthoek ontstaat. Hoe groter het oppervlak hiervan is, des te eenvoudiger kan het oog zeer kleine verschillen tussen de kleurtinten onderscheiden, omdat het licht ze zogezegd beter kan scheiden (voor deze test zijn de pasteltinten R1...R8 in werkelijkheid bedoeld). Bovendien lijken de kleuren verzadigder en ‘lichtgevender’ bij een groter oppervlak. Als dit oppervlak wordt vergeleken met het oppervlak dat ontstaat bij belichting met een theoretisch perfecte lichtbron met kaarsrechte horizontale spectraalverdeling, is dit een maat voor de kleuromvang-index **GAI** (**Gamut Area Index**). Een GAI van 100 komt overeen met het oppervlak dat belichting met de geïdealiseerde lichtbron vertegenwoordigt.

Echte waarden

Na al deze theorie nu naar de praktijk: **tabel 1** vat de exacte afgeleide kwaliteitscriteria voor goed licht plus alle besproken meetwaarden voor de vier lichtbronnen van figuur 9 samen. Daarnaast zijn de minimumwaarden aangegeven die voor goed licht moeten worden aangehouden. Bovendien geldt dat bij toepassing van veel lichtbronnen tegelijk in één ruimte de MacAdam-ellips, respectievelijk de kleurspreidingstolerantie **SDCM**, beter moet zijn dan niveau 3. Als u lichtbronnen wilt gaan aanschaffen is het dus verstandig om deze tabel te kopiëren, op te vouwen en in uw portemonnee te stoppen.

Om een lang verhaal kort te maken: goed licht kan op dit moment alleen met hoogwaardige LED’s worden gerealiseerd. De halogeenlamp heeft weliswaar perfecte waarden voor CRI

en Δuv, maar faalt volledig bij de GAI vanwege zijn enorme geeltint (CCT van slechts 2600 K). De fluorescentielamp faalt voornamelijk door zijn duidelijke groentint (Δuv van 0,008) en de inferieure LED eigenlijk door bijna alles.

Als u nadenkt over goede binnenvluchting voor kantoren, fabriekshallen of ook voor uw woning, dan krijgt u te maken met een belangrijk probleem: er is helaas nergens een LED-handelaar of -fabrikant te vinden die al deze voor een kwaliteitsbeoordeling onmisbare waarden voor zijn producten volledig aangeeft. Voordat u nu volledig wordt ontmoedigd: hier en daar zijn sommige gegevens toch te vinden, en weinig is beter dan niets. Bovendien wordt aan de publicatie van een project gedacht waarbij al deze overwegingen voor binnenvluchting zijn meegenomen. Daaraan kunt u zich dan oriënteren... ◀

(190159-04)

Over de auteur

Uli Zappe studeerde eerst natuurkunde en wiskunde en vervolgens filosofie, sociologie en psychologie. Daarom houdt hij zich graag bezig met verschijnselen op het grensvlak van techniek en waarneming.

Weblinks

- [1] CIE: <http://www.cie.co.at>
- [2] MacAdam-ellipsen: https://en.wikipedia.org/wiki/MacAdam_ellipse

IM ELEKTOR-STORE



Elektor LED Special 2 (PDF)
www.elektor.nl/leds-5-pdf-de

→ **Floranium Discovery Set**
www.elektor.nl/floranion-discovery-set-160670

Advertentie



**ONLINE ASSEMBLAGE VAN
ELEKTRONISCHE PRINTPLATEN**

www.emsproto.com



**ONLINE PRIJSOPGAVE
VAN UW
ELEKTRONISCHE
PRINTPLAAT**



**LEVERTIJD VAN
2 tot 12
DAGEN**



**HOEVEELHED VAN
1 tot 50
PRINTPLATEN**







HomeLab Helicopter

de wondere wereld van de elektronica in vogelvlucht

samengesteld door Clemens Valens (Elektor Labs)



VAN IDEE NAAR PRODUCT

DEEL 2

In het vorige deel hadden we het over de (stiekeme) droom van veel elektronici om het ultieme product op de markt brengen. De belangrijkste vraag daarbij was (en is): is dat werkelijk wat u wilt? Ook als u bedenkt wat daar allemaal bij komt kijken? We gaan er vanaf nu van uit dat uw antwoord een welgemeend JA! was. We nemen ook aan dat het gaat om een elektronisch apparaat, waarvoor alleen nog maar een idee bestaat.

BLIJF OBJECTIEF, KIJK MET DE OGEN VAN EEN GEBRUIKER

Veel ontwerpers kunnen niet objectief naar hun idee kijken, omdat ze hun 'product' door en door kennen. We krijgen bij Elektor Labs veel projecten te zien die onbruikbaar zijn omdat de ontwerper bevoordeeld was. Zo was er een ontwerper die het normaal vond om S1 125 milliseconden lang in te drukken en daarna drie keer snel op S2 te drukken terwijl je met je hand een 8-vormig patroon voor een infraroodsensor zwaait om een bepaalde modus van zijn apparaat te activeren. (Dat idee was bij hem opgekomen tijdens het testen van zijn prototype.) Wanneer zo iets een gewoonte wordt, is het gevaar groot dat de ontwerper deze 'wijze van bedienen' in de gebruikershandleiding vergeet te vermelden. Zo'n product zal waarschijnlijk commercieel door de mand vallen. Probeer te denken als en te kijken met de ogen van een gebruiker.



WEES ZUINIG MET TOETERS EN BELLEN

Een goed product voorziet in bepaalde behoeften van de gebruiker. Uw eigen behoeften zijn een goed uitgangspunt, maar ga er niet vanuit dat iedereen hetzelfde denkt als u. Vraag anderen naar hun mening. Zoek mensen die volgens u potentiële gebruikers zijn en vraag ze wat ze van het product verwachten. Denken ze dat ze er wat aan kunnen hebben? En zo ja, wat dan? Wat moet het precies doen? En hoe? Maak een lijst van de noodzakelijke functies; hoe korter, hoe beter. Alle andere functies zijn leuk om te hebben en vormen een mooi uitgangspunt voor toekomstige versies van het product.



MAAK EEN DUMMY

Toekomstige gebruikers willen graag weten hoe uw product er ongeveer uit gaat zien. Begin met wat schetsen van het uiteindelijke apparaat. Als u niet kunt tekenen, laat dan iemand anders het voor u doen. Natuurlijk hebt u een goede smaak en weet u precies wat er nodig is, maar wat goede raad van een professionele productdesigner kan echt geen kwaad. Als u eenmaal goede tekeningen hebt, gebruik die dan om een 3D-model van het product te maken. Maak het van karton, van hout of met een 3D-printer, elk materiaal, elke machine en elke techniek is geschikt. Die dummy moet zo goed mogelijk op het product lijken. Het hoeft niet te werken maar geeft u, en de potentiële gebruikers, een idee van hoe het echte product kan en zal worden gebruikt en wat er in past. Misschien ontdekt u wel dingen waar u nog niet aan had gedacht.



Maak een dummy. Die hoeft niet te werken.

WAT MAG HET KOSTEN?

Naast het uiterlijk en de functionaliteit is ook de prijs die mensen willen betalen voor uw product een belangrijke factor om te bepalen wat haalbaar is en wat niet. De kosten van uw slimme schakeling in het product maken maar een klein deel uit van de prijs die de gebruiker moet betalen. Als we terugrekenen vanaf de consumentenprijs, kunnen we bepalen wat de elektronica mag kosten. Trek 30% af van de winkelprijs en verdeel het restant over ontwerp, productie, test, verpakking, verzending en administratie, klantenservice en koffie. Een budget van 10% van de consumentenprijs voor kosten van de printplaat is waarschijnlijk aan de optimistische kant. Massaproductie kan helpen, want als je 10.000 eenheden laat produceren, is de prijs per stuk veel lager dan bij een bestelling van 100 stuks. Vragen als: "Wie gaat ze verkopen?", "Wie zijn de kopers?" en "Wie gaat dat allemaal financieren?" had u natuurlijk al beantwoord in uw bedrijfsplan. Maar waar gaat u dat allemaal opslaan? Is uw slaapkamer groot genoeg?

Weeg de kostprijs af tegen de functionaliteit.



EN VERDER...

Nu u weet wat uw schakeling mag gaan kosten, wat hij moet doen en hoe hij eruit moet zien, kunt u eindelijk beginnen met het ontwerp. Als u al begonnen was, zult u met deze nieuwe inzichten alle stappen die u al gezet had nog eens zorgvuldig tegen het licht moeten houden. Misschien hoeft u alleen maar de connector "voor toekomstige uitbreidingen" te schrappen, of die handige maar compleet optionele status-LED. Misschien is een nieuw ontwerp of een ander werkingsprincipe de oplossing. Of misschien is uw idee gewoon niet te realiseren... Meer in de volgende aflevering.

De belangrijkste technologische ontwikkeling in de geschiedenis van de mensheid



OpenAI en Microsoft breiden samen Azure Cloud uit naar grootschalige A(G)I-systeem.

Al het geld gaat tegenwoordig naar Kunstmatige Intelligentie (*Artificial Intelligence*). OpenAI is eind 2015 opgericht en hun missie is “*digitale intelligentie te bevorderen op de manier die de meeste kans biedt de mensheid als geheel ten goede te komen*”. Het bedrijf is gestart met een kapitaal van \$1 miljard, bij elkaar gebracht door investeerders als Amazon, Elon Musk en zijn (pay)pal Peter Thiel. In juli heeft Microsoft besloten om nog een miljardje aan het vermogen toe te voegen. Samen met OpenAI willen ze hun *cloud computing service Azure* uitbreiden naar grootschalige AI-systeem.

“*De bedrijven richten zich met Azure op het bouwen van een rekenkundig platform op niet eerder vertoonde schaal. Dit gaat steeds geavanceerdere AI-modellen draaien en trainen. Er wordt gewerkt met hardware-technologieën op basis van de supercomputertechnologie van Microsoft met inachtneming van de ethische en vertrouwensbeginselen die de beide bedrijven delen.*”

Op weg naar AGI

De huidige AI-systeem moet worden getraind en zijn alleen geschikt voor specifieke problemen. Voor het oplossen van moeilijke problemen uit de echte wereld met behulp van kunstmatige intelligentie is generalisatie en combinatie van verschillende technologieën nodig. Wat we nodig hebben is *Artificial General Intelligence*, oftewel AGI, die kan “*samenwerken met mensen bij het oplossen van multidisciplinaire problemen, zoals wereldwijde uitdagingen als klimaatverandering en meer gepersonaliseerde gezondheidszorg en educatie*”.

De CEO van OpenAI, Sam Altman, verklaarde (in alle bescheidenheid): “*De schepping van AGI zal de belangrijkste technologische ontwikkeling in de geschiedenis van de mensheid zijn, die ons toekomstbeeld volledig kan gaan veranderen*”.

Hmmm... willen we zo iets belangrijks echt in de handen leggen van mensen die, tot nu toe, voornamelijk geïnteresseerd zijn in wat goed is voor hen zelf en wat hen zoveel mogelijk geld oplevert?

Homelab-hebbeding



Vindt u het ook zo lastig dat u verschillende serieel/USB-converters nodig hebt voor 3,3V- en 5V-boards? Wilt u voorkomen dat u de USB-poort van uw computer beschadigt bij kortsluiting op een aangesloten board? Dan is deze galvanisch gescheiden USB to UART-TTL-adapter precies wat u nodig hebt. De µArt werkt op 1,8...5,4 V, biedt toegang tot

de RXD-, TXD-, DTR-, RTS- en CTS-lijnen (plus enkele GPIO-pennen) en ondersteunt baudrates tot 3 Mbaud. Hij is beveiligd tegen ompolen en overstroom.

www.elektor.nl/the-muart-kit

De Keely-motor

Het artikel over de Rife Machine (*sympathische resonantie — “het lijkt wel tovenarij!”* in Elektorlabs maart/april 2019) eindigde met een vermelding van de Keely-motor. Ik heb toen min of meer beloofd om daar bij voldoende belangstelling op terug te komen. En die belangstelling was er, dus hier komt het.

Ik was ervan overtuigd dat ik een boek over John Keely had, maar ik heb het niet kunnen vinden (mijn vrouw heeft onze boeken gesorteerd op afmetingen; op kleur vond ze minder praktisch). Gelukkig hebben we Wikipedia.

John Ernst Worrell Keely, geboren in 1837, was een uitvinder die beweerde een nieuwe kracht te hebben ontdekt die wordt gegenereerd door lucht en koud water op basis van “vibratiesympathie”. In gewone taal legde Keely het als volgt uit: *“Ik neem water en lucht, twee media met een verschillende specifieke zwaartekracht, en produceer daarmee een interatomaire ether door een trillingseffect te genereren.”* (Logisch toch?) Hij besteedde de rest van zijn leven aan het overtuigen van goedgeefse en liefst rijke mensen en



De laatste bekende foto van de Keely-motor, gemaakt door Thomas Burton Kinraide, een goede vriend van Keely en uitvinder van de Kinraide-spoel (vergelijkbaar met een Tesla-spoel maar zou grotere stromen moeten produceren).

regeringen om hem geld te geven (te “investeren”) om een motor te bouwen die op deze kracht zou werken. Hij is er nooit in geslaagd een overtuigende demonstratie van die kracht te geven. Sceptici verdachten hem ervan zijn motor op perslucht te laten werken. Na zijn dood in 1898 werd zijn werkplaats afgebroken; daarbij werden allerlei verborgen persluchtbuizen en andere verdachte zaken in de muren, vloeren en plafonds gevonden. Sommigen beschouwen Keely als de grondlegger van de *Sympathetic Vibratory Physics*... Zie de SVP-wiki voor meer informatie.

www.svpwiki.com

Het flash-bestandssysteem JesFS

Big Data voor kleine controllers



Jürgen Wickenhäuser (Duitsland)

Bestanden zijn zonder twijfel een van de belangrijkste elementen voor elektronische apparaten. Voor veel processoren bestaan besturingssystemen met interfaces voor verschillende soorten bestanden, maar vooral in het embedded-bereik en bij low power 'sub-Linux'-oplossingen houdt het al snel op. Als gevolg hiervan hebben sommige ontwikkelaars van embedded systemen de neiging om gegevens in de code op te nemen, waardoor een firmware-update nodig is wanneer later iets gewijzigd moet worden. Het embedded bestandssysteem JeSFS biedt een oplossing – het is speciaal ontworpen voor minimalistische systemen en ultra-low-power-toepassingen.

In de inmiddels tot cult verheven film 'Terminator 2 – Day of Judgment' legt de T-800 (alias Arnold Schwarzenegger) met de opmerking 'I have detailed files' uit waarom hij zo'n goede vechtmachine is. Een absoluut visionaire uitspraak, want het slaat de spijker op de kop: bestanden (files) zijn zeker een van de belangrijkste sleutels voor het complete scala van high-tech producten. Dat geldt ook voor alle denkbare embedded systemen. Maar wat tot nu toe ontbrak: een geschikt bestandssysteem. En daar gaan we hier wat aan doen!

Bestanden en code

Bestanden zijn in principe containers voor het groeperen en transporteren van allerlei soorten informatie, omdat ze met behulp van software van de grootste server tot de kleinste microcontroller worden begrepen. Tenminste in principe, want net als in Lulekkerland moet men zich eerst door een berg rijstebrij eten voordat het doel is bereikt. Gelukkig zijn er besturingssystemen die interfaces hebben voor verschillende soorten bestanden.

Vooral in het embedded bereik en bij 'sub-Linux' ultra low power-oplossingen is de rek echter al snel uit. Het is niet ongebruikelijk dat potentieel goede projecten mislukken omdat functies en gegevens niet goed gescheiden zijn. Systeemparameters kunnen bijvoorbeeld vaak eenvoudig op willekeurige plaatsen in de code worden verstopt, maar als er later een kleinigheid moet worden aangepast moet de complete firmware opnieuw worden geïnstalleerd. Dit is echter vaak alleen direct op het apparaat en in situ mogelijk.

De auteur heeft professioneel veel te maken met wetenschap-

pelijke meetinstrumenten hoog in de Alpen. Een paar maanden zag hij het licht toen bij een ouder apparaat op een eenzame berg op 3000 m hoogte de instellingen moesten worden veranderd. Het is toch veel gemakkelijker om een dergelijk apparaat via het internet te onderhouden dan om gaten in de sneeuw te graven bij -20 °C (**figuur 1**)? Terwijl hij langzaam weer op adem kwam moest hij aan de boven geciteerde uitspraak in de Terminator-film denken op en hij besloot om in de toekomst een bestandssysteem te gebruiken.

Er bestaan weliswaar al enkele embedded bestandssystemen, maar die waren geen van alle echt optimaal voor zijn doel. Dus besloot Jürgen Wickenhäuser er zelf een te ontwikkelen. Het resultaat is 'JesFS' – een soort acroniem voor 'Jo's embedded File System'. Het is speciaal ontworpen voor de kleinste systemen en ultra low power-toepassingen.

JesFS

De belangrijkste ontwerpcriteria voor JesFS waren een optimale betrouwbaarheid en een kleine footprint. Ook belangrijk waren data-integriteit en de mogelijkheid tot (remote) firmware-updates. Tegelijk met JesFS is er ook een JesFS-bootloader ontwikkeld die AES-gecodeerde firmware-bestanden rechtstreeks vanuit het JesFS-bestandssysteem naar de controller kan overbrengen. De bootloader is volledig onafhankelijk van JesFS en wordt hier niet besproken.

Jürgen Wickenhäuser gebruikt voor zijn dagelijks werk inmiddels alleen nog maar JesFS. Het is voor hem een uiterst belangrijk en betrouwbaar hulpmiddel gebleken. En het leuke is dat hij het niet voor zichzelf houdt. JesFS is vrij beschikbaar onder GPL v3 [1].

Referentie-implementatie(s)

JesFS kan zonder problemen worden gecompileerd met standaard-C. In dit artikel demonstreren we de functionaliteit ervan op het CC1310-evaluatiebord TI, dat is voorzien van een 32-bit ARM Cortex M3 'Radio on Chip' die wordt geklokt met 868/915 MHz (**figuur 2**). Voor de CPU's van de CC13xx/26xx-serie bestaan er niet alleen zeer goedkope Launchpad-evaluatieboards [2], maar in de vorm van CCSTUDIO [3] van TI ook een zeer goede, gratis cloud-gebaseerde IDE waarmee debugging van de broncode mogelijk is. Bijzonder vermeldenswaard: de meeste CC13xx/26xx-Launchpads zijn al uitgerust met een serieel flash-geheugen van 1 MB dat slechts 2 x 3 mm groot (of beter: klein) is.

Daarnaast is de gratis TI-RTOS een echt real-time besturings-systeem dat ook geschikt is voor industrieel gebruik en waarvoor TI veel ondersteuning biedt.

De broncodes van JesFS zijn niet alleen daarmee compatibel, maar ook met standaard C-compilers voor Windows of Linux. Indien nodig kan een passende driver een flash-geheugen in het RAM van de PC emuleren.

Kleine flash-chips

Embedded systemen hebben meestal niet bijzonder veel geheugenuimte nodig. Vaak is 1...16 MB al meer dan genoeg. Gelukkig zijn geschikte flash-IC's tegenwoordig ongelooflijk klein: een 1-MB flash-chip meet nu slechts 1,24 x 1,29 mm (**figuur 3**). JesFS zelf heeft heel maar weinig geheugen nodig. Het kan al prima gebruikt worden als er niet meer dan 200 bytes RAM beschikbaar is.

Het derde aspect is van economische aard: veel van de 'grottere' bestandssystemen gebruiken RAM voor een cache. Daardoor zijn ze vaak zeer snel, maar ook ingewikkeld. Het omschakelen naar bedrijfsmodi zoals Sleep en PowerDown wordt er trager door. JesFS is echter van meet af aan geconcieerd voor een minimaal stroomverbruik en kan binnen een paar microseconden worden gewekt en in slaap gewiegd. Het aardige is dat seriële geheugens in de sleep-modus vaak minder dan 1 µA stroom trekken, wat ideaal is voor batterijvoedingen.

Exclusieve features speciaal voor het IoT

Een van de basisideeën van JesFS is dat de bestanden van embedded systemen eenvoudig en automatisch via het internet op een server kunnen worden gespiegeld. De server heeft dus altijd een zo actueel mogelijke kopie van de bestanden van het embedded systeem. Het kan ook overweg met scenario's waar het systeem bijvoorbeeld elke minuut nieuwe data inleest, maar die om energie te sparen slechts af en toe (bijvoorbeeld om het uur) via WLAN met de server synchroniseert.

Bovendien kan een server aan de hand van speciale flags, timestamps en CRC32-hashes zelf met het grootste gemak gewijzigde bestanden ophalen en, indien nodig, zelfs nieuwe bestanden en firmware-updates overbrengen naar het externe systeem dat gezegend is met JesFS. Dit thema en de daaruit voortvloeiende speciale toepassingen resulteren in een bijna eindeloze reeks mogelijkheden, die we hier niet eens in het kort kunnen beschrijven. In ieder geval zijn alle functies en de daarvoor noodzakelijke scripts grondig getest door de auteur. Alles draait uiterst stabiel.

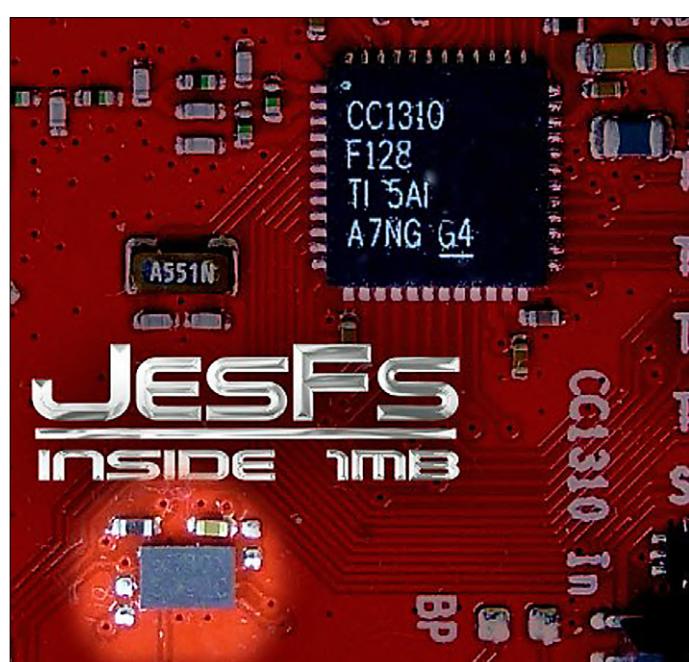
Om te beginnen gaan we hier op de principes in. Gedetailleerde informatie over de functionaliteit van JesFS is te vinden in de referentie-documentatie onder [1].



Figuur 1. Gelukkig had de sensor een low-power zendertje aan boord, anders hadden we hem nooit gevonden (foto: Am Kandersteg, Zwitserland, Jürgen Wickenhäuser).

Bewust zo gedaan: 'Unclosed Files'

De meeste bestandssystemen staan alleen leestoegang tot bestanden toe als ze niet tegelijkertijd voor schrijven geopend. Een ander probleem: een onverwachte reset kan ertoe leiden dat niet-gesloten bestanden onvolledig zijn of, in het ergste geval, dat alle gegevens op het opslagmedium in de zevende data-hemel verdwijnen.



Figuur 2. Evaluatieboard met JesFS (Foto: Jürgen Wickenhäuser).



Figuur 3. WLCSB-behuizingen zijn nog kleiner (Foto: Macronix.com).

Bij JesFS is dat niet het geval: zelfs bestanden die geopend zijn om te schrijven kunnen op elk moment ook worden gelezen. Dat is vooral handig in het geval van logbestanden waar ingebetde systemen regelmatig nieuwe gegevens opslaan, maar een server alleen de laatste of actuele wijzigingen opvraagt. Ook de problematiek van niet-gesloten bestanden is minder dramatisch: een onverwachte reset leidt bij JesFS niet tot gegevensverlies!

Beperkingen van JesFS

Bij JesFS hebben we alle ballast overboord gezet. De toegangstijden zijn echter niet tot het absolute minimum geoptimaliseerd. Zoals u later zult zien, geldt er ook een geringe beperking bij niet-gesloten bestanden.

Aangezien het hier om een eenvoudig bestandssysteem voor kleine embedded systemen met beperkte resources gaat, is de lengte van de bestandsnamen beperkt tot maximaal 21 tekens. Omwille van de eenvoud en geringe CPU-belasting zijn geen directories geïmplementeerd. Dus het is een soort flat file-systeem.

Voor praktische gebruik op kleine systemen zijn deze beperkingen echter niet bijzonder relevant. En er staat tegenover dat JesFS een eenvoudig te beheren en 'slank' bestandssysteem is dat productief kan worden gebruikt. De auteur zelf was zijn meest kritische tester.

Serieel flash-geheugen

Voorafgaand aan de details van de software eerst enkele basisprincipes van het flash-geheugen. Er bestaat inmiddels een

bijna onoverzienbare verscheidenheid aan flash-geheugentypes. Voor embedded applicaties zijn echter vooral seriële NOR flash-chips van belang.

Om JesFS gemakkelijk aan uw eigen hardware aan te passen, worden de onderstaande punten in meer detail uitgelegd, omdat ze ook betrekking hebben op low level-drivers.

In principe hebben bijna alle relevante flash-geheugens dezelfde structuur. Ze verschillen vaak alleen in speciale features zoals capaciteit, ruststroom, maximale kloksnelheid of het aantal bits per klokcyclus.

Bijna alle seriële NOR flash-chips hebben deze zes aspecten gemeenschappelijk:

- in een 'leeg' geheugen worden alle bits '1' gemaakt;
- bij schrijven worden dus alleen bits van '1' op '0' gezet;
- omgekeerd worden bij wissen (en alleen dan) bits van '0' teruggezet naar '1';
- per schrijfoperatie kunnen 1...256 bytes worden geschreven. Dit duurt ongeveer 1 ms, zodat er zoveel mogelijk bytes in één keer geschreven moeten worden;
- data kunnen alleen in blokken of sectoren of geheel (dat wil zeggen de complete chip) worden gewist. Sectoren zijn meestal 4 KB groot. Het wissen van een sector duurt 20...200 ms. Omdat dit maar zelden gebeurt, is dat niet zo erg;
- elke sector kan een eindig aantal malen worden gewist (meestal meer dan 100.000 maal).

De toegang tot een seriële flashchip is zeer eenvoudig en verloopt in vier stappen (zie ook het schema van figuur 4):

- een paar ns nadat SELECT van '1' naar '0' is getrokken, is de chip actief;
- het schrijven van instructies en gegevens gaat via CLK (klok) en DIN (data);
- het lezen van gegevens en statusregisters gaat via CLK (klok) en DOUT (gegevens/status);
- door het niveau op SELECT van '0' in '1' te veranderen wordt de chip gedeactiveerd.

De maximale kloksnelheid van een seriële flash-chip is normaal gesproken vrij hoog (meer dan 50 MHz). De meeste microcontrollers halen dit tempo zelfs niet bij gebruik van hardware-drivers. De CC1310-controller van mijn referentieplatform haalt met zijn 12 MHz een behoorlijke datadoorvoer van 1 MB/s.

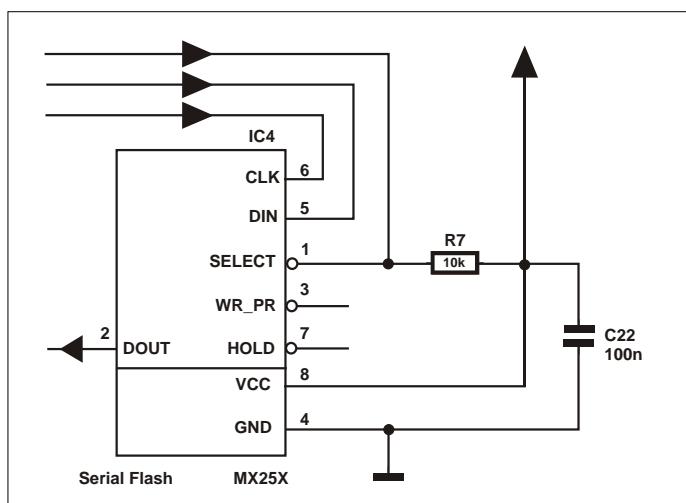
Hieronder volgt een klein overzicht van gangbare geheugenchips voor kleine systemen, waarvoor weliswaar veel alternatieven bestaan die echter een hogere power down-stroom trekken:

- MX25R8035F (1 MB) tot MX25R1635F (16 MB);
- W25Q80DL (1 MB) tot W25Q128JV (16 MB);
- GD25Q16 (2 MB).

Principe van de drivers

JesFS gebruikt een high level- en een low level-driver. Die laatste is weer opgesplitst in algemene commando's voor de seriële Flash JesFS_ml.c en een daaronder liggend deel voor de seriële SPI-hardware van de controller (hier: JesFS_tirtos.c). De high level-driver is uitgebreid beschreven in het referentiedocument [1].

De omgang met het flash-geheugen is vrij eenvoudig. De meeste flash-chips gebruiken hiervoor weliswaar speciale commando's die hier niet gebruikt worden, maar slechts een paar commando's zijn werkelijk relevant en die zijn gelukkig



Figuur 4. Standaardaansluitingen van achtpens seriële flash-chips.

BlackBox-demo - een 'zwarte doos' voor thuis

Veel embedded apparaten functioneren jarenlang zonder problemen. Maar vroeg of laat gaat er altijd iets mis, en dan is vraagt men zich verbaasd af wat er dan wel is misgegaan. Om deze vraag te beantwoorden zou het goed uitspelen wanneer men de 'voorgeschiedenis' bij de hand had. Zijn bijvoorbeeld interne parameters zoals temperatuur, stress of vochtigheid plotseling veranderd? Heeft iemand een fout gemaakt? Zijn er eerder (voor)tekenen van problemen geweest? Om precies dezelfde reden hebben vliegtuigen de beroemde 'Black Box' (die overigens oranje is) aan boord. Embedded hebben echter vaak maar weinig geheugen beschikbaar voor dit doel. JesFS biedt met zijn *Unclosed Files* een comfortabele oplossing voor een robuuste, energiezuinige en zeer eenvoudige registratie van diagnostische gegevens. JesFS zorgt ervoor dat er ook bij storingen geen 'datakadavers' in het bestandssysteem voorkomen en dat er op elk moment (bijvoorbeeld ook na een reset of stroomuitval) verder gegevens kunnen worden geschreven.

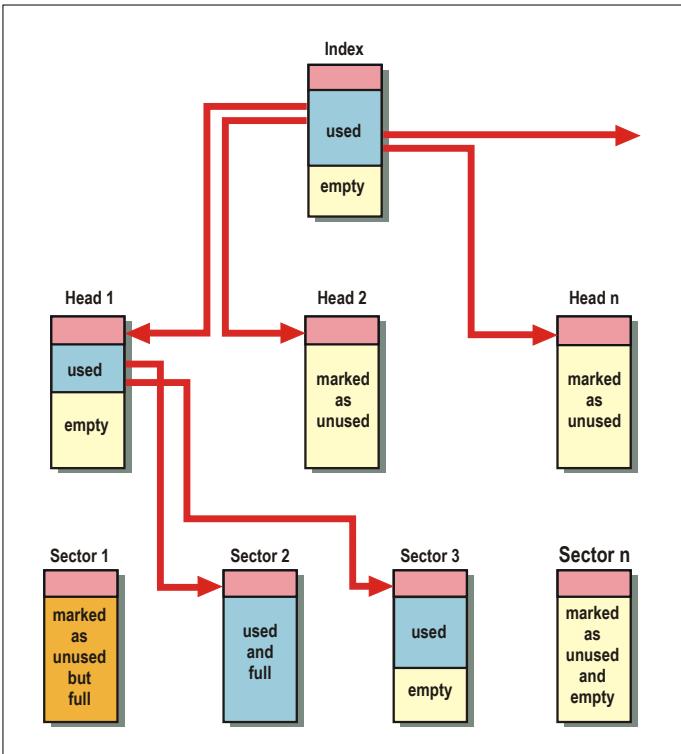
```
*****
* log_blackbox(char* logtext, uint16_t len)
* This funktion logs one line to the history
*****
int16_t log_blackbox(char* logtext, uint16_tlen){
    FS_DESC fs_desc, fs_desc_sec; // 2 JesFs file descriptors int16_t res;
    res=fs_start(FS_START_RESTART); // (fast) WAKE JesFs (might be sleeping)
    if(res) return res;
    // Flags (see docu): CREATE File if not exists and open in RAW mode,
    // (RAW needed because in RAW-Mode file is not truncated if existing)
    res=fs_open(&fs_desc,“Data.pri“,SF_OPEN_CREATE|SF_OPEN_RAW);
    if(res) return res;
    // Place (internal) file pointer to the end of the file to allow write
    fs_read(&fs_desc,NULL,0xFFFFFFFF); // (dummy) read as much as possible
    // write the new data (ASCII, from function arguments) to the file
    res=fs_write(&fs_desc,logtext,tlen);
    if(res) return res;
    // Show what was written
    uart_printf(„Pos:%u Log:%s“,fs_desc.file_len, ,logtext);

    // Now make a file shift if more data than defined in HISTORY
    if(fs_desc.file_len>= HISTORY){
        uartprintf(„Shift ‘Data.pri’ -> ‘Data.sec’\n“);
        // Optionally delete and (but CREATE in any case) backup file
        res=fs_open(&fs_desc_sec,“Data.sec“,SF_OPEN_CREATE);
        if(res) return res;
        // rename (full) data file to secondary file
        res=fs_rename(&fs_desc,&fs_desc_sec);
        if(res) return res;
    }
    fs_deepsleep(); // Set Filesystem to
UltraLowPowerMode
    return 0; // OK
}
```

Hier voor worden twee bestanden gebruikt:

- het primaire bestand *Data.pri* wordt tot de opgegeven lengte *HISTORY* geschreven;
- daarna wordt het hernoemd naar de secundaire naam *Data.sec*;
- een eventueel al bestaand secundair bestand wordt bij het aanmaken van het actuele secundaire bestand vervangen.

Dit zorgt ervoor dat er altijd een minimale hoeveelheid *HISTORY* aan voorgeschiedenis vorhanden is, maar nooit meer dan 2 x *HISTORY*. De juiste volgorde wordt verkregen door eerst *Data.sec* en vervolgens *Data.pri* op te halen. De volledige en gedocumenteerde broncodes van de BlackBox-demo voor verschillende compilers (PC en embedded) inclusief de broncodes voor JesFS zijn te vinden onder [1]. De onderstaande listing toont een fragment van de code:



Figuur 5. De index is altijd sector 0, die naar de *heads* van de bestanden verwijst.

identiek voor bijna alle gangbare seriële flash-IC's. Bij grotere geheugencapaciteiten (32 MB of meer) worden voor de adressen dan vier in plaats van drie bytes gebruikt.

In de broncode zijn de commando's in meer detail gedocumenteerd. Hier is een overzicht van de commando's in hexadecimale notatie:

- **9Fh:** leest een 3-byte ID (hex) waarin fabrikant, type en capaciteit (als hexadecimale macht van twee) zijn gecodeerd. Voor de MX25R8035 die bij de CC1310 wordt gebruikt luidt deze ID 'C22814', waarbij C2h = Macronix, 28h = Type en 14h = 20 = 2^{20} = 1 MB;
- **B9h:** brengt de flashchip in deep sleep;
- **ABh:** wekt de flashchip; na ca. 5...50 µs is deze actief;
- **03h:** lezen. Eerst wordt het adres verwacht als 3-byte waarde (of een 4-byte waarde voor geheugengroottes vanaf 32 MB), dan worden net zolang bytes gelezen tot CS# hoog wordt;
- **06h:** moet vóór elke schrijf-/wisoperatie worden verzonden;
- **02h:** schrijven. Eerst drie (of vier) adresbytes en dan nog eens 1...256 databytes, waarbij de grens van 256 bytes niet mag worden overschreden;
- **20h:** wis sector. Eerst drie (of vier) adresbytes, dan wordt de betreffende 4KB-sector gewist;
- **05h:** controleert of het vorige schrijf-/wiscommando is voltooid.

Flash-organisatie

De details en afbeeldingen van de implementatie zijn te vinden in de JesFS-documentatie en -broncode [1]. Hier schetsen we alleen de structuur. JesFS verdeelt het flash-geheugen in drie verschillende soorten sectoren. Elke logische sector komt precies overeen met een fysieke 4KB-sector in de flash-chip.

Daarom kunnen in een flash-chip met een capaciteit van 1 MB maximaal 255 bestanden worden opgeslagen.

Sector 0 heeft een bijzondere betekenis omdat deze als bestandsindex wordt gebruikt. Elke indexingang neemt 4 bytes in beslag. De index kan daarom worden beschouwd als een array van 1024 *unsigned long integers*. Voor sector 0 moet het volgende in acht worden genomen:

- de indexsector 0 wordt alleen tijdens het formatteren gewist;
- de eerste drie ingangen bevatten formatteringsinformatie: magic-waarde, flash-ID (zie het commando 9Fh) en de datum van de formattering (in Unix-seconden sinds 1.1.1970). De waarde FFFFFFFFh wordt als ongeldig/ongeformateerd beschouwd;
- de resterende 1021 ingangen zijn de beginadressen van de *heads* van de bestanden. Al deze ingangen moeten deelbaar zijn door $2^{12} = 4096$ (de sectorgrootte). Dit wordt ook door JesFS gecontroleerd. Dus in theorie zijn er maximaal 1021 bestanden mogelijk.

Voor de sectoren 1 tot en met n zijn er vijf mogelijkheden:

- 1 sector is leeg (bevat alleen bytes met de waarde FFh);
- 2 sector is een *head* naar een actief bestand;
- 3 sector is een *head* naar een gewist bestand;
- 4 sector is een deel van een actief bestand;
- 5 sector is een gewist deel van een actief bestand.

Een *head* is een sector waar een ingang in de index naar verwijst. Het is daarom belangrijk om de *heads* een speciale behandeling te geven, omdat een waarde die eenmaal in de index is geschreven nooit meer gewist zal worden (behalve bij formatteren). Elke sector begint altijd met precies drie (of twaalf in het geval van *heads*) waarden van het type *unsigned long*:

- magic-waarde van het gebruik (*head*, bestand of leeg);
- eigenaar van dit blok (een verwijzing naar de *head of*, indien het blok zelf een *kop* is, de waarden FFFFFFFFh);
- pointer naar het volgende blok van het bestand of FFFFFFFFh als dit het laatste blok van de keten was of is.

Daarop volgen ofwel de gegevens van het bestand of, als het een *head* betreft:

- de bestandslengte in bytes of FFFFFFFFh indien niet bekend of nog open;
- optioneel de CRC32-hash van het bestand (als dat in CRC32-modus is geschreven en gesloten);
- de aanmaakdatum van het bestand (in Unix-seconden sinds 1.1.1970);
- de bestandsnaam (max. 21 tekens, zonder afsluitende 0h);
- open-flags van het bestand (1 byte);
- 1 leeg byte (gereserveerd).

Een *head* neemt dus altijd 48 bytes in beslag en een normale gegevenssector 12 bytes met beheersinformatie aan het begin.

De organisatie is grafisch weergegeven in **figuur 5**.

Gewiste sectoren zijn alleen gemarkeerd. De gebruikte magic-waarden zijn zo gekozen dat door aanvullend overschrijven met '0'-waarden (wat zeer snel gaat) van de status *actief* de status *gewist* wordt gemaakt. Pas wanneer een sector echt nodig is en er geen vrije sectoren meer zijn, wordt deze met het commando 20h gewist, wat iets meer tijd kost.

Wear Leveling en niet-gesloten bestanden

Bij flash-geheugens is het van groot belang dat alle sectoren even vaak worden gebruikt, omdat ze meestal maar zo'n 100.000 keer kunnen worden gewist. In theorie zou men een sector in een lus in zeer korte tijd kunnen 'doodschrijven'. De strategie om dit te voorkomen heet *Wear Leveling*. Bij JesFS betekent dit dat een bestand maximaal 100.000 keer mag worden gewist (vanwege de vaste indexingang). Op het eerste gezicht lijkt het dat we een hoop reserve hebben, maar vooral voor embedded systemen is deze limiet in bepaalde toepassingen zeker niet onproblematisch. Aan de andere kant moeten we bedenken dat zelfs wanneer we elke sector elk uur eenmaal wissen, het geheugen meer dan 11 jaar probleemloos gebruikt kan worden. Voor de meeste doeleinden zou dit ruimschoots moeten volstaan.

Om sectoren zo weinig mogelijk te wissen is het ook een goed idee om actieve of gebruikte bestanden gewoon geopend te laten: verwijderde bytes hebben immers altijd de waarde FFh. Als in het bestand in kwestie deze waarde gewoon nooit voorkomt (bijvoorbeeld door alleen ASCII-gegevens op te slaan of FFh te vervangen door een escape-reeks), kan het einde van een bestand ook worden bepaald door eenvoudigweg te lezen (tot een FFh-karakter wordt bereikt).

JesFS is uitgerust met een zeer snelle routine die zelfs het einde van een 16MB-bestand in een paar milliseconden vindt.

CRC32-hash en gegevensintegriteit

Slechts zeer weinig bestanden zullen regelmatig veranderd worden. Daarom kan JesFS bij schrijven (en ook bij lezen) een CRC32 bijhouden die bij een *file close* samen met de lengte in de head wordt opgeslagen.

Op deze manier kan de integriteit van een bestand op elk moment door simpelweg lezen worden gecontroleerd. Het gebruikte CRC32-algoritme is een industiestandaard (ISO 3309 enzovoort) en wordt bijvoorbeeld ook ondersteund door PHP (een veelgebruikte scripttaal voor servers).

Wanneer JesFS wordt gestart (of optioneel telkens nadat het systeem is gewekt), wordt een uitgebreide test uitgevoerd om de basisintegriteit van JesFS te controleren. JesFS let bijzonder goed op fouten. De demo-broncodes bevatten ook een functie die het complete JesFS van onder tot boven controleert (dat wil zeggen alle sectoren en bestanden).

Bootloader en firmware-upgrades

Door de zeer eenvoudige structuur van JesFS kan zelfs een simpele bootloader met weinig moeite bestanden lezen en de integriteit ervan testen. Een bootloader is echter altijd gebonden aan een specifieke CPU-architectuur resp. controllertype gebonden.

Test van JesFS

De eenvoudigste manier om JesFS te testen is op een 'Launchpad' uit de CC13xx/26xx-serie. Deze boards zijn al verkrijgbaar

vanaf ongeveer € 30 bij verschillende leveranciers. In de documentatie van JesFS op Github vindt u ook een stap-voor-stap handleiding voor een eenvoudige console-applicatie.

Als alternatief kan JesFS ook op een PC met Windows of Linux gecompileerd worden, waarbij het flash-geheugen in RAM moet worden geëmuleerd. De gegenereerde images zijn dan echter volledig compatibel met de werkelijke inhoud van een flash-chip. Daardoor kunnen ze met een programmer zelfs vrij gemakkelijk worden overgezet of teruggelezen, vooropgesteld dat het dataformaat van de microcontroller ook *Little-Endian* is, wat bij de meeste ARM-SoC's zoals MSP430, MSP432 enzovoort het geval is.

En verder?

Als er voldoende interesse voor bestaat, is dit artikel nog maar het begin. Een bestandssysteem is zeker geen eenvoudige zaak, maar de auteur zou erg blij zijn als JesFS zich zou ontwikkelen tot een nuttig tool voor algemeen gebruik, omdat het verbazend veel potentieel heeft.

Natuurlijk is JesFS zich niet beperkt tot controllers uit de CC13xx/26XX-serie, maar is het in principe geschikt voor bijna alle computerhardware vanaf de 16bit-klasse. Jürgen Wickenhäuser werkt momenteel aan de aanpassing van JesFS aan de MSP430-familie. Er zijn nog veel andere projecten in combinatie met JesFS denkbaar. Vooral het nog steeds groeiende IoT biedt gigantische mogelijkheden. Als u serieus geïnteresseerd bent, kunt u contact opnemen met de auteur op zijn e-mailadres joembedded@gmail.com. ▶

(190154-04)

Over de auteur

Jürgen Wickenhäuser interesseert zich al sinds zijn jeugd voor elektronica. Na zijn studie elektrotechniek heeft hij in 1992 van zijn hobby zijn beroep gemaakt en werkt hij sinds enkele jaren als ontwikkelaar van wetenschappelijke milieumeetinstrumenten in Zuid-Duitsland.



IN DE STORE

→ Raspberry Pi 4

www.elektor.nl/raspberry-pi-4-b-1-gb-ram

→ Elektor ESP32-Praxis-Bundle (Duitstalig)

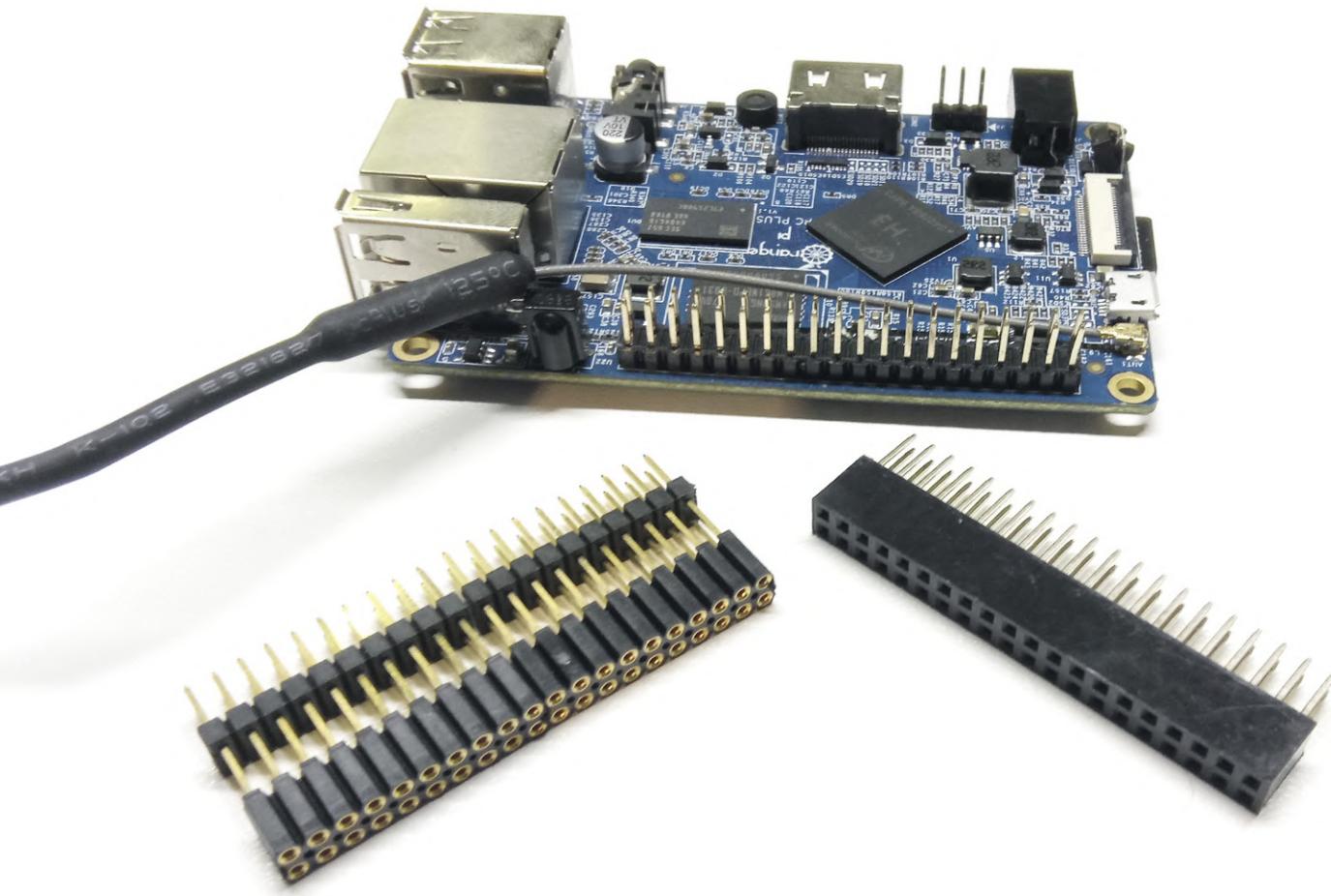
www.elektor.nl/elektor-esp32-praxis-bundle

Weblinks

- [1] JesFS V1.1 op Github: <https://github.com/joembedded/JesFS>
- [2] TI-Launchpad: www.ti.com/tool/LAUNCHXL-CC1310
- [3] CCSTUDIO: www.ti.com/tool/CCSTUDIO
- [4] Macronix Flash: www.macronix.com/en-us/products/NOR-Flash/Serial-NOR-Flash

De Raspberry Pi in de automatisering makersystemen commercieel toegepast

Tam Hanna (Slowakije)



Het ontwikkelen van een single-board computer voor commerciële automatiseringstoepassingen kan moeizaam zijn. Vooral voor kleine series is het vaak goedkoper, sneller en veel handiger om het systeem uit te rusten met een minicomputer uit de maker-scene in plaats van een compleet nieuw SoC te ontwikkelen. Hoe presteren Raspberry Pi en andere consumenten-SBC's in commerciële toepassingen? Waar loert gevaar om de hoek, waar liggen de voordelen en hoe vindt u geschikte toebehoren? De auteur, die zelf commerciële toepassingen in de automotive en automatiseringssector ontwerpt, geeft hier antwoord op deze vragen.

Hoe ingewikkelder een System-on-a-Chip (SoC), des te hoger de eisen die aan de ontwikkelaar worden gesteld. Dit loopt van een moeilijke printlayout tot het porten van de firmware. Iedereen die ooit Yocto of zelfs een volwaardige Linux-distributie heeft geport, weet daar alles van. In de maker-scene vormen wijdverbreide systemen zoals de Raspberry Pi en zijn klonen zoals OrangePi van Shenzhen Xunlong al jaren een aantrekkelijk alternatief. Deze procescomputers zijn klein, relatief

goedkoop en functioneren (meestal) zonder problemen. Linux draait – van huis uit – ook zonder problemen en zelfs draadloze systemen zoals WLAN en co. zijn geïntegreerd. In dit artikel wordt uitgelegd waar men daarbij in de praktijk op moet letten valt en welke problemen zich kunnen voordoen. De auteur heeft in een project voor een Amerikaanse klant in de automotive sector voor deze aanpak gekozen en kan daar uit de eerste hand over vertellen.

Is het het de moeite waard?

Als ingenieur is men maar al te vaak geneigd om voor ‘technisch innovatieve’ oplossingen te kiezen alleen omdat ze technisch innovatief zijn. Het gebruik van of de keuze voor of tegen een procescomputer draait puur om de kosten, en die hangen weer af van de verwachte verkoopantallen.

Aan de prijs van de Raspberry Pi valt weinig te doen, terwijl de OrangePi-procescomputers ten gevolge van de stijgende verzendkosten grappig genoeg het goedkoopst zijn als ze in kleine of juist extreem grote aantallen worden aangeschaft. Omdat het geheel over het algemeen meer kost dan de som van de onderdelen afzonderlijk, moeten we de rentabiliteitsdrempel (*break-even point*) bepalen aan de hand van wat een compleet in eigen huis gebouwde procescomputer zou kosten. De formule voor het bepalen van deze drempel luidt:

$$n * (\text{kosten van de procescomputer} + \text{kosten van de print}) = n * \text{kosten van de print} + \text{de ontwikkelkosten}$$

Let echter ook op het niet te verwaarlozen voordeel van een snellere *time to market*. Terwijl het debuggen van een procescomputer veel tijd in beslag neemt (al was het alleen maar omdat de print telkens aangepast moet worden), kunt u een Raspberry Pi al binnen een paar uur in handen houden.

Welke Raspberry Pi?

De keuze voor de juiste procescomputer is allesbehalve een voudig, omdat de verschillende systemen fysiek van elkaar verschillen. Als de procescomputer waarvoor u hebt gekozen opeens niet meer gefabriceerd wordt, is een herontwerp van het moederboard normaliter onvermijdelijk.

Het tweede criterium is de gebruikte processor en/of het gewenste besturingssysteem. Als u geen Linux-ervaring (in huis) hebt, is de OrangePi niet zo’n erg goede keuze. Ik heb zelf geen problemen met Armbian, maar ik ben anderzijds ook niet bang om een kernel indien nodig te hercompileren. De Raspberry Pi-community is veel groter, wat nuttig voor commercieel gebruik wanneer in het bedrijf weinig software-know how vorhanden is.

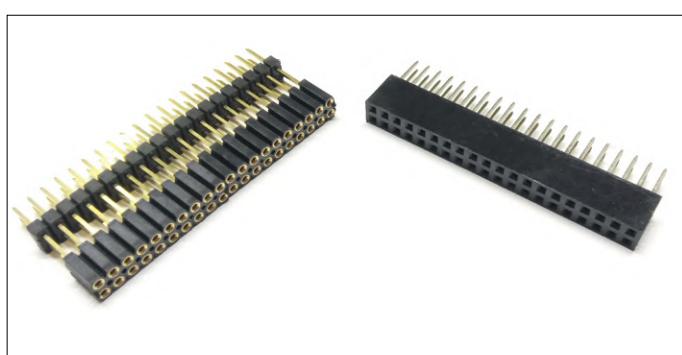
Hoe het ook zij – er zijn vier Raspberry Pi-families – even afgezien van de later nog te bespreken aanpegaste varianten. Helemaal onderaan staan de verschillende Zero-modellen die (zo gaan onder insiders de geruchten) de Raspberry Pi Foundation zelf of in samenwerking met Sony produceert [1]. De 65 x 30 mm kleine processorprintjes zijn gebaseerd op de single-core Broadcom CPU van de eerste RPi en zijn allesbehalve krachtig.

De Foundation bestempelt deze producten uitdrukkelijk als ‘hobby-modellen’. In de forums wordt telkens weer aangeduid dat u de Zero alleen in kleinere aantallen kunt kopen en dat er weinig belangstelling voor is en dat geen garantie wordt gegeven dat de Zero-modellen onder elkaar compatibel zijn en/of op langere termijn beschikbaar blijven.

Het werkpaard is de klassieke Raspberry Pi B, die sinds 2012 wordt geproduceerd met geringe fysieke en niet al te grote technische wijzigingen wordt geproduceerd. Pas enkele jaren later werd voor het eerst een model A+ uitgebracht, dat dezelfde 40-polige uitbreidingsconnector bezat, maar fysiek kleiner was. En dan is er ook nog de in **figuur 1** getoonde Compute-module, die echter relatief duur is.



Figuur 1. Deze procescomputer lijkt op een geheugenmodule.



Figuur 2. Enkele componenten om voor voldoende afstand te zorgen.

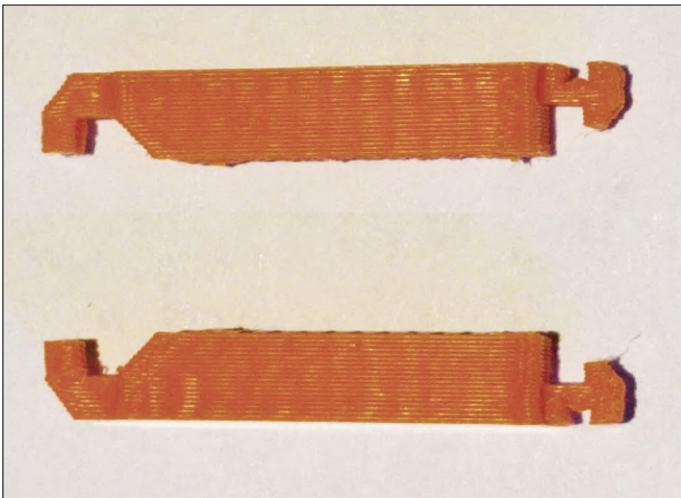
Opgemerkt moet worden dat Shenzhen Xunlong ook kleinere procescomputers levert. De Zero is daar slechts 52 x 46 mm klein, maar is hoger ten gevolge van de voorhanden aansluitingen. Bovendien kan dit model van huis uit geen HDMI-signalen leveren.

Fysieke compatibiliteit

De auteur wordt vaak gevraagd naar de basisvereisten voor automotive elektronica, denk maar aan problemen als de *load shed* waarover we het al in het maart/april-nummer van dit jaar hebben gehad. Maar hoe belangrijk dit ook is, in de praktijk worden die moeilijkheden naar de achtergrond gedrongen door een heel andere categorie problemen.

Wie een Raspberry Pi of een andere procescomputer in een schakeling wil integreren, wordt meestal eerst met mechanische problemen geconfronteerd. De reden hiervoor is de op het eerste gezicht onschuldig lijkende 40-polige connector waarvan de pennen slechts ongeveer tien millimeter hoog zijn. Op bijna alle procescomputers zitten echter componenten die veel hoger zijn, zoals de netwerkaansluiting. De nieuwe Raspberry Pi 4 is op zijn ‘dikste’ punt 17,27 mm hoog (volgens een snelle meting van de auteur). De verschillende Orange Pi’s, die ook Ethernet- en USB-aansluitingen hebben, zijn bij benadering even hoog.

Wie een schakeling ontwerpt die in een krappe ruimte moet passen, kan het zich niet veroorloven om deze hoge ‘staart’ van de procescomputer over de achterkant van de print te laten uitsteken. Bovendien is dit niet aan te bevelen omdat u dan twee van de vier montagegaten niet kunt gebruiken.

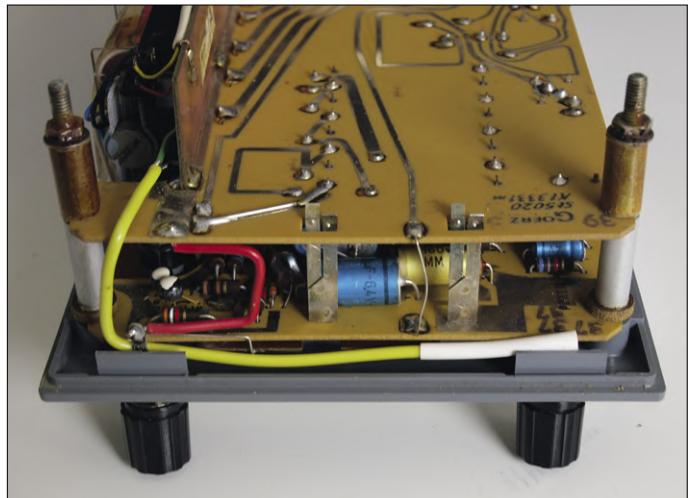


Figuur 3. Deze weliswaar wat grofstoffelijk ogende componenten houden de procescomputer op afstand (foto: SpotMyBus).

Een oplossing is het verlengen van de header. Daarvoor bestaan meerdere mogelijkheden; **figuur 2** toont er twee van. De component rechts wordt op een gewone 2x20-polige busstrip geplakt waardoor het female-deel wordt verhoogd. Het grootste voordeel is dat deze component gemakkelijk verkrijgbaar is en zeker niet duur is. Links ziet u een op maat gemaakte Fischer-verlenging, die direct in de printplaat kan worden gesoldeerd en navenant robuust is. Anderzijds is het een *semi-custom* component die een normale elektronische leverancier hoogstwaarschijnlijk niet op voorraad heeft. Bovendien zijn de kosten aanzienlijk hoger, vooral voor kleinere aantallen. Aan de andere kant heeft de goedkopere component bij een partner van de auteur al ettelijke procescomputers doen sneuvelen. Hoe steviger de verlenging is, des te minder streng hoeft de rest van de bevestiging te worden gedimensioneerd. De bevestigingsgaten van de procescomputer dienen als basis, en daar passen bijna alle schroeven en moeren wel in. In het Angelsaksische gebied worden hier graag graag kunststof afstandshouders (spacers) gebruikt (**figuur 3**), die alle onderdelen op hun plaats houden.

Omdat het waarschijnlijk niet zo simpel is zulke spacers te (laten) maken of te kopen, kunt u in de praktijk schroeven en moeren gebruiken. Zorg ervoor dat de schroeven idealiter op- en neergaande bewegingen voorkomen – een probleem dat het gemakkelijkst kan worden opgelost op de manier die in **figuur 4** is getoond. U kunt de daarvoor benodigde plastic afstandsbusjes kopen of zelf maken met een 3D-printer. Een ander fysiek probleem is het massageheugen. Terwijl de eerste twee RPi-versies *form-fit* micro SD-kaarthouders gebruikt (met een veer voor het uitwerpen van het kaartje), gebruikt de Foundation sinds de RPi 3 *friction-fit* kaarthouders. Die zijn mogelijkwijs goedkoper, en ook wordt schade voorkomen of geminimaliseerd wanneer de SD-kaart domweg uit de houder wordt getrokken, maar in de embedded sector is de nieuwe kaarthouder niet zo populair.

Om schade te voorkomen, is het raadzaam om het ontwerp van de behuizing aan te passen. Let erop dat geen kracht op de kaarthouder wordt uitgeoefend (trefwoord veer). Als de houder compleet met soldeeraansluitingen van de print wordt losgescheurd, hebt u niets gewonnen maar juist alles verloren.



Figuur 4. Deze methode voldeed al met de Unigor 6.

U kunt ook experimenteren met hotmelt-lijn, maar bij een defect de firmware is de hele procescomputer in gevaar. Als de lijn tijdens de montage op de een of andere manier in de sleuf komt, dan kunt u het ook voor gezien houden. Kortom, vastzetten van de SD-kaart met hotmelt-lijn is niets voor 'grofbevingerden'.

Opgemerkt moet worden dat SD-kaarten niet echt van permanent schrijven houden. In het begin had de auteur bij de Raspberry Pi 1B met defecte kaarten te maken; sommige waren ten gevolge van thermische stress zelfs gebroken. Tegenwoordig komt dat minder vaak voor, wannere u tenminste niet de goedkoopste kaartjes gebruikt.

Shenzhen Xunlong biedt procescomputers met vast flash-geheugen om dit probleem te omzeilen. U bent echter beperkt tot de hoeveelheid geheugen die door de fabrikant is gemonteerd. Programmering is alleen tijdens bedrijf mogelijk, wat bij een groter aantal procescomputers veel werk betekent.

Thermische en trillingsgerelateerde problemen

Wie zich voor het eerst vertrouwd maakt met de automobiel-sector, is geschokt door het temperatuurbereik. Dat is niet meer dan logisch, want als het voertuig in de sneeuw staat, is het behoorlijk koud. De Raspberry Pi heeft, net als zijn soortgenoten, weinig op met die kou – het temperatuurbereik is doorgaans beperkt tot 0...85 °C.

Normaal gesproken is het geen groot probleem wanneer het opgegeven temperatuurbereik in geringe mate wordt over- of onderschreden. De op de OrangePi-PC-Plus gebaseerde systemen van de auteur zijn bijvoorbeeld te vinden (in het interieur) van bussen die in de Verenigde Staten toch wel wat lagere temperaturen moeten overleven dan in west-Europa gebruikelijk zijn. Op [2] wordt over Raspberry Pi-varianten met een wat groter temperatuurbereik gesproken – maar in de handel zien we daar maar weinig van.

Nog problematischer is de koeling. De concurrentie tussen de verschillende fabrikanten van procescomputers leidt ertoe dat ze steeds dichter bij de grens komen van wat thermisch nog acceptabel is – een normale Raspberry Pi 4 kan bij volle belasting in het laboratorium van de auteur (waar het 20 °C is) een temperatuur van meer dan 55 °C bereiken, waardoor

het toegestane temperatuurbereik sterk wordt beperkt. Met enkele doelgerichte maatregelen kan dit worden tegengegaan. De eerste maatregel is de processor-klokfrequentie te reduceren – bij Shenzhen Xunlong is dit over het algemeen goed te doen, terwijl het ‘onderklokken’ van de nieuwe Raspberry Pi-modellen wat meer werk met zich meebrengt. Als u de kloksnelheid verlaagt, vermindert u weliswaar de warmteproductie en het stroomverbruik – maar anderzijds gaat dat ten koste van de prestaties.

De tweede methode is het gebruik van klassieke koellichamen die op de processorchip zijn bevestigd. Dit lijkt op het eerste gezicht een goed idee maar blijkt in de praktijk een probleem te zijn, vooral in omgevingen met veel trillingen – James K. Hollomon stelde al in zijn klassieke *Surface-Mount Technology for PC Boards* [3] vast dat de kracht die bij trillingen optreedt recht evenredig is met het gewicht. Dit is overigens een van de redenen waarom SMD-componenten (met uitzondering van connectoren) bij trillingen robuuster zijn dan hun *through hole*-tegenhangers.

SMD-connectoren zijn bij elektronici niet geliefd. De auteur houdt zich al jaren met dit thema bezig; bij een event kreeg hij echter interessante informatie van WAGO. Een analyse van de mensen van WAGO toonde namelijk aan dat de meeste

SMD-connectoren vooral door te zware kabels ‘mishandeld’ worden.

Terwijl de meeste moederborden en industriële computers de mogelijkheid bieden om het koellichaam met schroeven op het substraat te fixeren, is bij de Raspberry Pi – als zoets nodig is – een complexe stalen draagconstructie nodig. Daarom kan de temperatuur van de processor niet met een koellichaam willekeurig laag worden gemaakt. *Last but not least* is het ook mogelijk een ventilator te monteren en zo lucht door de behuizing te laten circuleren – een oplossing die de auteur voor zijn klanten graag gebruikt.

In dit verband moet worden opgemerkt dat de fabrikanten van behuizingen zich niet beperken tot Kawaii-producten [4] voor ‘normale’ gebruikers. Bedrijven zoals ItalTronic [5] bieden bijvoorbeeld verschillende behuizingsoplossingen voor DIN-rail montage. Wanneer u serieus overweegt de Raspberry Pi commercieel in te zetten, dan verdient het aanbeveling deze producten nader te bekijken.

Tenslotte willen we er nog op wijzen dat de Raspberry Pi, zoals bijna alle consumenten-SBC’s, doodgewoon RAM gebruiken. Als u om welke reden dan ook ECC-geheugen (*Error Correcting Code* geheugen) nodig hebt, moet u het zelf gaan ontwerpen of bereid zijn serieus geld te op tafel te leggen.

Handige toebehoren voor professioneel gebruik

Geheugenkaarten van SwissBit [10].

Defekte geheugenkaarten zijn en blijven een acuut probleem bij procescomputersystemen. Zeker wanneer er sprake is van veel schrijfoperaties (trefwoord logbestanden), verdient het gebruik van professionele geheugenkaarten aanbeveling.

SwissBit is zeker niet de goedkoopste aanbieder, maar het bedrijf heeft een uitstekende reputatie. De meeste aanbiedingen zijn gebaseerd op als robuust bekend staande flash-geheugencellen. De kaarten hebben ook een verbeterde controller om bij stroomuitval of andere calamiteiten betrouwbaar en robuust te blijven.

CAN-shield [11].

Het is geen onverdeeld genoegen een CAN-bus te implementeren – timingproblemen, spanningsproblemen en de alomtegenwoordige spikes bezorgen de ontwerper grijze haren.

De PiCAN is een handige manier om de Raspberry Pi aan CAN 2.0 te koppelen. De leverancier van de kaart gebruikt CAN-controllers van MicroChip, die een eersteklas compatibiliteit moeten garanderen – voor de aansluitingen zijn DB9 en normale klemmen beschikbaar. Programmering gebeurt via de SocketCAN-driver, die code accepteert die in C of Python is geschreven.

Raspberry Pi op DIN-rail [12, 13].

Phoenix Contact is al jaren bekend en populair op het gebied van fabriksautomatisering. Met de RPI-BC biedt het bedrijf een behuizingsreeks voor de RPI-BC aan die eenvoudig op een DIN-rail kan worden gemonteerd.

Phoenix Contact implementeert ook een eigen HBUS-standaard, waarmee meerdere Raspberry Pi’s en/of andere

I/O-modules tot een compleet systeem kunnen worden gekoppeld. De behuizing biedt ook voldoende ruimte voor extra printen voor uitbreidingen.

StratoPi – UPS en RTC [14].

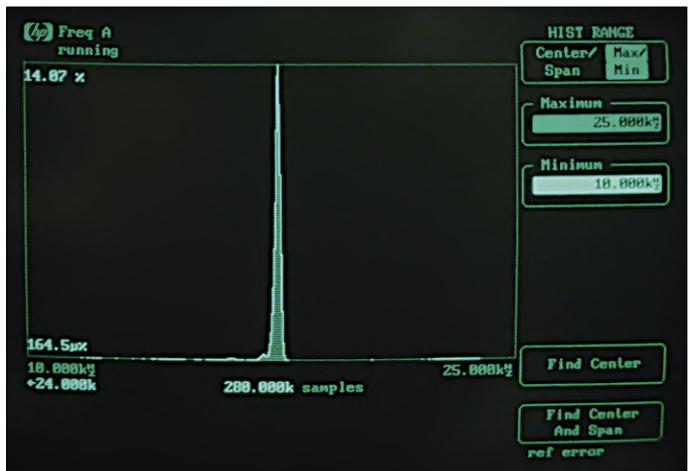
Onderbrekingsvrije voedingen zijn zeer belangrijk in industriële toepassingen, vooral wanneer het besturingsapplicaties betreft. Verschillende bedrijven bieden UPS-uitbreidingen voor de Raspberry Pi aan die het dankzij buffering met een accu of condensator mogelijk maken kritieke situaties te overbruggen of in ieder geval voor een geordend uitschakelen te zorgen.

Sommige versies van de StratoPi hebben niet alleen een UPS maar ook een batterijgebufferde realtime-klok, waardoor ook zonder internet een nauwkeurige timing mogelijk is. Sommige modellen hebben zelfs geïsoleerde seriële bussen, waardoor communicatie via RS232 of RS485 (!) mogelijk is.

PoE Hat [15]

In grotere industriële toepassingen is de bekabeling vaak een probleem - elke extraader veroorzaakt extra kosten en inspanningen. Power over Ethernet (PoE) was in dit opzicht altijd al aantrekkelijk, omdat de voeding door een hub (met UPS) kan worden verzorgd.

De Raspberry Pi Foundation biedt al geruime tijd uitbreidingskaarten aan die PoE mogelijk maken voor een (compatibele!) Raspberry Pi. Let er wel op dat de print tijdens bedrijfsgewoon warm wordt.



Figuur 5. De zwakke punten van de Raspberry Pi onder Raspbian worden duidelijk bij modulatie-domeinanalyse.



Figuur 6. De RasPiLC is geoptimaliseerd voor Smart Home-applicaties.

Kan CAN? CAN kan!

Raspberry Pi of Orange Pi – doet er niet toe: het doel is altijd de commerciële *maker*. Normaal gesproken sluit deze zijn hardware aan via I²C, SPI of UART, maar in sommige gevallen is ook *bit-banging* via de GPIO-pinnen mogelijk, wanneer u tenminste de ellendige real-time eigenschappen (**figuur 5**) van de meeste besturingssystemen op de koop toe neemt.

Een ander probleem is dat de ingangen van de procescomputer normaal gesproken een spanningsbereik hebben van 0...3,3 V. De Raspberry Pi verdraagt tot op zekere hoogte ook 5 V aan, maar in de dagelijkse (commerciële) praktijk kan de auteur dat niet aanbevelen. En aangezien RPi & Co. gebruik maken van processoren die uit de handy-sector stammen, kunnen ze ook miserabel weinig stroom leveren.

Om deze problemen te omzeilen, zijn externe schakelingen natuurlijk een optie. Zolang het slechts om het aanpassen van de spanningsniveaus of het in- en uitschakelen van een relais gaat – zoals voor ‘primitieve’ besturingstaken – hoeft de ontwerper zich niet bijzonder in te spannen. Toegegeven, voor zulke simpele toepassingen zijn kant-en-klare shields verkrijgbaar. Als het om een zeer kleine productieserie gaat, kan zo’n ‘gekochte’ oplossing goedkoper zijn dan een compleet nieuw ontworpen print.

In de praktijk komt men vaak situaties tegen waarin aanvullende busprotocollen nodig zijn. Terwijl een kernelmodule beschikbaar is voor OneWire (trefwoord: Dallas-temperatuursensoren), worden voor CAN en consorten complexere protocollen gebruikt. Dan kan het interessant zijn om een hybride procescomputer te ontwikkelen – een controller als de ESP32 kan via I²C of SPI contact opnemen met de Raspberry Pi en de inkomende berichten (events) doorsturen.

Voordat u echter dit soort problemen met eigen ontwerpen wilt aanpakken, moet u overwegen de USB-aansluiting te gebruiken. De auteur gebruikt bijvoorbeeld liever een goedkope USB GPS-ontvanger in plaats van zelf een module te ontwerpen.

Als dit niet het gewenste resultaat oplevert, moet u op zoek

Weblinks

- [1] Commercieel gebruik van de Raspberry Pi: www.raspberrypi.org/forums/viewtopic.php?f=63&t=176564
- [2] Raspberry Pi voor industriële toepassingen: www.element14.com/community/thread/71335/l/raspberry-pi-for-industrial-uses?displayFullThread=true
- [3] Holloman, James: Surface Mount Technology for PC Boards: www.amazon.com/Surface-Mount-Technology-PC-Boards/dp/0790610604
- [4] Kawaii?: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Kawaii>
- [5] Italtronic: <https://deu.italtronic.com/>
- [6] RasPiLC: <https://www.raspilc.de/>
- [7] RPi op maat: www.element14.com/community/docs/DOC-76955/l/raspberry-pi-customization-service
- [8] OpenSource-IPC : [https://revolution.kunbus.com/](http://revolution.kunbus.com/)
- [9] netPI: www.netiot.com/netpi/industrial-raspberry-pi-3/
- [10] High-end SD-geheugenkaarten: www.swissbit.com/products/nand-flash-products/microsd-memory-cards/
- [11] PiCAN: www.elektor.com/pican-2-can-bus-board-for-raspberry-pi
- [12] DIN-rail behuizing voor RPi : <https://bit.ly/2HngILR>
- [13] DIN-rail behuizing voor RPi : <https://bit.ly/31XJswY>
- [14] UPS, RTC en co.: www.sferalabs.cc/strato-pi/
- [15] PoE-HAT voor de Raspberry Pi: www.elektor.de/poe-hat-for-raspberry-pi-3-b-plus

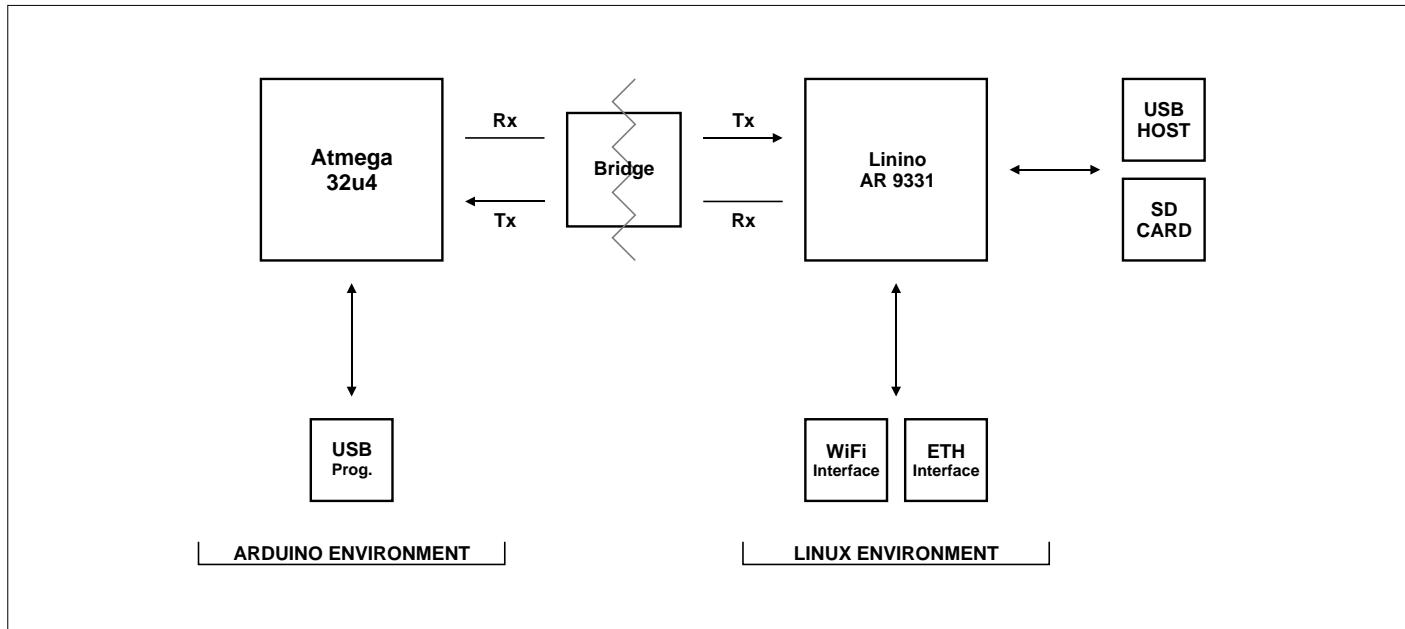


Foto 7. Overeenkomsten met de Arduino Yun berusten op toeval :-)

gaan naar geschikte shields of HAT's. Als u in een zoekmachine "Raspberry Pi <Protocol>" invoert, vindt u normaal gesproken meer dan voldoende kandidaten. In de praktijk van de auteur is vooral een firma uit Schneeberg (Saksen) opgevallen die onder de naam RasPiLC [6] uitbreidingen aanbiedt die bedoeld zijn voor het Smart Home, zoals de RasPiLC Advanced inclusief CAN-protocolondersteuning (**figuur 6**).

Op deze manier lost een door de wol geverfde ontwikkelaar ook problemen op met de vaak onbevredigende real-time prestaties van volwaardige Linux-omgevingen. Wanneer een speciale low-power controller de verwerking van events voor zijn rekening neemt, kan de hoofd-procescomputer in die tijd zelfs een dutje doen. Deze start pas weer op als er behoefte is aan geavanceerde visualisaties. Dit is zeker gunstig voor de energiebalans van het systeem. **Figuur 7** toont deze opzet blokschematisch – de auteur gebruikt in de praktijk zowel de PIC 16F1503 als de STM32-serie.

In het **kader** staan enkele websites met add-ons die interessant zijn voor commercieel gebruik.

Procescomputer franco huis

De meeste van de hier genoemde producten adverteren in meer of mindere mate met de kreet 'Open Source'; maar als u de modules aan de hand van een Gerberbestand zelf wilt nabouwen, dan haalt u zich gegarandeerd meer of minder grote moeilijkheden op de hals.

Interessant genoeg lijkt deze situatie bij sommige bedrijven veel interesse te hebben gewekt. Zo biedt de Raspberry Pi Foundation – in samenwerking met de productiepartner Element14 [7] – de mogelijkheid om de Raspberry Pi aan te passen aan de eigen wensen.

Over de exacte aantallen en prijzen wordt gezwegen. Op het bestelformulier staat slechts dat aanvragen voor minder dan 1000 stuks per productie-run niet in behandeling worden genomen. En als u een oudere SoC wilt gebruiken, moet u in veel gevallen zelfs minimaal 5000 stuks afnemen.

Maar wanneer zo'n ontwerp eenmaal op straat ligt, kun er goed

geld mee worden verdien. Het meest in het oog springende voorbeeld is waarschijnlijk KunBus [8], dat eigen Raspberry Pi's met een 'robuuster' ontwerp aanbiedt. Onder [9] vindt u een andere leverancier van een procescomputersysteem dat is afgeleid van de Raspberry Pi.

Shenzhen Xunlong is ook niet vies van maatwerk. Net als bij Element14 is de minimale bestelhoeveelheid echter allesbehalve klein.

Conclusie

Wanneer u een opvolger voor de MiG-25 zou moeten ontwerpen, zijn noch de Raspberry Pi noch de Orange Pi geschikt – extreme trillingen en temperaturen laten consumenten-procescomputers allesbehalve koud. Aan de andere kant wordt de soep niet zo heet gegeten als hij wordt opgediend – zowel de meettechniek als in het automotive convenience-bereik functioneren die single board-computers probleemloos. De klanten van de auteur hebben geen problemen gehad met op de Raspberry Pi of de Orange Pi gebaseerde procescomputers – dus is er niets op tegen om een poging te wagen! ▀

(190331-04)

IN DE STORE

<ul style="list-style-type: none"> → RaspberryPi 4 B www.elektor.nl/raspberry-pi-4-b-4-gb-ram → HAT's voor de Raspberry Pi www.elektor.nl/plattformen/raspberry-pi/hats → Literatuur over de Raspberry Pi: www.elektor.nl/books/raspberry-pi-arduino-esp/raspberry-pi



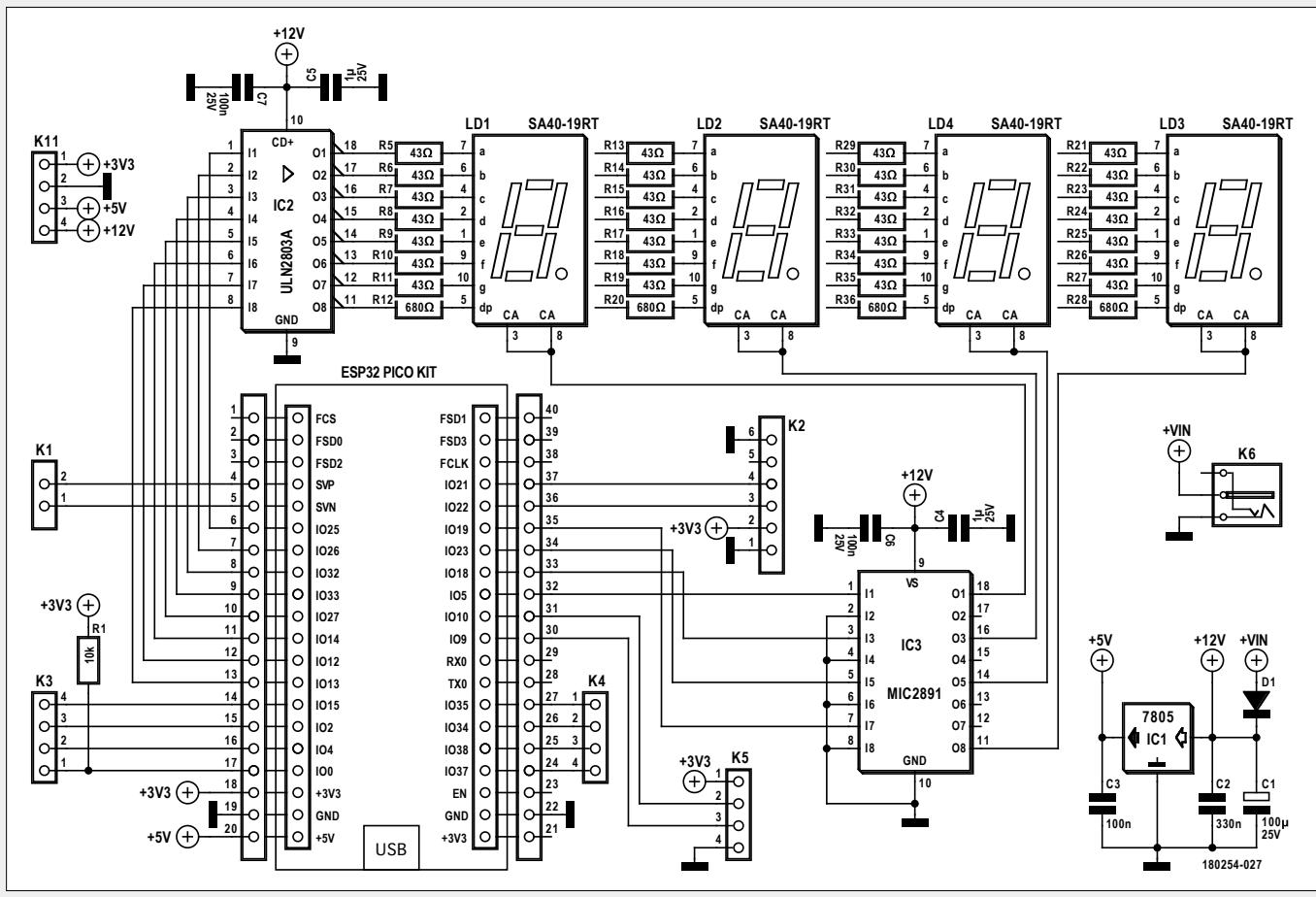
Project 2.0

correcties, updates en brieven van lezers

Gigantische LED-klok met WLAN en temperatuurweergave

Eletorlabs mei/juni 2019, p. 64
(180254)

Helaas is er bij het tekenen van het schema een foutje gemaakt. De pinnummering van de 7-segment-displays in het schema komt niet overeen met die op de print. Daarom drukken we hier de gecorrigeerde versie van het schema af.



MQTT-sensorhub

Elektorlabs september/oktober 2019, p. 6
(180254-B)

Voor R1 moet geen 10k-werstand worden gebruikt (zoals in het schema en de onderdelenlijst vermeld), maar een 1k-werstand. Bij gebruik van een 7805 is een waarde van 10 k geen probleem. Als daarentegen een DC/DC-converter wordt gemonteerd, moet de pin waarvan R1 de pullup is, er echter tijdens het booten met een iets grotere stroom voor zorgen dat de ESP32 niet onbedoeld in de boot-modus terecht komt. Omdat via deze pin geen andere functies worden aangestuurd, is 1 k als pullup geen probleem.

Diode D1 moet een MBR5540 zijn.



Microcontroller-kits voor gevorderden

Elektorlabs mei/juni 2019, p. 36 (180604)

Ik ben met de STM32 begonnen en heb een L476RG-Nucleo-board gekocht. Bij ST heb ik de STM32CubeIDE gedownload. In het artikel van het mei/juni-nummer zie ik dat de combinatie STM32CubeMX en Keil-compiler is gebruikt. Waarom is de STM32CubeIDE niet gebruikt? Bestaat daarvoor een speciale reden?

Ronald Hofman



In de eerste plaats: ik ben blij dat u een project met het L476RG-board wilt uitvoeren.

Op uw vraag naar de reden van onze keuze voor de combinatie van de Keil MDK en de STM32CubeMX in plaats van de STM32CubeIDE van de fabrikant, die de Atollic TrueSTUDIO IDE met ingebouwde STM32CubeMX gebruikt: daar zijn verschillende redenen voor te noemen.

In principe geldt dat u als ontwikkelaar net zo goed de STM32CubeIDE, ARM mbed, IAR of een van de vele andere IDE's kunt gebruiken zonder dat u zich zorgen hoeft te maken over de compatibiliteit, natuurlijk met ondersteuning en documentatie van de fabrikant.

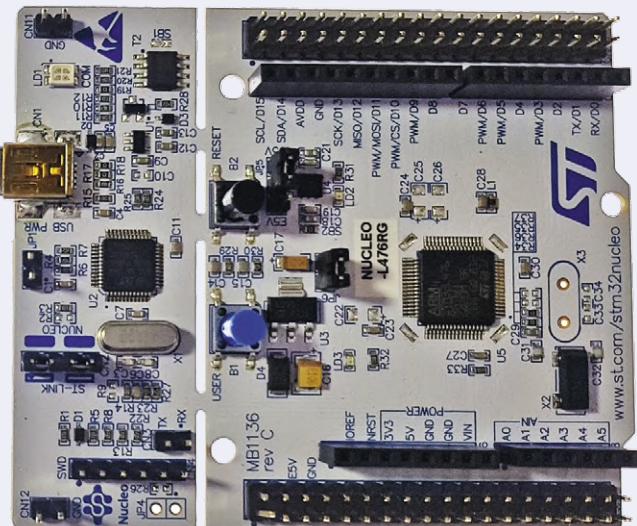
We hebben gekozen voor het Keil-ecosysteem omdat deze wijd verbreid en onafhankelijk van de fabrikant is, aangezien deze MDK rechtstreeks door ARM wordt aangeboden. De TrueSTUDIO IDE van Atollic, geïntegreerd in de STM32CubeIDE, is daarentegen uiterlijk na de acquisitie ervan door ST fabrikantafhankelijk geworden en zal binnenkort zelfs alleen nog maar verkrijgbaar zijn in de vorm van de STM32CubeIDE.

De ervaring heeft geleerd dat de meeste professionele ontwikkelaars de Keil MDK gebruiken omdat het hen in staat stelt om het volledige ARM-gamma van verschillende fabrikanten in deze categorie te gebruiken en de problemen bij een overstap minimaal zijn. Daarnaast is er de gedachte dat sommige gevorderde gebruikers ook gebruik maken van de universele debugger-hardware van Keil. Overigens vindt u op het internet een groot aantal gedocumenteerde ST-toepassingen waarvoor de Keil-compiler is gebruikt.

Toch hoeft Keil voor u niet het *non plus ultra* te zijn. Wanneer u bijvoorbeeld uw project met uitbreidingskaarten van ST of van andere fabrikanten snel en zonder hoge eisen aan efficiëntie en veiligheid wilt realiseren, dan is mbed en de bijbehorende codebibliotheek vaak de beste keuze.

Veel succes met uw project!

Viacheslav Gromov (auteur)

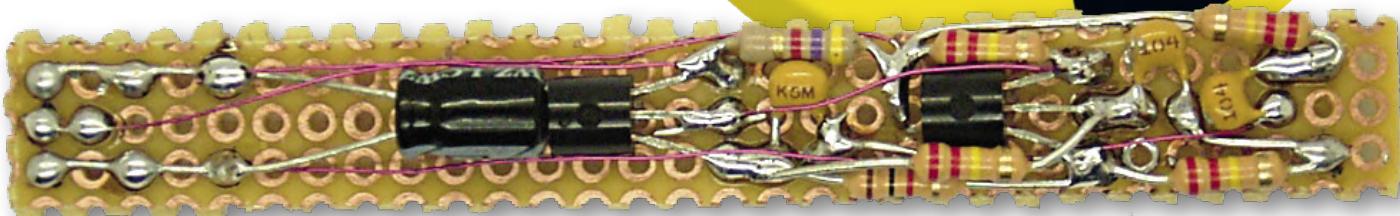
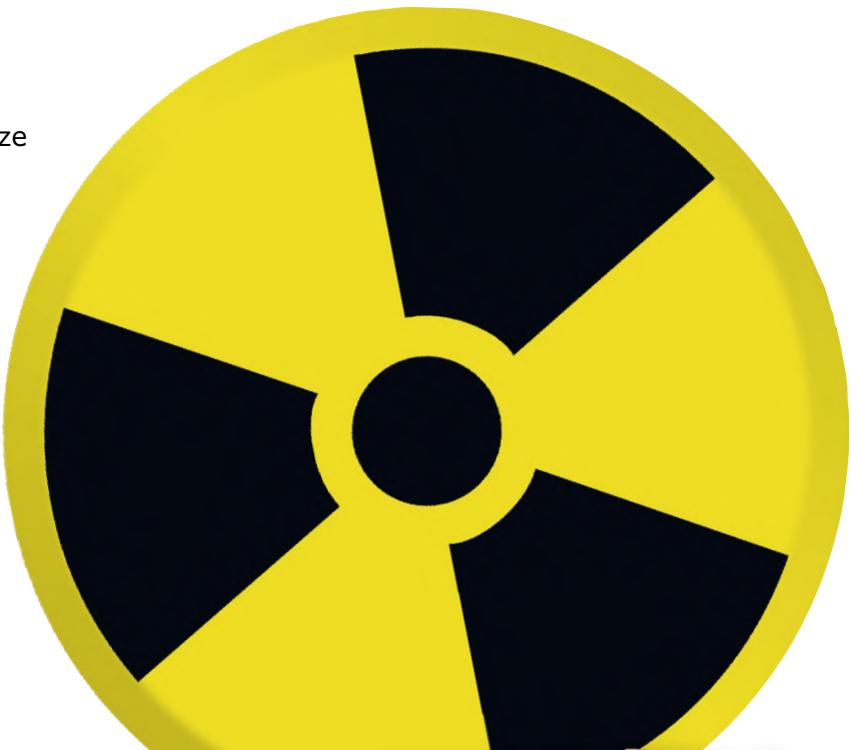


Verbeterde stralingsmeter – verbeterd!

hardware-update voor de alfa-, bèta- en gammateller

Ton Giesberts (Elektor Labs)

In 2011 hebben we in Elektor een ingenieuze stralingsmeter gepubliceerd die het zonder speciale, dure en lastig verkrijgbare Geiger-Müller-buis kon stellen. De auteur (Burkhard Kainka, geen onbekende voor trouwe Elektor-lezers) liet hier zien dat een simpele fotodiode met wat aanvullende elektronica voldoende was om radioactieve straling aan te tonen – destijds, enkele maanden na ‘Fukushima’, een bijzonder actueel thema.



Figuur 1. De oorspronkelijke stralingsmeter (juni 2011) was op gaatjesprint opgebouwd.

Eigenschappen

- nieuw ontworpen dubbelzijdige print
- alleen through-hole onderdelen
- bestaande software blijft bruikbaar
- onderdelenpakket leverbaar

Radioactieve straling (ioniserende straling) bereikt ons in drie vormen, die ook in verschillende mate gevaarlijk zijn. In de eerste plaats zijn daar alfastralen – dat zijn eigenlijk geen stralen maar losgeslagen ${}^4\text{He}$ -atoomkernen (twee protonen plus twee neutronen) die bij het verval van radioactieve materialen

vrijkomen. Deze deeltjes zijn zwaar en hebben een zeer geringe reikwijdte en dito doordringingsvermogen; ze komen niet eens door een stukje papier heen. Dan hebben we bètastralen – eigenlijk ook geen stralen maar losgeslagen elektronen die vrijkomen wanneer bij radioactief verval een neutron in een

atoomkern in een proton verandert. Betastralen hebben een hoger doordringingsvermogen en een grotere reikwijdte dan alfastralen en zijn dan ook gevarelijker voor de gezondheid. Afscherming is echter prima mogelijk met plexiglas van ongeveer 1 cm dik, of een niet al te dun stuk aluminium.

Tenslotte is daar de gammastraling – dat is de echt gevarelijke ‘harde’ straling die extreem slecht voor de gezondheid is en waarvoor een deugdelijke afscherming moeilijk te realiseren is (muren houden deze straling nauwelijks tegen, daarvoor is een dikke laag van een dicht en zwaar materiaal zoals lood nodig). Gammastraling is van nature alomtegenwoordig: dat is de kosmische straling waarmee de aarde (en wij dus ook) continu gebombardeerd worden.

Het oorspronkelijke ontwerp...

Dat is allemaal uitgebreid beschreven in het oorspronkelijke artikel over de stralingsdetector [1] (Elektor juni 2011), waar we voor nadere informatie naar verwijzen.

Dit oorspronkelijke ontwerp was eigenlijk meer een *proof of concept*, opgebouwd op een stukje gaatjesprint met discrete onderdelen (zie **figuur 1**). Dat schreeuwde natuurlijk om een *follow-up*, en die kwam dan ook in november van hetzelfde jaar [2].

...en de verbeterde versie

Deze ‘verbeterde stralingsmeter’ was op een echte print opgebouwd, had een betere voorversterker en een microcontroller plus LC-display. Dat resulteerde in een veel gebruiksvriendelijker stralingsmeter die bovendien metingen produceerde waaruit een heleboel interessante informatie kon worden afgeleid. Wederom verwijzen we naar het oorspronkelijke artikel voor meer informatie. **Figuur 2** geeft een impressie van deze uitvoering.

Wat viel er dan nog te verbeteren?

In **figuur 3** hebben we het schema van de nogmaals verbeterde versie afdrukt. Wanneer u dat vergelijkt met het schema in [2], ziet u dat er eigenlijk maar heel weinig is veranderd.

JFET’s in TO92-behuizing zijn tegenwoordig lastig te verkrijgen, en dat geldt zeker voor de BF245 die we in het oorspronkelijke ontwerp hebben gebruikt. De BF256B voldoet net zo goed en is beter verkrijgbaar, zodat deze nu een prominente plaats in het nieuwe schema inneemt.

Daarnaast hebben we nu een ander LC-display gebruikt: een groen/zwart model met achtergrondverlichting, dat in onze shop verkrijgbaar is (zie het betreffende **kader**). De achtergrondverlichting kan afhankelijk van de omstandigheden met schuifschakelaar S2 worden in- en uitgeschakeld. Het contrast kan worden ingesteld met instelpotmeter P1.

In plaats van een simpele pinheader voor de aansluiting van de voedingsspanning hebben we nu een ‘echte’ voedingsconnector gemonteerd zodat het probleemloos mogelijk is een standaard 9V-netadapter te gebruiken.

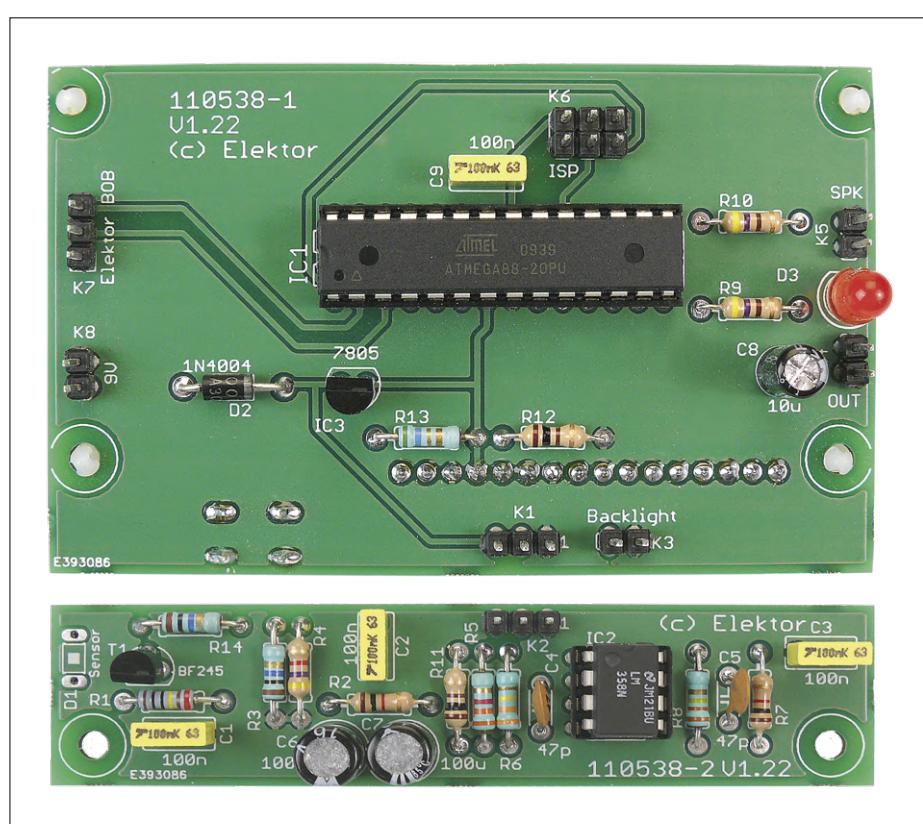
In het oorspronkelijke ontwerp moest een extern luidsprekertje worden gebruikt om de gemeten stralingspulse hoorbaar te maken; in de nogmaals verbeterde versie hebben we een actief piëzo-buzzertje gebruikt dat direct op de print wordt gemonteerd.

Het hart van de schakeling, de microcontroller, is hetzelfde als in het ontwerp uit 2011; ook aan de software is niets gewijzigd. Om de tilingang van de controller wat extra bescherming te geven, hebben we een weerstand van $220\ \Omega$ (R12) in serie met die ingang opgenomen.

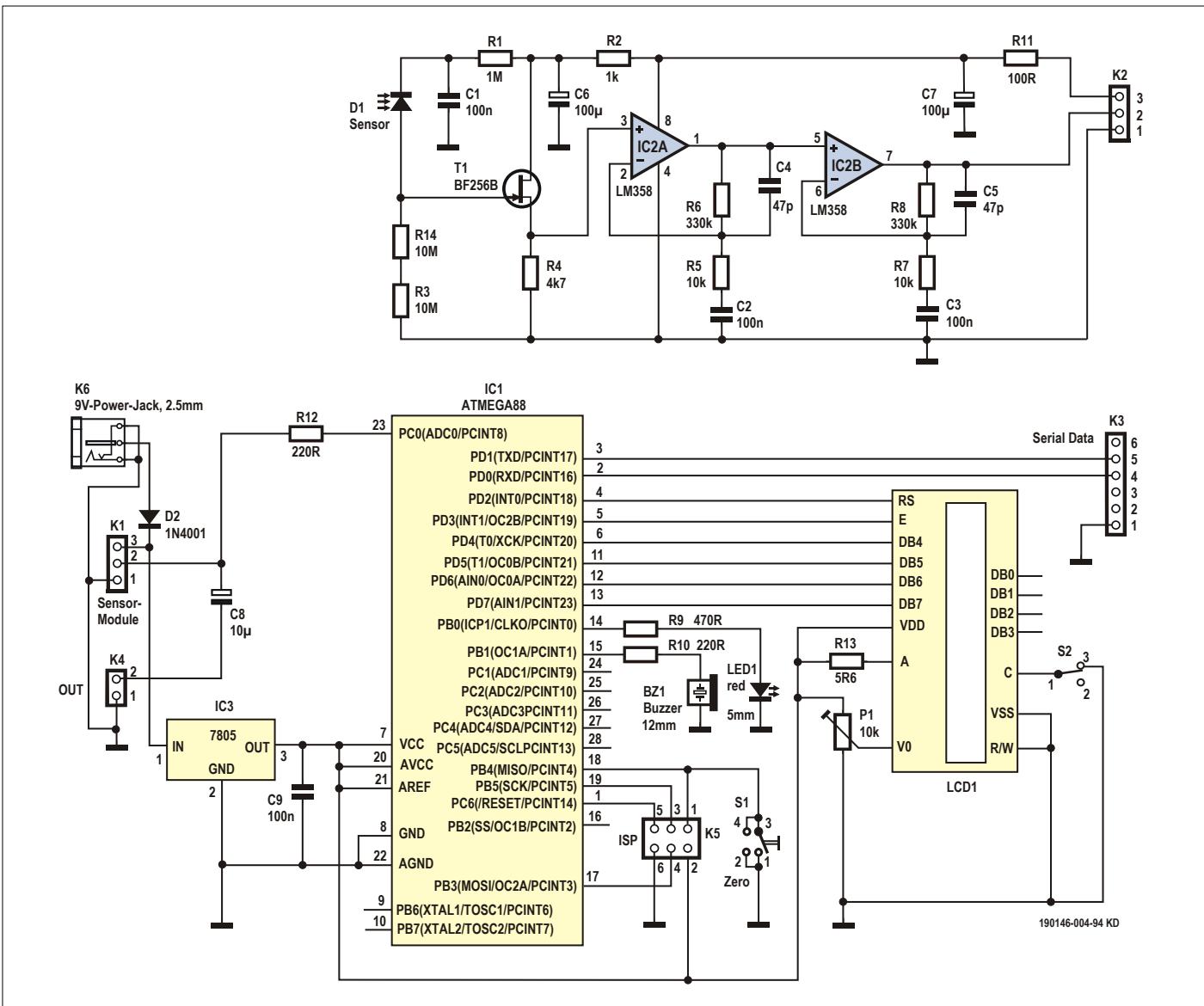
Tenslotte hebben we voor de verbinding met een PC een andere connector (K3) genomen: dit is nu een 6-polige header



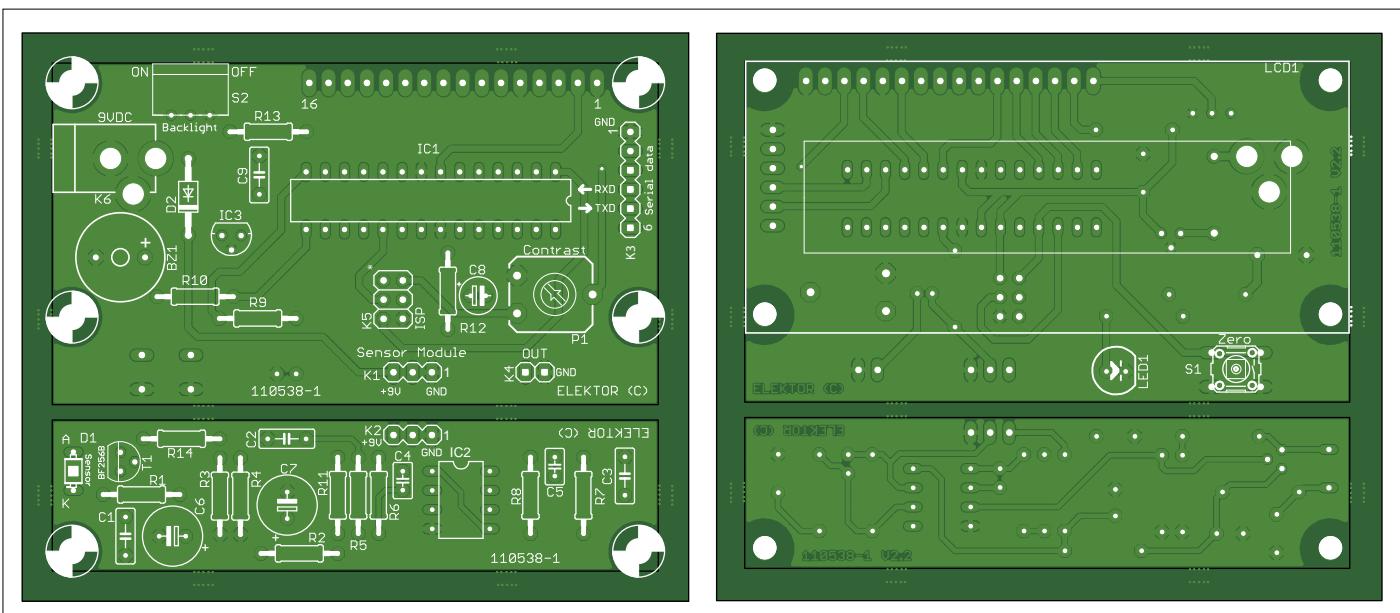
waar onze nieuwe USB/RS232-converter (de FT231X BoB uit het september/oktober-nummer van dit jaar) rechtstreeks op kan worden aangesloten. K5 is de standaard Atmel 6-pens ISP-connector om de controller (eventueel) in-system te herprogrammeren.



Figuur 2. De verbeterde versie (november 2011) op een echte print.



Figuur 3. Het schema van de nogmaals verbeterde versie verschilt slechts weinig van de oorspronkelijke versie.



Figuur 4. De nieuwe print heeft dezelfde afmetingen als de oude.



ONDERDELENLIJST

Weerstanden:

(alle 5%, 0,25 W, 250 V)

R1 = 1 M

R2 = 1 k

R3,R14 = 10 M

R4 = 4k7

R5,R7 = 10 k

R6,R8 = 330 k

R9 = 470 Ω

R10,R12 = 220 Ω

R11 = 100 Ω

R13 = 5,6 Ω

P1 = 10 k instelpotmeter, liggend

Condensatoren:

C1,C2,C3,C9 = 100 n, 50 V, X7R,

steek 5,08 mm

C4,C5 = 47 p, 50 V, C0G/NP0, steek 2,5 mm
 C6,C7 = 100 μ, 50 V, steek 3,5 mm, 8 x 11 mm
 C8 = 10 μ, 50 V, steek 2 mm, 5 x 11 mm

Halfgeleiders:

D1 = BPW34, recht

D2 = 1N4004

LED1 = LED 5 mm

T1 = BF256B

IC1 = ATMega88PA-PU

(geprogrammeerd 110538-41)

IC2 = LM358

IC3 = 78L05

Overig:

Bz1 = piezo-buzzer 12 mm, 1...3 Vpp,

f_{res} 2,04 kHz, steek 6,5 mm

S1 = druktoets printmontage, 6 x 6 mm

S2 = schuifschakelaar printmontage
 haaks, raster 2,54 mm (Würth Elektronik
 450302014072)

Diversen:

K1,K2 = pinheader 1x3, recht, raster 2,54 mm

K3 = pinheader 1x6, recht, raster 2,54 mm

K4 = pinheader 1x2, recht, raster 2,54 mm

K5 = pinheader 2x3, recht, raster 2,54 mm

K6 = DC-voedingsconnector, pin 1,95 mm,
 12 V, 3 A (Lumberg NEB 21R)

IC1 = IC-voet DIP-28 (smal)

IC2 = IC-voet DIP-8

LCD1 = LCD-module 2 x 16, Elektor-
 bestelnummer 120061-74

(+ pinheader 1x16 recht, raster 2,54 mm)
 montage materiaal voor LCD1

print 110538-1 v2.2



Figuur 5. Zelfs ongeoeefende soldeerartiesten zullen met de opbouw weinig problemen hebben.

Print

En daarmee komen we bij de belangrijkste verbetering: we hebben een compleet nieuwe print voor de stralingsmeter ontworpen (zie **figuur 4**). In vergelijking met de eerdere versie zijn hier ook de bijschriften bij de diverse connectoren duidelijker gemaakt. Net als bij de eerder versie heeft de print twee secties: het gedeelte met controller en LCD en het gedeelte met de sensor en de voorversterker. Natuurlijk is deze print in onze shop verkrijgbaar, alsmede de geprogrammeerde microcontroller en – voor wie het zich bijzonder gemakkelijk wil maken – een compleet bouwpakket met print en alle onderdelen.

Bouw

Over de bouw kunnen we kort zijn: op de print worden uitsluitend through-hole onderdelen gemonteerd, dus dat mag voor niemand een probleem vormen. Schakelaar S1, LED1 en het LC-display worden aan de onderkant van de controllerprint gemonteerd. Bij ons prototype (zie **figuur 5**) hebben we het LC-display gemonteerd met M3-boutjes en afstandsbusen. Maar hier kunt u, afhankelijk van uw wensen en eisen, uw verbeelding de vrije loop laten; kritisch is het allemaal niet zolang het maar stevig is.

Rest ons nog u veel meetplezier te wensen – en hopelijk meet u in uw directe omgeving geen verhoogde stralingsniveaus! ▀

(190146-01)

IN DE STORE



- **LCD groen/zwart met achtergrondverlichting:** www.elektor.nl/120061-74
- **FT231X BoB kale print:** www.elektor.nl/18878
- **FT231X BoB gemonteerde print:** www.elektor.nl/18895
- **Stralingsmeter kale print v2.2:** www.elektor.nl/110538-1
- **Stralingsmeter geprogrammeerde microcontroller:** www.elektor.nl/110538-41
- **Stralingsmeter compleet onderdelenpakket:** www.elektor.nl/110538-71

Weblinks

- [1] Oorspronkelijke stralingsmeter: www.elektrormagazine.nl/110372
- [2] Verbeterde stralingsmeter: www.elektrormagazine.nl/110538
- [3] Projectpagina bij dit artikel: www.elektrormagazine.nl/190146-01

VFD-klok

oude wijn in een nieuwe zak



Thomas Pototschnig (Duitsland)

Vacuüm-fluorescentiedisplays (VFD's) uit het achter ons liggende buizentijdperk hebben nostalgische charme, en daarom worden ze graag in klokprojecten ingezet. De VFD-klok die in dit artikel wordt gepresenteerd, maakt een minimalistische indruk maar biedt desondanks diverse nuttige extra functies.

Vacuüm-fluorescentiedisplays oefenen een bijna magische aantrekkingskracht uit, vandaar dat veel ontwerpers ze graag gebruiken voor klokprojecten. Een bijzonder populaire display is de IV-18 buis (of de IW18, die identiek is), die onder andere te vinden is in de Russische bureurekenmachine MKU1-1 [1] uit 1989.

Ons project maakt ook gebruik van dit type buis, maar we wilden een minimalistisch ontwerp. Indien mogelijk moet alleen de buis zelf zichtbaar zijn, maar niet de besturingselektronica – en dat brengt enige ontwerprestricties met zich mee. Enerzijds moet de besturingselektronica

in zijn geheel achter de buis met een diameter van slechts ongeveer 18 mm passen. Met een lengte van ongeveer 110 mm is de IV-18 relatief lang, maar een USB-stekker die aan de zijkant zichtbaar uitsteekt zou het design ruïneren. Daarom mag de print maar half zo lang zijn als de buis.

Ten tweede hebben VFD-displays een relatieve hoge anodespanning van ongeveer 30 V nodig, waarvoor een DC/DC-omzetter nodig is en voor elk stuur-signalen een driver die 5V-logicaniveaus omzet in spanningen die geschikt zijn voor het VFD-display. Dat neemt natuurlijk ruimte in beslag. Zelfs de gebruikelijke SO28 VFD drivers zijn relatief groot

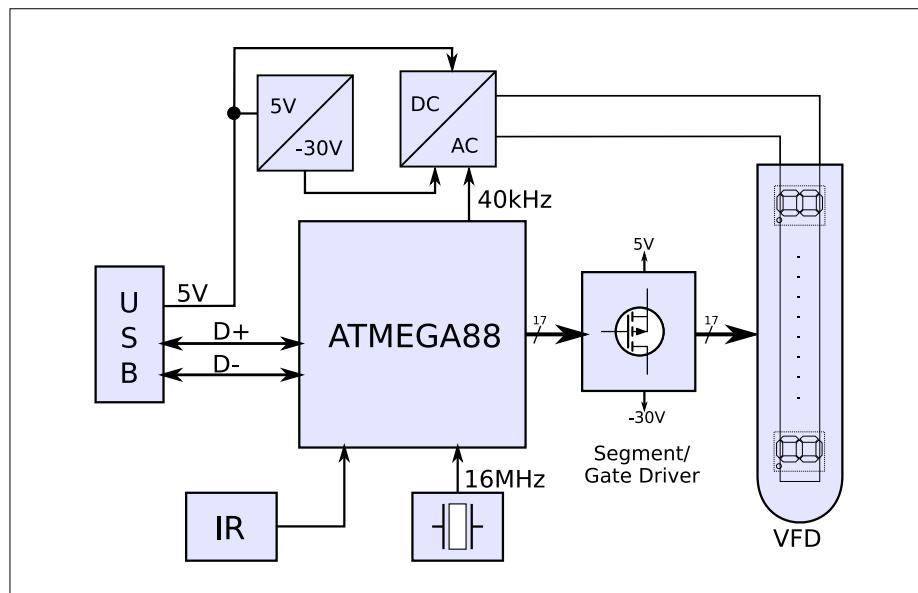
(eigenlijk te groot) en kunnen daarom niet gebruikt worden – geheel los van het feit dat veel speciale VFD-IC's obsolet en/of duur zijn.

Al deze ontwerprestricties konden echter in de VFD-klok worden gerealiseerd, en niet alleen dat: naast de tijdsaanduiding zijn nog andere interessante en moderne functies geïmplementeerd.

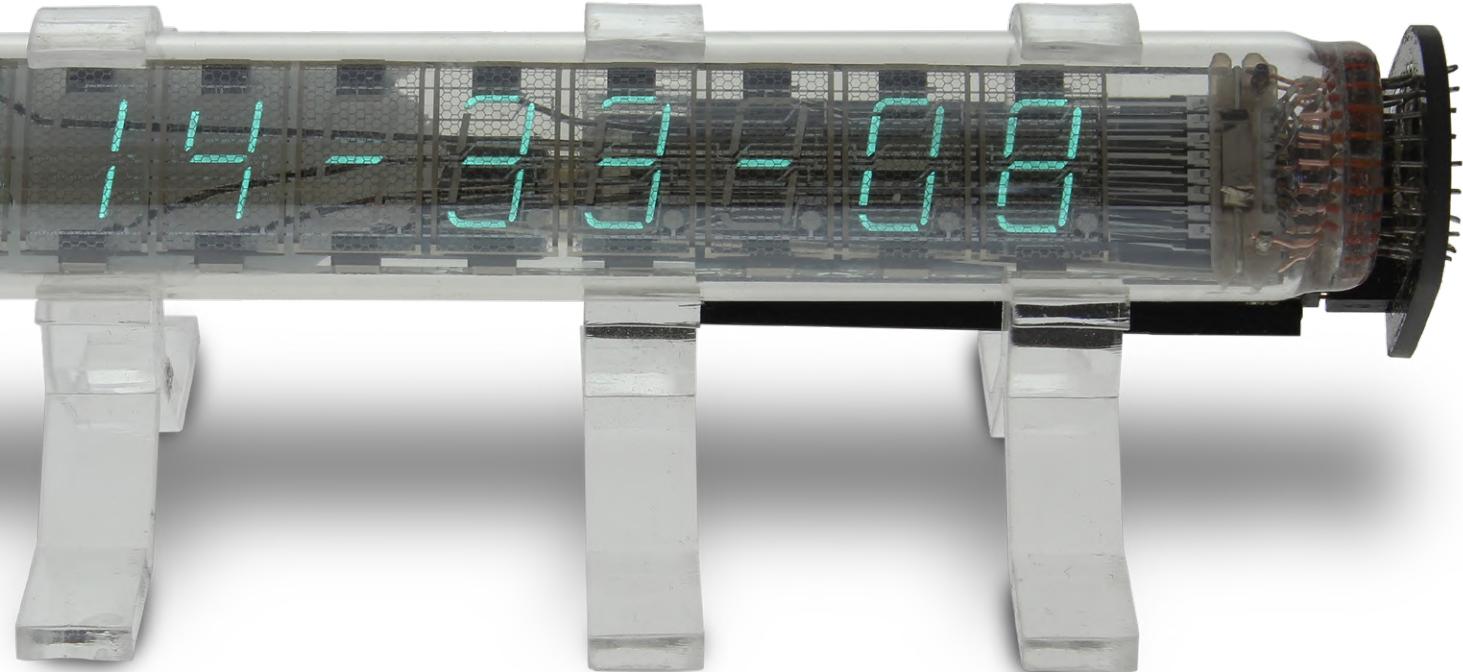
De klok wordt gelijkgezet met een IR-afstandsbediening waarvan de codes zijn opgeslagen in de microcontroller van de klok. De klok wordt niet alleen van stroom voorzien via de USB-poort; die is tegelijk een USB-HID (*human interface device*) die via een PC toegankelijk is. Naast het lezen en opslaan van IR-codes is het ook mogelijk om teksten over het display te laten lopen. Dit biedt vele mogelijkheden zoals statusweergave van een server, weergave van de temperatuur van CPU-kernen, het aantal YouTube-abonnees en wat dies meer zij...

VFD-aansturing

Figuur 1 toont het blokschema van het project. In het midden bevindt zich het hart van de schakeling, een ATmega88-microcontroller die alle functies van de schakeling regelt. De schakeling wordt gevoed met 5 V uit de USB-poort, waarbij via deze USB-aansluiting ook gegevens kunnen worden uitgewisseld met de microcontroller. Een spanningsomvormer genereert uit de 5 V een spanning van ongeveer -30 V die nodig is voor de 17 MOSFET-drivers voor de segmenten en het rooster, alsmede voor het genereren van de gloeidraadspanning. De schake-



Figuur 1. Blokschema van de VFD-klok.



ling heeft ook een IR-ontvanger om de klok in te stellen via een afstandsbediening (dus zonder communicatie met een PC).

In dit project gebruiken we het populaire vacuüm fluorescentiedisplay IV-18 [2]. Hoewel die buizen al lang niet meer geproduceerd worden, kunt u op veel veilingssites op het internet nog steeds 'new old stock' vinden. Zo kunt u gemakkelijk voor weinig geld ongebruikte buizen op de kop tikken. Aangezien dergelijke buizen al enkele tientallen jaren oud zijn, is het een goed idee een paar extra exemplaren als reserve te bestellen.

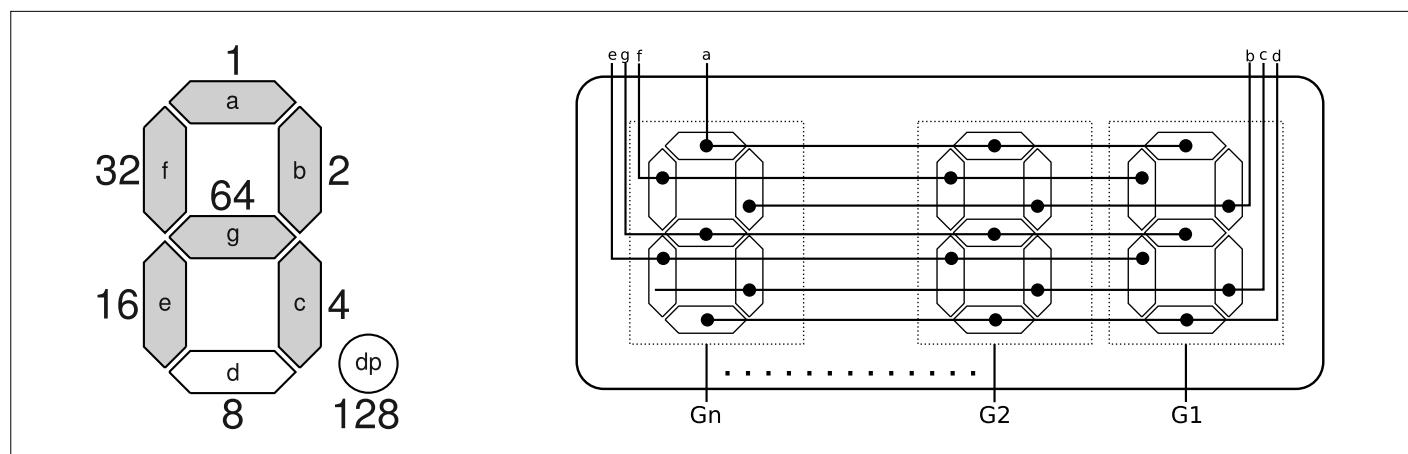
De werking van een VFD-buis is vergelijkbaar met die van direct verhitte versterkerbuizen. Een verwarmingsdraad (gloeidraad, kathode van de buis) zendt elektronen uit die (zoals in een triode) worden aangetrokken of afgestoten door

positief of negatief geladen roosters en anoden (in dit geval de van fosfor voorziene segmenten). Als de potentiaal van een segment positiever is dan die van de gloeidraad, worden elektronen aange trokken en raken ze de fosforlaag, die daardoor in de typische blauwgroene kleur oplicht. Als een segment negatiever is, worden de elektronen afgestoten en licht het segment niet op.

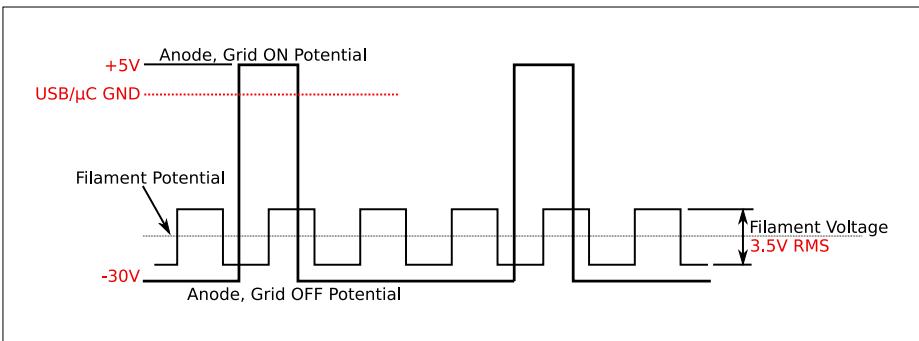
Zoals te zien is in **figuur 2**, zijn zeven segmenten (of met decimale punt acht) gerangschikt op de manier van gangbare zeven-segmentdisplays en vormen zo een cijfer. Om het aantal stuurlijnen te minimaliseren, wordt bij VFD-displays vaak van (tijd)multiplexing gebruik gemaakt (paragraaf 3.1.2 in [3]), waardoor het aantal stuurlijnen – in het geval van de IV-18 – van 66 naar 17 wordt teruggebracht.

Hiertoe hebben VFD-displays voor elk cijfer een afzonderlijk aanstuurbare rooster dat tussen de gloeidraad en de segmenten van een cijfer is geplaatst en de elektronenstroom tegenhoudt wanneer het negatief is geladen. Op deze manier kunnen complete cijfers bliksemsnel worden geactiveerd of gedeactiveerd – en dat is precies de truc van (tijd)multiplexing. In hoog tempo wordt het ene na het andere cijfer geactiveerd en wordt het bitpatroon dat overeenkomt met het actieve cijfer op de segmenten gezet. Als de schakelfrequentie hoog genoeg is – in dit project 500 Hz – is een rustige en flikkervrije weergave gegarandeerd.

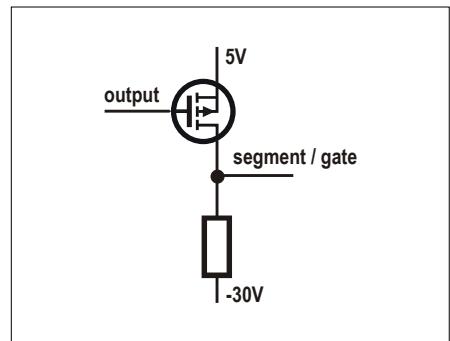
De segmenten en roosters van een VFD-display worden aangestuurd met ongeveer 30 V. De referentiepotentiaal (de potentiaal van de gloeidraad) kan weliswaar bijna willekeurig worden geko-



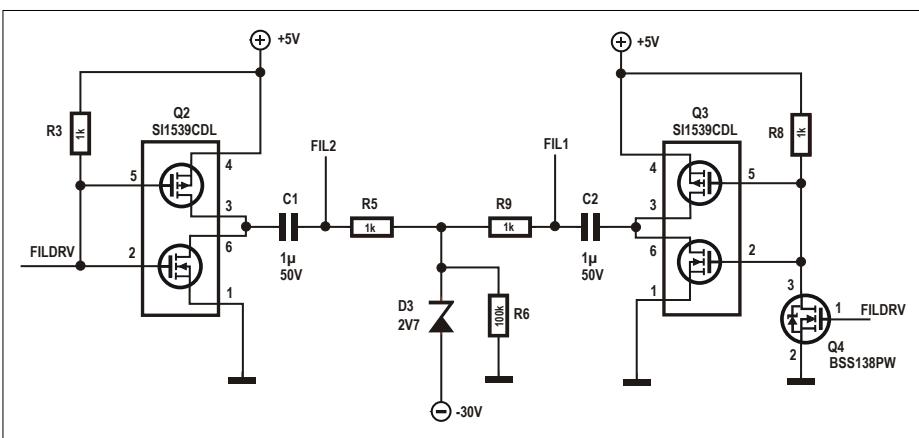
Figuur 2. Aansturing van de IW18-buis en de opbouw van een cijfer.



Figuur 3. Spanningsniveaus van de stuursignalen.



Figuur 4. Eenvoudige MOSFET-driver.



Figuur 5. Twee complementaire MOSFET-paartjes (twee halve bruggen).

zen, maar de stuurelektronica kan door een slimme selectie van die potentiaal eenvoudig worden gehouden.

Figuur 3 toont de spanningsniveaus waarvoor we hier hebben gekozen. Er is een ON-potentiaal van +5 V en een OFF-potentiaal van -30 V, waarmee roosters en segmenten kunnen worden in- en uitgeschakeld. De gloeidraad (kathode) ‘zweeft’ een paar volt boven het OFF-potentiaal om bij het multiplexen nalichten (*ghosting*) tegen te gaan. Met deze spanningsniveaus is het zeer eenvoudig om de roosters en segmenten aan te sturen, omdat goedkope logic-level p-kanaal MOSFET’s zoals de BSS84 voor de aansturing kunnen worden gebruikt; de microcontroller kan die probleemloos schakelen (**figuur 4**).

Als een uitgang van de microcontroller naar +5 V ($U_{gs} = 0$ V) wordt gemaakt, spert de MOSFET zodat er -30 V op diens drain (en dus op een segment of rooster) staat. Als de uitgang naar 0 V ($U_{gs} = -5$ V) gaat, geleidt de MOSFET en wordt het segment of rooster aan +5 V gelegd. De BSS84, een dubbele MOSFET-variant in een kleine SC70-behuizing, is tegen deze spanningen bestand en is daarom perfect

geschikt voor deze toepassing. In totaal zijn negen van deze dubbele transistoren nodig – vier voor de segmenten en vijf voor de roosters.

De benodigde negatieve spanning kan eenvoudig worden gegenereerd met een spanningsomvormer zoals de LT1931, die in een compacte SOT23-5 behuizing leverbaar is.

Het laatste lastige gedeelte is de gloeispanning. De uitvinders van de VFD-displays (Noritake) schrijven ([3], paragraaf 5.4) dat er een wisselspanning moet worden gebruikt, omdat bij gelijkspanning de helderheid over de lengte van de buis zou variëren. Veel gloeidraaddrivers gebruiken daarom DC/AC-converters en transformatoren (bijvoorbeeld Royer-convertisers), die helaas veel ruimte nodig hebben. Noritake schrijft echter ook dat de gloeidraad met een blokgolf kan worden aangestuurd, en adviseert daarvoor een frequentiebereik van 10...200 kHz.

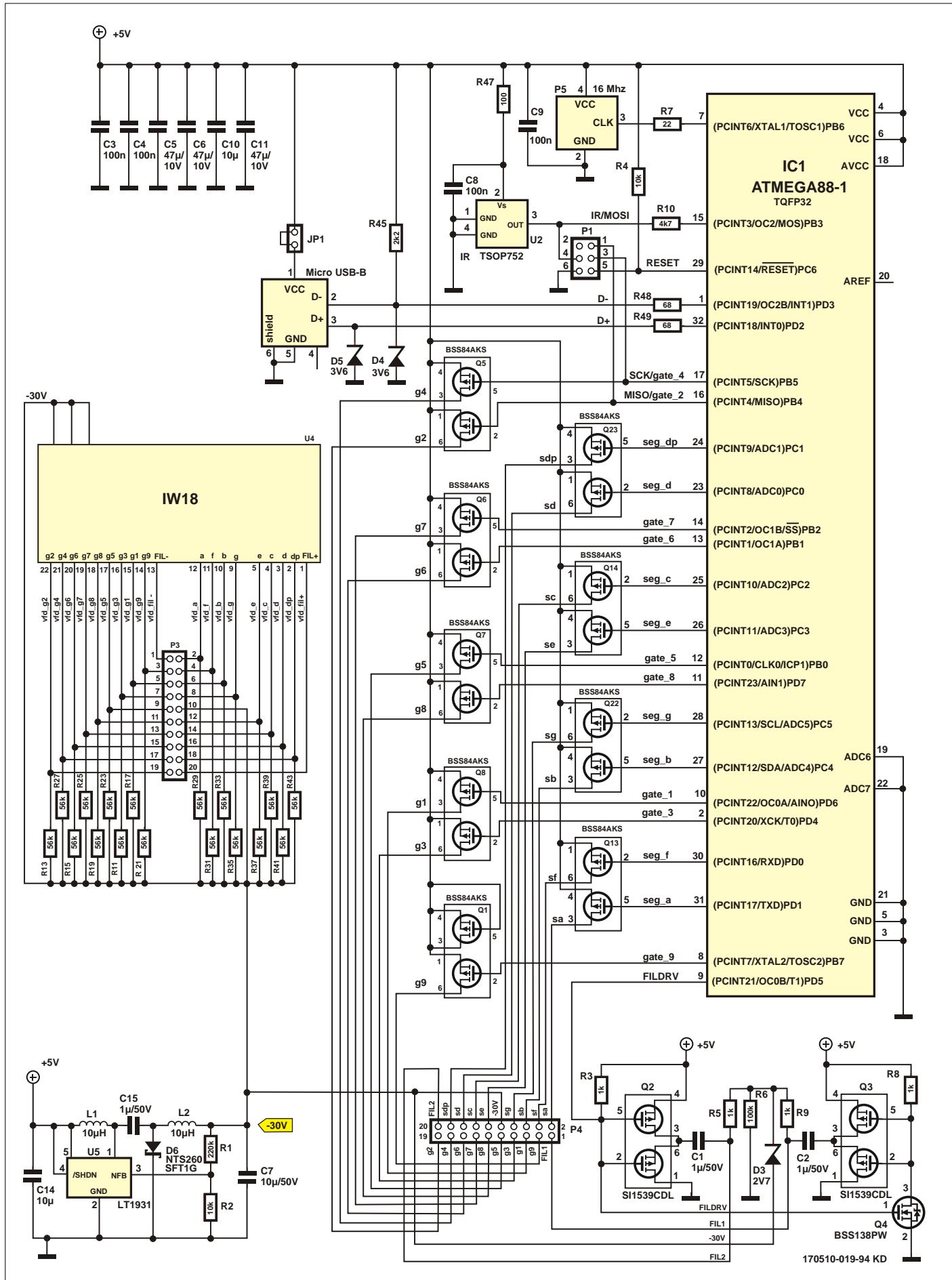
Dit kan gemakkelijk worden gerealiseerd met een hele-brug-schakeling waarvan de twee halve bruggen beide uit een complementair MOSFET-paartje bestaan (**figuur 5**).

De twee halve bruggen worden in tegenfase aangestuurd met een puls/pauzeverhouding van 50%, waardoor tussen de drains van de beide dubbele MOSFET’s een wisselspanning met een effectieve waarde van ongeveer 3,5 V tot stand komt, wat binnen de specificatie van de buis ligt. Via de AC-koppelcondensatoren C1 en C2 wordt deze de wisselspanning doorgekoppeld en via R5, R9, R6 en D3 naar -27,3 V getrokken.

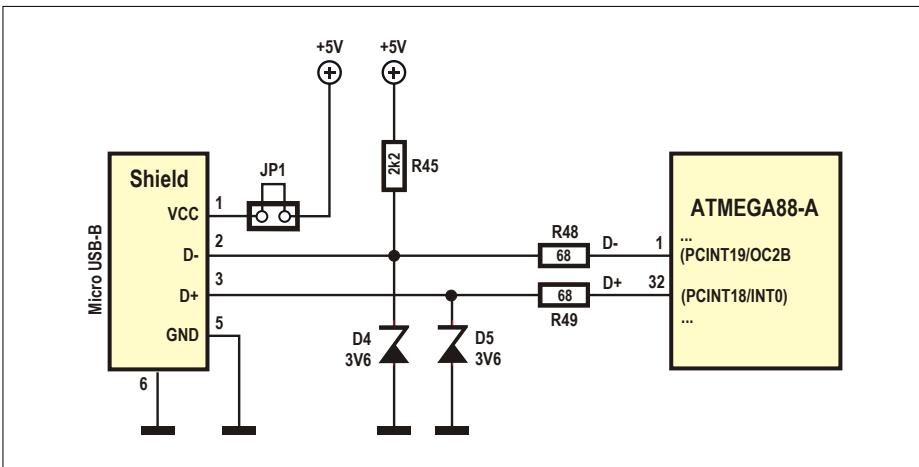
SPICE-simulaties van de dubbele MOSFET’s (en metingen aan het prototype) lieten zien dat bij de twee halve bruggen geen ‘dode tijd’ hoeft te worden ingesteld. Hierdoor wordt de aansturing van de gloeidraad tot één kloksignaal van 40 kHz gereduceerd, wat kostbare uitgangen van de microcontroller uitspaart. In het uitgewerkte schema (**figuur 6**) zijn naast de diverse boven genoemde drivers nog twee functiegroepen op de microcontroller aangesloten, namelijk de USB-interface en de IR-ontvanger voor de afstandsbediening.

USB minimalistisch

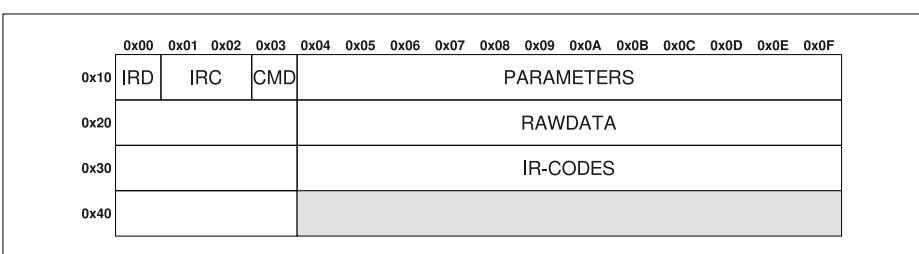
De Soft-USB-stack V-USB kan op elke AVR-microcontroller met minimaal 2 kB flash, 128 bytes RAM en 12 MHz klofrequentie worden gebruikt [4]. Als de microcontroller op 5 V draait, zijn er slechts vijf componenten nodig, zoals aangegeven gegeven in **figuur 7**. Dit maakt V-USB interessant voor allerlei toepassingen. Om de USB-timing zo nauwkeurig mogelijk aan te houden, hebben de ontwikkelaars geoptimaliseerde assemblerroutines voor zeven verschillende klofrequenties [5] ontwikkeld. Voor een zo compact mogelijke code wordt een 16MHz-kristaloscillator aanbevolen, en die hebben we hier dan ook gebruikt. We moeten er ook rekening mee houden dat V-USB interruptingang INT0 (met de hoogste prioriteit) nodig



Figuur 6. Compleet schema van de VFD-klok.



Figuur 7. Een USB-poort met maar vijf componenten.



Figuur 8. Communicatie met de microcontroller.

heeft en dat interrupts in de software niet mogen worden uitgeschakeld; anders kan de timing niet worden gehouden en kunnen communicatiefouten optreden. De communicatie met de microcontroller vindt plaats via HID-rapporten met een structuur zoals weergegeven in **figuur 8**. De IRD- en IRC-velden bevatten de laatst ontvangen IR-code en een

teller die het aantal succesvol ontvangen IR-codes bijhoudt. In het CMD-veld kan een opdracht worden doorgegeven waarmee de weergavemodus kan worden gewijzigd, IR-codes kunnen worden aangeleerd of de tijd kan worden ingesteld. Het PARAMETERS-veld bevat parameters voor de afzonderlijke commando's, RAWDATA 'ruwe' segmentgegevens (bijvoor-

beeld voor tekstuitvoer via de buis) en IR-CODES bevat codes van de afstandsbediening. De commando's worden in het kader verduidelijkt.

IR-afstandsbediening

Het project maakt gebruik van de IRMP-bibliotheek [6], die een groot aantal IR-afstandsbedieningen ondersteunt. In dit project is gebruik gemaakt van een IR-ontvanger voor afstandsbedieningen met een 38kHz-draaggolf frequentie. Voordat een afstandsbediening kan worden gebruikt, moeten de codes worden aangeleerd; daarvoor is een Python-programma in de GIT-repository [10] beschikbaar:

```
$ sudo python setir.py
found: 0x16c0 0x05df VFD Clock
      microengineer.eu
Please press IR for key SET
read ir-code: 0xa0
Please press IR for key 1
read ir-code: 0x00
...
Please press IR for key 9
read ir-code: 0x08
Please press IR for key 0
read ir-code: 0x09
...
```

De klok kan dan met het aangeleerde SET-commando in de instelmodus worden geschakeld waarna de correcte tijd met de cijferstoetsen kan worden ingesteld. De codes gaan bij stroomuitval niet verloren, omdat ze permanent in

Commando's

Het CMD-veld op adres 0x03 specificeert één van de drie opdrachten:

CMD	Beschrijving	Parameter (telkens 1 Byte)
0x01	tijd instellen	<hh> <mm> <ss>
0x02	weergavemodus omschakelen	<mode>
0x03	IR-codes instellen	<keyindex> <code>

0x01 tijd instellen

Het commando bestaat uit drie bytes – de waarden voor het uur (hh), de minuten (mm) en de seconden (ss).

0x02 weergavemodus omschakelen

Met dit commando kan het display worden omgeschakeld tussen tijdweergave en 'ruwe' segmentdata die naar het

RAWDATA-bereik worden verzonden. Elke byte in RAWDATA komt overeen met een positie op het VFD-display (van links naar rechts) en is binair gecodeerd. De letter 'A' is bijvoorbeeld opgebouwd uit de segmenten a, b, c, e, f, g, corresponderend met de waarde 119 of 0x77.

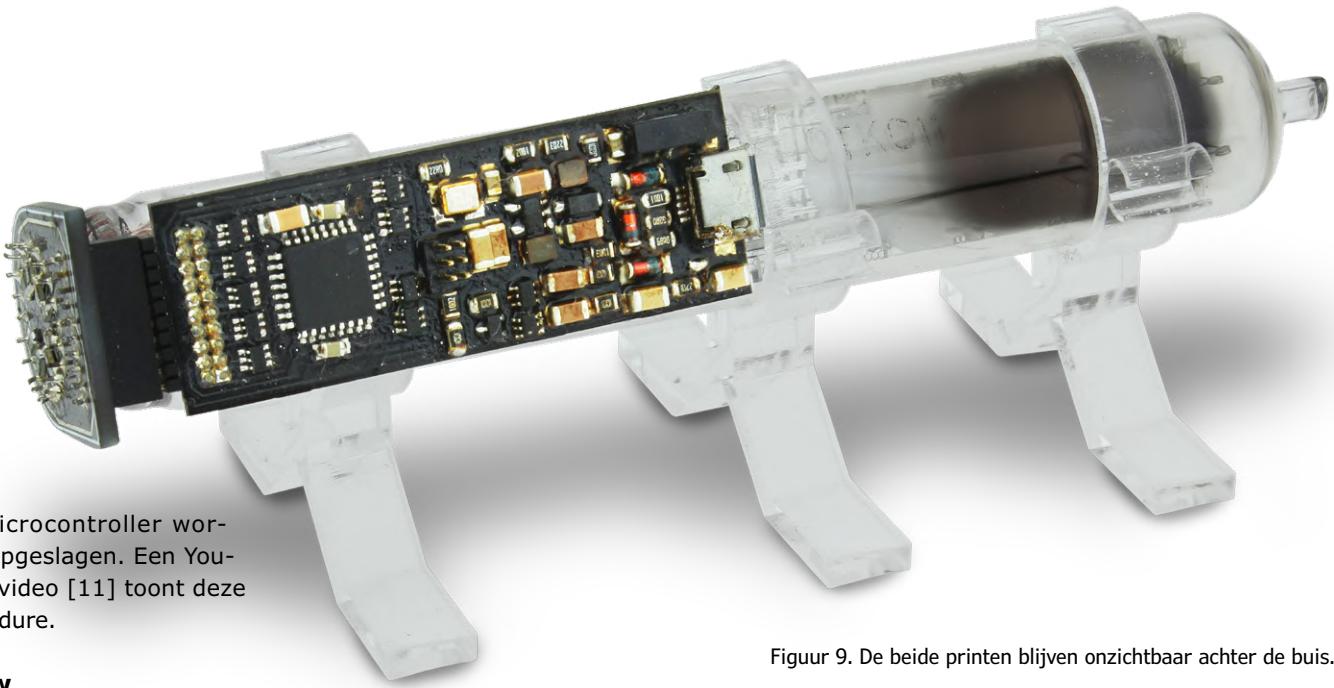
Met deze functie kan een soort lichtkrant worden geïmplementeerd. Een voorbeeldprogramma (geschreven in Python) staat in de GIT-repository van dit project.

0x03 IR-codes instellen

Met het commando 0x03 kunnen IR-codes van een afstandsbediening worden opgeslagen in het EEPROM van de microcontroller. Daarbij worden altijd de toets-index en de bijbehorende IR-code doorgegeven. De volgende indices worden ondersteund:

0x00: SET-toets

0x01...0x0a: toetsen '1' tot '9' en '0'.



de microcontroller worden opgeslagen. Een YouTube-video [11] toont deze procedure.

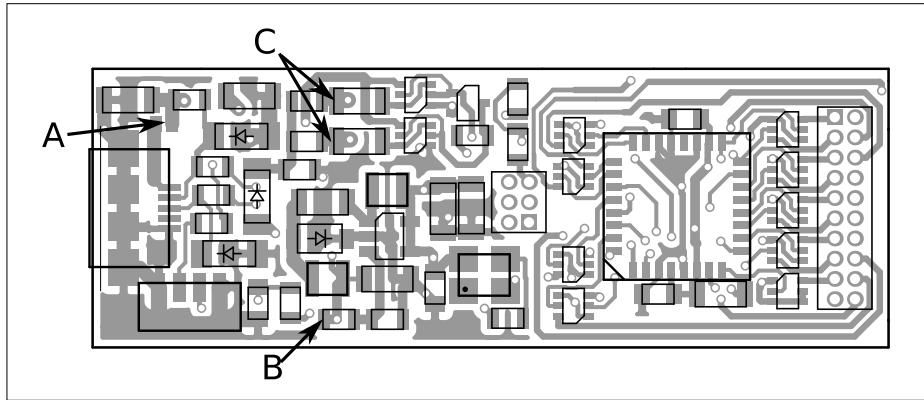
Bouw

Het project bestaat uit twee printen die haaks op elkaar zijn gemonteerd en op de buis zijn aangebracht (**figuur 9**). Eén print (**figuur 10**) bevat de stuur-elektronica, op de andere is alleen de VFD-buis gemonteerd. De stuurprint kan desnoods met de hand worden opgebouwd, bij gebruik van soldeerasta en een hetelucht-soldeerbout en als u een zeer vaste hand heeft om met een puntig pincet de SC70-transistoren vast te houden. Onder [10] vindt u onder de Gerber-bestanden ook een bestand voor een soldeerasta-stencil.

U moet voorzichtig zijn met de IR-sensor TSOP752 [7] omdat die gemakkelijk verkeerd om gemonteerd kan worden. Deze component kan op twee manieren worden gemonteerd; hier wordt hij horizontaal gemonteerd om IR-signalen loodrecht op de print te kunnen ontvangen. Voordat de buis op de dragerprint kan worden gemonteerd (**figuur 11**), moeten de acht weerstanden worden aangebracht. In de figuur is met een pijltje pen 7 aangegeven; deze kan gemakkelijk worden geïdentificeerd omdat dit de middelste is van drie aansluitingen die in de buis nergens op zijn aangesloten (zie ook [8]).

Als extraatje zijn er voetjes voor de buis ontworpen (**figuur 12**), die met een laser uit 8 mm dik acryl gesneden kunnen worden (DXF-bestand) of 3D-geprint worden (STL-bestand). De linker houder verschilt alleen van de rechter door een kleine klem voor de USB-kabel. In de houders kan de buis een paar graden omhoog of omlaag worden gekanteld om hem perfect aan te passen aan de kijkhoek. De correct gemonteerde besturingselektronica is achter de buis volledig

Figuur 9. De beide printen blijven onzichtbaar achter de buis.



Figuur 10. De stuurprint.

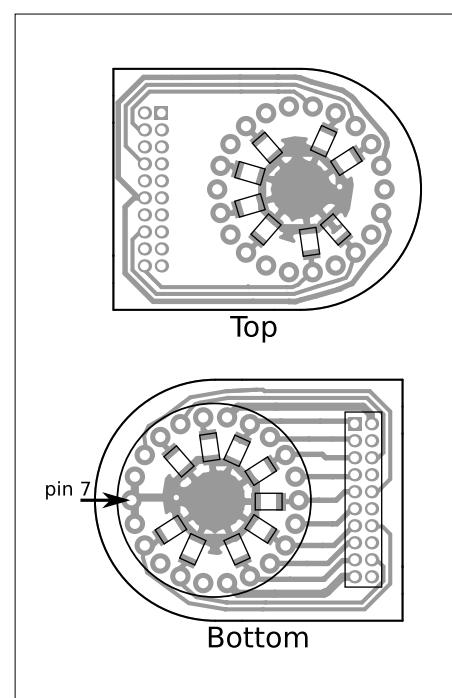
onzichtbaar en maakt een unieke minimalistische uitstraling mogelijk.

Inbedrijfstellen

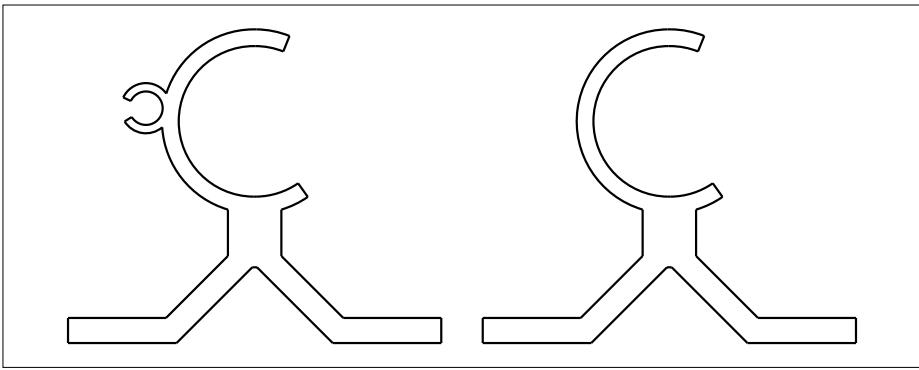
Na het volbouwen van de printen moet eerst een soldeerjumper worden aangebracht (A in figuur 10). Voor de volgende metingen mag de dragerprint met de buis nog niet worden aangebracht, aangezien de gloeidraad bij een fout anders kan worden vernield.

Nadat de print via USB gevoed wordt, moet de uitgangsspanning van de spanningssomvormer voor de anodesspanning op punt B ongeveer -30 V bedragen.

Na het flashen van de microcontroller moet (als het goed is) tussen de beide punten C een wisselspanning met een



Figuur 11. De dragerprint.



Afbeelding 12. Buishouders.

effectieve waarde van ongeveer 3,5 V worden gemeten waarmee de gloeidraad van de buis wordt gevoed.

Als alle spanningen met goed gevolg zijn getest, kan de dragerprint onder een hoek van 90° op de besturingsprintplaat worden gemonteerd. De 'kale' zijde van de print moet naar de buis wijzen.

Software

Als besturingssysteem wordt Linux aanbevolen. Om desoftware over te brengen naar de controller, zijn er enkele pakketten nodig voor het compileren en flashen (bijvoorbeeld voor Ubuntu). Ze kunnen met

```
sudo apt-get install gcc-avr
make avr-libc avrdude
```

gemakkelijk worden geïnstalleerd.

De software uit de repository kan dan worden gecompileerd naar de ATmega88 geflasht met

```
git clone https://gitlab.com/
vfd-clock/avr
cd avr
make hex
```

`make fuses`

`make flash`

Het makefile is zo geconfigureerd dat een USBASP-V2 programmeerafdapter te gebruiken die grappig genoeg zelf V-USB zelf gebruikt :-)

De programmeerconnector op de stuurprint is weliswaar 6-polig en conform de standaard, maar om plaatsredenen is het raster van 2,54 mm verkleind tot 1,27 mm. Een ontwerp van een adapterprintje staat ook in de repository.

Linux

Er staan enkele voorbeeldprogram-

ma's in de repository hoe de VFD-klok via Python benaderd kan worden. Maar dan moet eerst het pakket *pyusb* worden geïnstalleerd:

```
sudo apt-get install
python-setuptools
easy_install pyusb
```

Daarna zou het bekende 'Hello Elektor'-voorbeeldprogramma moeten functioneren:

```
sudo python scroll.py "hello
elektor"
```

Een voorbeeldvideo met het complete alfabet is te zien op [9].

Windows

De Python-scripts werken ook met Windows (getest onder Windows 10 en op een virtuele Windows 7-machine). De installatie-instructies voor de Windows-versie zijn echter iets uitgebreider, daarom wordt hier alleen naar de documentatie in de repository van dit project [10] verwezen. ▶

(170510-04)



IN DE STORE

→ VFD-klok met ESP32 DevKit-C (art. 18455)

www.elektor.nl/18455

(Opmerking: dit is niet de in het artikel beschreven VFD-buisklok, maar een alternatief project dat door Elektor Labs is getest).

→ VFD-shield voor Arduino (art. 17244)

www.elektor.nl/17244

→ Acrylglas behuizing voor het Arduino VFD-shield (art. 17385)

www.elektor.nl/17385

Weblinks

- [1] Russische bureurekenmachine: www.leningrad.su/museum/show_calc.php?n=182
- [2] Vacuüm-fluorescentiedisplay IV-18: www.jogis-roehrenbude.de/Roehren-Geschichtliches/Nixie/IW18/IW18.pdf
- [3] VFD-aansturing: www.noritake-elec.com/technology/general-technical-information/vfd-operation
- [4] V_USB: www.obdev.at/products/vusb/index.html
- [5] Firmware-USB voor AVR: <http://vusb.wikidot.com/hardware>
- [6] IRMP: www.mikrocontroller.net/articles/IRMP
- [7] Datasheet IR-ontvanger: www.vishay.com/docs/82494/tsop752.pdf
- [8] Verkorte specificaties IW-18: www.jogis-roehrenbude.de/Roehren-Geschichtliches/Nixie/IW18/IW18.pdf
- [9] Video lichtkrant: www.youtube.com/watch?v=fJh3KZqygx4
- [10] Project-repository: <https://gitlab.com/microengineer18/vfd-clock>
- [11] Video tijdinstelling: www.youtube.com/watch?v=s-MpQ9E_qpg

Een WiFi-schakelaar voor 3 dollar – die het ook doet

creatief gebruik van de ESP8266

Bera Somnath (India)

Puur uit nieuwsgierigheid bestelde ik bij aliexpress.com een klein ESP8266-reaisprintje, voor bijna niets – in zalige onwetendheid van de moeite die het zou kosten om het ding te laten doen waarvoor het verkocht werd. Veni, vidi en (uiteindelijk) vici – dit is mijn verhaal.

Het kleine dingetje dat in **figuur 1** is afgebeeld, zou volgens de verkoper(s) voorzien moeten zijn van een ingebouwd schakelprogramma, dus ik hoefde alleen maar “een of andere Android-smartphone te gebruiken om het te bedienen”. Helaas – ik heb verschillende Chinees- en Engelstalige Android-apps uitgeprobeerd, maar het ding deed het voor geen meter... Oké, het apparaatje krijgt verbinding met de WiFi van mijn PC of laptop als server en met het dynamische IP-adres lukt het ook nog – maar daarna gebeurt er niets meer. Een serverpagina is in geen velden of wegen te bekennen. Compleet gefrustreerd besloot ik dan maar mijn eigen programma te ontwikkelen en in het stomme ding te laden!

Het begin

Ik heb de schakelaar opnieuw geprogrammeerd om verbinding te maken met mijn WiFi-router met een vast IP-adres en een vaste poort, zoals hier: 192.168.1.99 en poort 8083. Eenmaal aangesloten gedroeg het bord zich als een webserver op <http://192.168.1.99:8083> en de ‘switch’ was zichtbaar in de browser. Het indrukken van de aan- of uit-knop zorgde ervoor dat die het corresponderende gedrag vertoonde. Voor de eenvoud heb ik een refresh-teller en een relais-statusindicatie toegevoegd om de stand van het relais (dat wil zeggen aan of uit) te kunnen zien.

Plan van aanpak

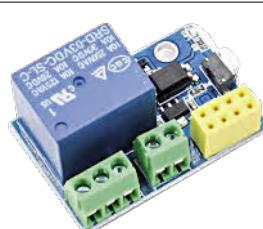
Daarna heb ik in mijn DSL-router ‘port forwarding’ van de 8083-poort ingesteld naar de 8083-poort van de “192.168.1.99”-computer (dus het reaisprintje) dat erop wordt aangesloten. Zodra u het externe IP-adres van uw router kent, kunt u er zo ongeveer van de andere kant van het universum verbinding mee maken – zo simpel! Maar de vraag is, hoe komt u het externe



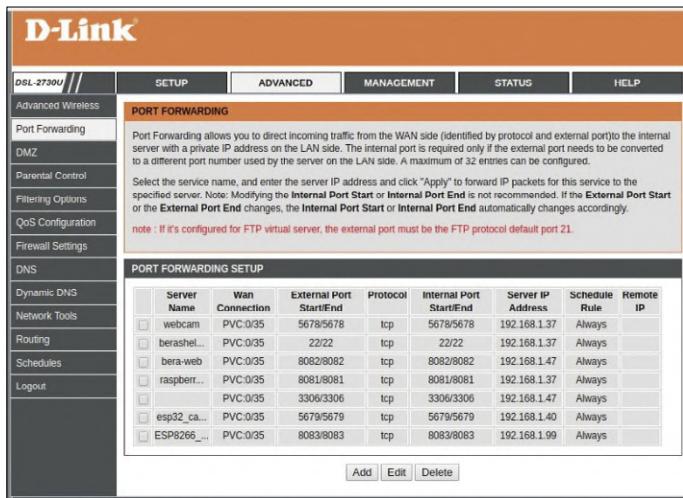
IP-adres van uw router te weten? Da’s niet moeilijk: u vraagt uw zoon, dochter of uw echtgenote om de configuratiepagina van de router te openen, naar het tabblad Status te gaan en het IP-adres van de router te lokaliseren – bij de meeste DSL-routermodems gaat dat zo. Wanneer uw laptop, desktop of mobiele telefoon worden verbonden met uw WiFi-netwerk, krijgen die een IP-adres dat als identiteitsbewijs voor dat apparaat in het WiFi-netwerk geldt. Ook uw DSL-router krijgt een IP-adres wanneer hij verbinding maakt met het internet, en dat is het adres waarom het hier gaat.

Maar in Bera’s wondere wereld der elektronica is er geen gebrek aan problemen! Het externe IP-adres van een router verandert vaak – tot 10 keer per keer per keer is niet ongewoon. Dus eigenlijk hebt u een huisknecht nodig die de modem permanent in de gaten houdt en u 10 keer of vaker per dag dat IP-adres toeropt – zou het niet mooi zijn als u uw kat of hond dat kunstje kon leren...

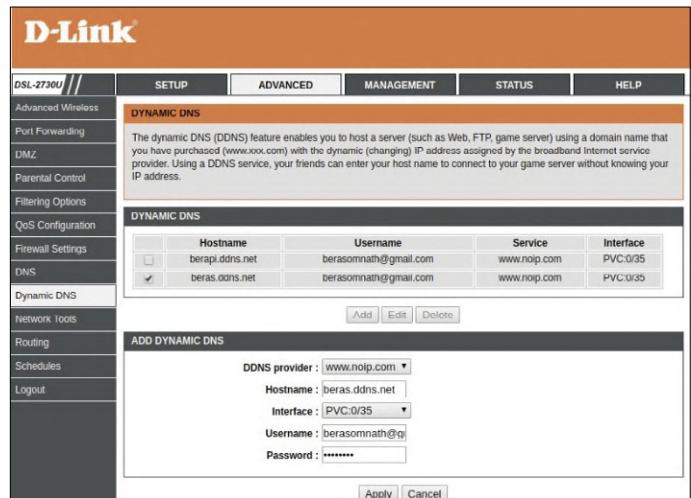
Maar waar een probleem is, is ook een oplossing – tenminste in de wereld van de elektronica. Als u een probleem kunt formuleren en dan kunt vereenvoudigen, bent u al een eind op weg naar de oplossing. Gelukkig hebben de meeste stan-



Figuur 1. WiFi-reaisprintje van aliexpress. Hardware: oké; kosten: oké; software: nukommaniks.



Figuur 2a. Port forwarding bij de D-Link modem.

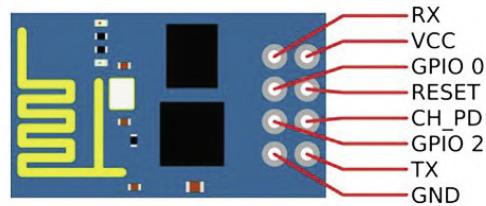


Figuur 2b. Dynamische DNS-sen bij de D-Link modem.

daard-DSL-modems een ingebouwde DDNS (Dynamic DNS) tracking-mogelijkheid. U geeft gewoon de naam van de DNS host-server op, de DNS-naam en alle andere autorisatiegegevens, en de modem zal de wijzigingen van het externe adres zelf bijhouden. U moet alleen maar de DNS-naam die u hebt geregistreerd bij de site van de DNS host-server uit uw geheugen opgraven en de forwarding-poort in de modem – in mijn geval is dat berapi.ddns.net:8083 van noip.com. In **figuur 2a** en **figuur 2b** ziet u mijn instellingen.

Architectuur

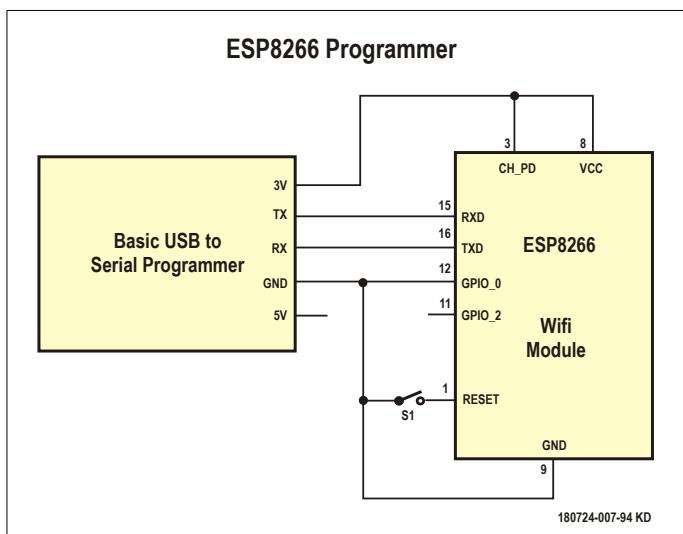
Bij de basisuitvoering van de ESP8266 – ook wel ESP-01 genoemd – steken er 8 pinnen uit de print (**figuur 3**). Maar als u goed kijkt, ziet u dat de chip in totaal 32 pinnen heeft. Oftewel: omwille van de eenvoud worden de andere pinnen op dit printje door de fabrikant niet gebruikt. Het 5V-relais is via een schakeltransistor verbonden met de GPIO0-pin. Wanneer GPIO0 laag wordt, wordt het relais geactiveerd; en het relais wordt natuurlijk uitgeschakeld wanneer de GPIO0 hoog wordt. Op de print is een gewone 3,3V-regelaar gemonteerd die volkomen tevreden is met 7...9 VDC op zijn VCC-aansluiting.



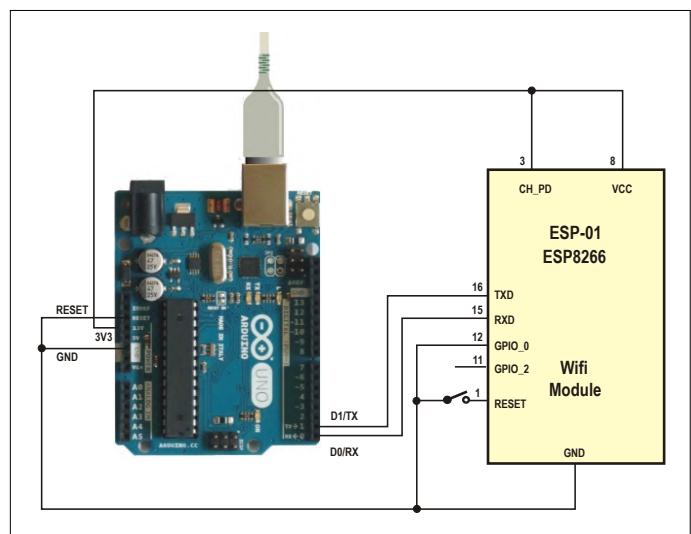
Figuur 3. De basisuitvoering van de ESP8266 (ESP-01) heeft 8 aansluitingen die via headerpinnen toegankelijk zijn.

Programmer

Dit is eigenlijk het eenvoudigste deel van het project. U hebt alleen een programmer nodig om dit wonderertje te programmeren! De programmer doet niets anders dan de Arduino-sketch via de USB-poort van de computer naar de ‘hersenen’ in de ESP8266-chip over te brengen. Het CP2102-board van FTDI is bij aliexpress voor iets meer dan een dollar verkrijgbaar. Als u een functionerend Arduino UNO-board bij de hand hebt, kunt u daarmee ook de sketch naar het mirakel te uploaden. De aan-



Figuur 4. Laden van de sketch met behulp van de FTDI USB/serieel-omzetter.



Figuur 5. Alternatief voor figuur 4: het kan ook met een Arduino UNO-board.

sluitingen voor beide types zijn weergegeven in **figuur 4** en **figuur 5**. Wanneer u de reset-pin van de Arduino aan massa legt, fungeert de Arduino UNO in de praktijk als een USB/seriele-converter zoals de FTDI CP2120!

In beide gevallen hebben we voorzien in een Push-to-On schakelaar, die ongeveer 10 seconden ingedrukt moet worden gehouden tijdens het uploaden van de sketch. Laat na die 10 seconden de knop weer los; de sketch is dan na ongeveer 60 seconden geladen. Alle LED's op het FTDI-printje knipperen dat het een lieve lust is terwijl de sketch wordt geladen.

Uitvoer van het programma

De programmasketch is als gratis download beschikbaar via de projectpagina bij dit artikel [1]. Vervang het WiFi-ID en het wachtwoord door uw WiFi-ID en wachtwoord en upload de schets door in de Arduino IDE op de gelijknamige knop te drukken (ga naar Sketch Upload).

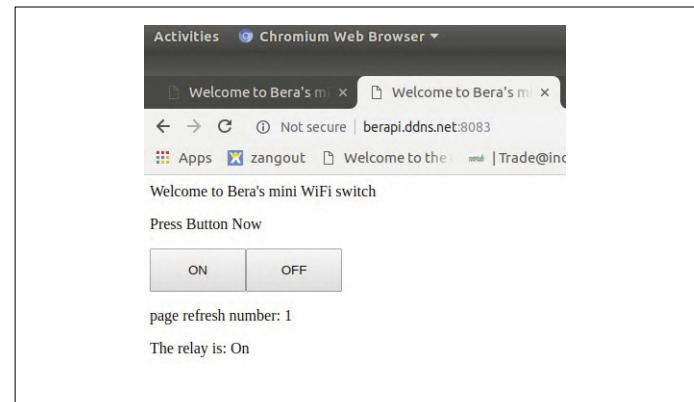
Figuur 6 toont de uitvoer van ons mirakeltje nadat de sketch was geladen en DDNS en port forwarding goed liepen. Door deze in een willekeurig browservenster op een Android- of Apple-smartphone waar ook ter wereld in te voeren, zal het relais het indrukken trouw volgen.

Onderdelenlijst en prijzen

Prijzen van aliexpress.com zoals die op het moment van schrijven golden.

- FTDI USB/serieel-converter CD2120: \$1,02 (optioneel)
- WiFi ESP8266-relais: \$1,85

Totale kosten nog geen \$3,00 (exclusief 5V-voeding)



Figuur 6. De mini-relaisschakelaar van de auteur in actie op een eigen webserver.

Nawoord

Het enige wat nu nog moet gebeuren is de verbinding te beveiligen, anders kan iedereen die de URL van de switch kent het relais bedienen, met alle gevolgen van dien. Ik vermoed dat u daar meteen mee aan de slag gaat – ik wens u veel succes! ▶

(180724-04)

Weblink

- [1] Projectpagina bij dit artikel:
www.elektormagazine.nl/180724-04

Deel je ideeën en elektronische projecten – eender welke moeilijkheidsgraad – op www.elektor-labs.com en wordt beroemd!

Elektor Labs: www.elektor-labs.com
Design, Build, Share... Electronics!

Het SCCC-project (5)

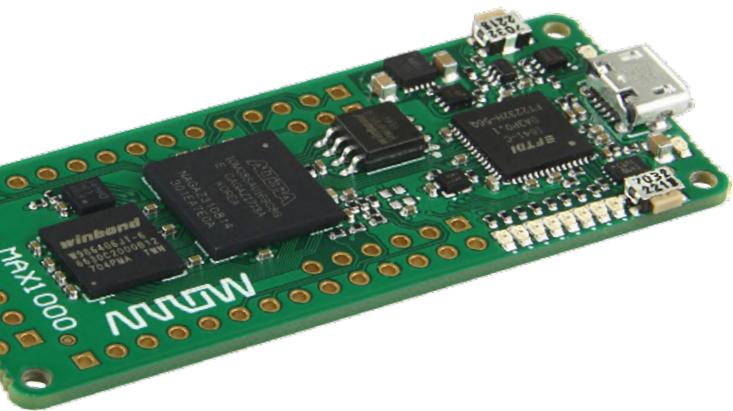
softcore-processor en C-compiler voor zelfbouw

Martin Oßmann (Duitsland), Mathias Claußen (Elektor Labs)

In dit laatste deel van onze serie maken we (bijna) volledig gebruik van de FPGA: we gaan op 147,3 kHz weerberichten ontvangen, die aansluitend worden gedecodeerd en weergegeven op een VGA-monitor. Zoals altijd is onze DIY-CPU in de FPGA het hart van het experiment!

Met experiment 8 willen we laten zien wat u zoal kunt realiseren met een MAX10. De zender DDH47 verzendt weerberichten op 147,3 kHz met *Frequency Shift Keying* (FSK). In experiment 8 gaat het erom deze gegevens te ontvangen en op een VGA-monitor weer te geven. Het antennesignaal wordt aangesloten op *Analog In* (**figuur 1**), waarbij jumper JP1 moet worden verwijderd.

Figuur 2 toont het blokschema van onze ontvanger. De gele blokken komen voor rekening van de FPGA, voor de groene blokken is onze CPU verantwoordelijk. De ontvanger heeft de klassieke architectuur van een SDR. Het ingangssignaal wordt gemengd met het signaal van een lokale oscillator LO, en wel de infase-component I en de kwadratuur-component Q. Een laagdoorlaatfilter onderdrukt de signalen van



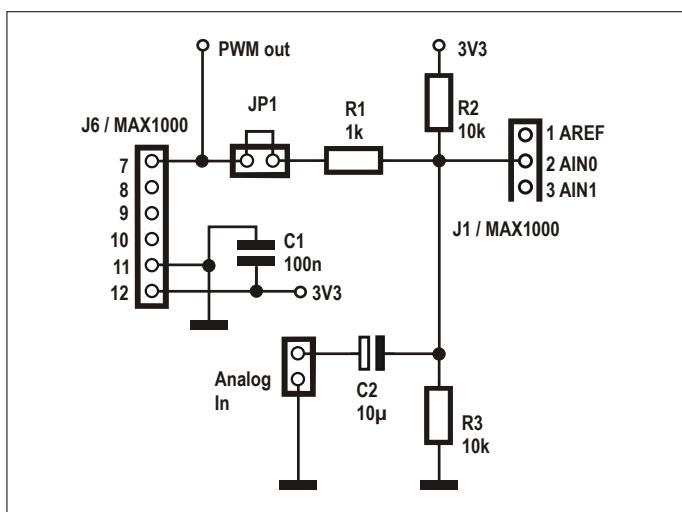
andere zenders. Hier worden CIC-filters gebruikt, die geen vermenigvuldiger nodig hebben. Uit het infase-signaal I en het kwadratuur-signaal Q worden met een Cordic-component amplitude en fase van het ontvangen signaal berekend. Aan de uitgang van een volgend laagdoorlaatfilter hebben we dan een schoon fasesignaal. Door het verschil van opeenvolgende waarden te bepalen, wordt daaruit de momentane frequentie bepaald, zodat we een gedemoduleerd signaal krijgen. Op dat moment neemt de CPU het roer over. Deze bemonsterst het frequentiesignaal met 500 samples/s en geeft deze door aan een 5-bit software-UART. De karakters worden vervolgens omgezet van Baudot naar ASCII en doorgegeven aan de VGA-driver.

Voor het genereren van het VGA-signalen neemt de FPGA vervolgens het heft weer in handen. Het VGA-scherm wordt aangesloten zoals geschetst in **figuur 3**.

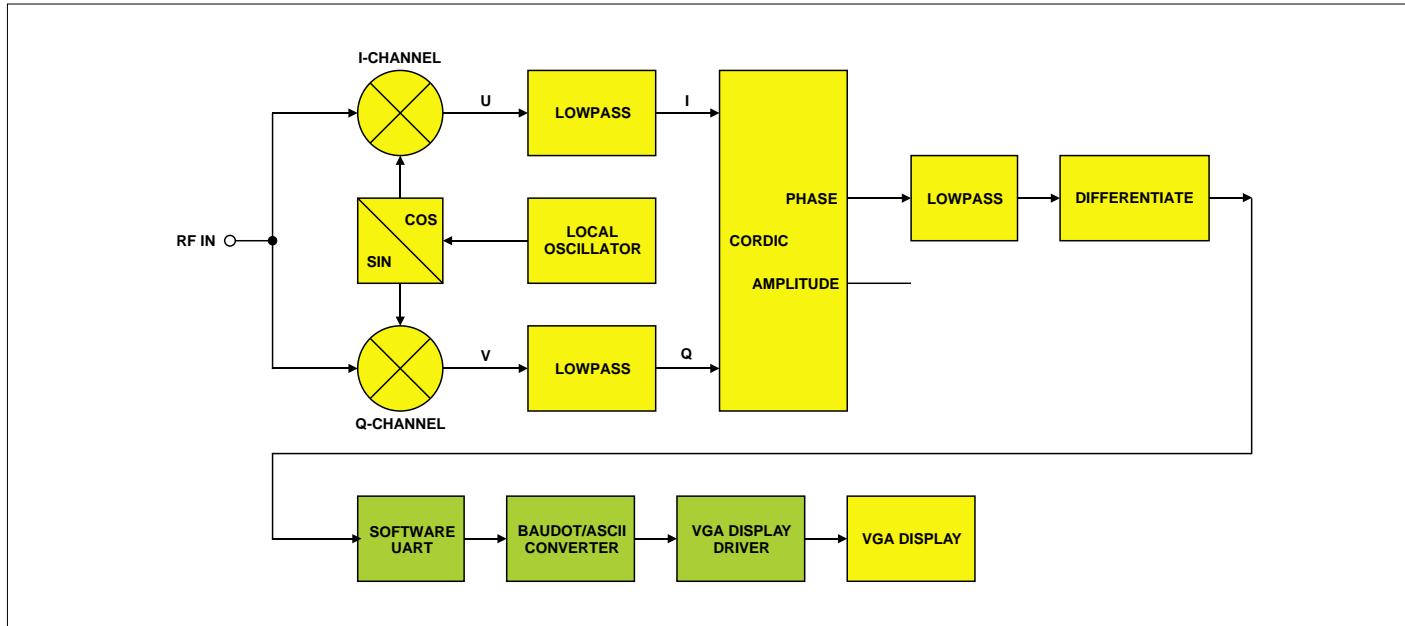
U synthetiseert *experiment8.qpf* zoals gebruikelijk met Quartus en compileert vervolgens *experiment8.c*; dan wordt de code via Processing geladen. Als antenne gebruikte de auteur een MiniWhip, waarmee een perfecte ontvangst mogelijk was. Tijdens de debugging-fase van dit project werden de twee DAC-uitgangen vaak gebruikt om de signalen in de FPGA 'live' te bekijken (**figuur 4**). In de huidige versie wordt de fase weergegeven op kanaal 2 en de frequentie op kanaal 1. U kunt de typische RTTY-golfvorm zien op kanaal 1. De fase zelf stijgt of daalt binnen een bit in een tempo dat evenredig is met de frequentie. De fase lijkt te verspringen omdat die niet meerduidig wordt weergegeven.

VGA-uitvoer

De VGA-functionaliteit is als volgt geïmplementeerd: een prescaler maakt van de 50-MHz FPGA-klok een 25-MHz VGA-klok-



Figuur 1. Uitvoer van de signalen.



Figuur 2. Blokschema van de SDR-ontvanger.

signaal. Eigenlijk zou dat 25,175 MHz moeten zijn, maar die kleine afwijking is onbelangrijk. Met de 25-MHz-klok wordt de teller `Htimer` geklokt. Deze heeft een periode van `h_period`; we kunnen deze parameter later instellen in onze CPU. Normaliter is `h_period` ingesteld op 799. De herhalingsfrequentie van deze teller is dan 31.250 Hz, wat de horizontale frequentie van het VGA-singaal is.

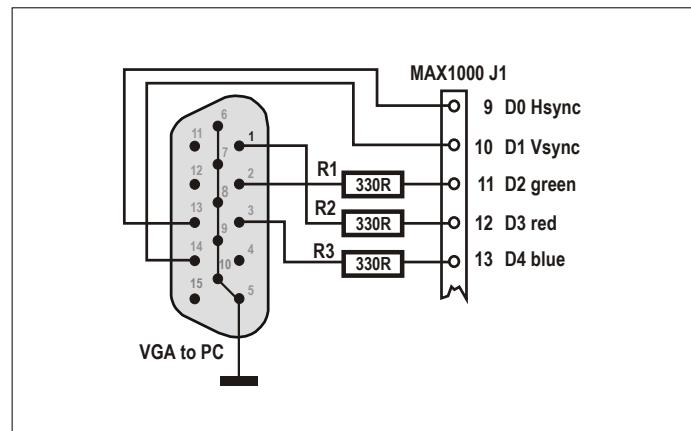
Hiermee wordt de teller `Vtimer` geklokt, waarvan de periode `v_periode` bedraagt. De waarde van `v_periode` stellen we weer in met de CPU, en wel op 524. De verticale frequentie bedraagt zodoende $31.250 \text{ Hz} / 524 = 59.523 \text{ Hz}$.

De onderstaande Verilog-code toont hoe de synchronisatie-signalen `h_sync` en `v_sync` worden gegenereerd. Het signaal `h_sync` loopt van `h_sync1` tot `h_sync2` van de `Htimer`. Het signaal `v_sync` loopt van `v_sync1` tot `v_sync2` van de `Vtimer`.

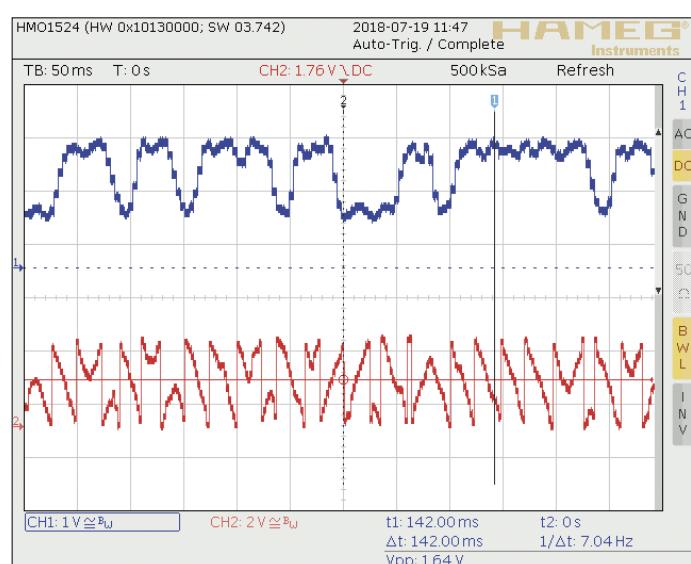
Het signaal `Valid` is 1 als het huidige punt zich in het zichtbare bereik bevindt. Het zichtbare bereik loopt horizontaal van `h_valid1` tot `h_valid2` en verticaal van `v_valid1` tot `v_valid2`. Deze parameters bepalen waar het zichtbare gebied zich op het scherm bevindt.

```
always @(posedge clock)
begin
    vga_h_sync  <= ~((Htimer[10-1:0] >= h_sync1) &&
                      (Htimer[10-1:0] <= h_sync2));
    vga_v_sync  <= ~((Vtimer[9:0] >= v_sync1) &&
                      (Vtimer[9:0] <= v_sync2));
    Valid       <= ( (Htimer >= h_valid1) && (Htimer
                      <= h_valid2) && (Vtimer >= v_valid1) && (Vtimer
                      <= v_valid2) );
end
```

De samenhang in de tijd is schematisch weergegeven in **figuur 5**. De parameters worden als volgt ingesteld:



Afbeelding 3. Aansluiting van het VGA-beeldscherm.



Figuur 4. Fase en frequentie van het RTTY-singaal.

```

vgaSet_h_sync1(640) ;
vgaSet_h_sync2(736) ;

vgaSet_h_valid1(4) ;
vgaSet_h_valid2(625) ;
vgaSet_h_period(800) ;

vgaSet_v_sync1(484) ;
vgaSet_v_sync2(485) ;
vgaSet_v_valid1(0) ;
vgaSet_v_valid2(522) ;
vgaSet_v_period(524) ;

//-----

```

De karaktergenerator `cgRom` wordt uit een externe tabel ingelezen.

```
// character generator rom:
```

```

localparam cgRomPatternWidth = 12 ;
localparam CGromAdrWidth = 11 ;
reg [ cgRomPatternWidth-1: 0] cgRom
[0:(1<<CGromAdrWidth)-1] ;

initial begin
// Very important: set device option to: Single
    Uncompressed Image with Memory Initialization
    $readmemh("CGrom128x12x16x1v01.txt",cgRom) ;
end

```

De weer te geven tekens worden onder de naam `vRam` in RAM opgeslagen. De toegang vindt als volgt plaats:

```

always @ (posedge clock) begin
vRamReadData <= vRam[vRamWriteAddr] ;
if(vRamWriteEnable) begin
    vRam[vRamWriteAddr] <= vRamWriteData ;
end
end

```

Met onze CPU implementeren we dan een eenvoudige terminal-uitvoer:

```

int vgaXpos,vgaYpos ;

moveUp(){
    int x,y,c ;
    for(y=1 ; y<28 ; y++){ // move up 27 rows
        for(x=0 ; x<51 ; x++){ // 51 chars per line
            c=vgaXYread(x,y+1) ;
            vgaXYwrite(x,y,c) ;
        }
    }
}

vgaCrlf(){
    int x ;
    vgaXpos=0 ;
    vgaYpos++ ;
    if(vgaYpos>28) {

```

```

        moveUp() ;
        for(x=0 ; x<39+12 ; x++) { vgaXYwrite(x,28,'
') ; }
        vgaYpos=28 ;
    }
}

vgaPutChar(int c){
    if(c==13){ vgaCrlf() ; return ; }
    if(c==10){ vgaXpos=0 ; return ; }
    vgaXYwrite(vgaXpos,vgaYpos,c) ;
    vgaXpos++ ;
    if(vgaXpos>39+12) { vgaCrlf() ; }
}

```

Voor onze DDH47-applicatie moet het ontvangen gedemoduleerde signaal via een software-UART worden omgezet in Baudot-code. Dat bereiken we met de volgende CPU-code:

```

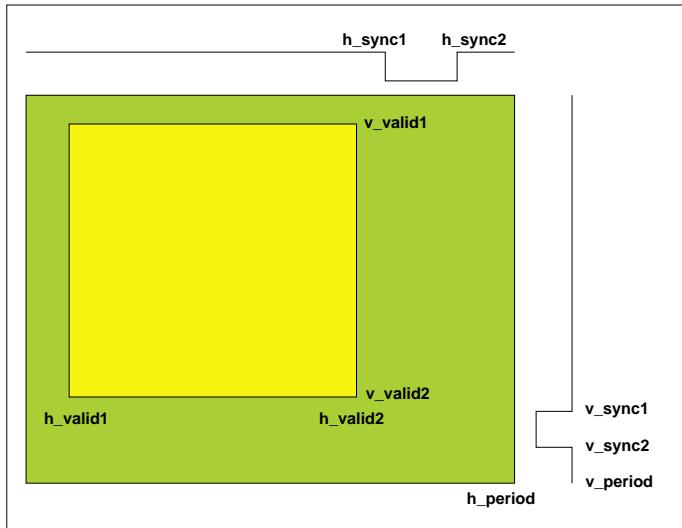
#define uartFullTime 10
#define uartHalfTime 6

checkForStartBit(int input){
    if ( input != 0) {
        uartTimer=uartHalfTime ;
        uartBitCount=0 ;
        uartShiftReg=0 ;
    }
}

uartSample(int input){
    if (uartTimer==0) {
        checkForStartBit(input) ;
    }
    else {
        uartTimer++ ;
    }

    if (uartTimer>uartFullTime) {
        // a full bit time has elapsed again
        uartTimer = uartTimer-uartFullTime ;
        // shift input into shiftregister
        if ( input == 0) {
            uartShiftReg=uartShiftReg+(1 <<
uartBitCount) ;
        }
        // count bits
        uartBitCount++ ;
        if (uartBitCount==6) {
            // we have enough bits
            uartShiftReg=uartShiftReg >>1 ;
            // eliminate start-bit
            BaudotPrint(uartShiftReg) ;
        }
        if (uartBitCount>6) {
            // too many bits, restart
            uartBitCount=0 ;
            uartTimer=0 ;
        }
    }
}

```



Figuur 5. Samenhang van het VGA-signalen in de tijd.

De omzetting van Baudot-code naar ASCII vindt dan als volgt plaats:

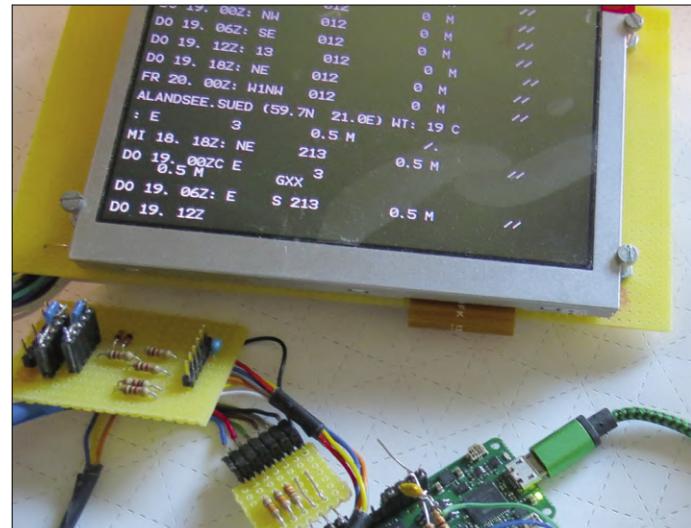
```
BaudotPrint(int baudotChar){
    int AsciiChar ;
    AsciiChar= Btable[baudotChar+(baudotShift<<5) ] ;

    if ( AsciiChar==131 ) {
        baudotShift=0 ;
        AsciiChar=0 ;
    }
    else if ( AsciiChar==130 ) {
        baudotShift=1 ;
        AsciiChar=0 ;
    }
    if (AsciiChar!=0) {
        // display only printable characters
        putChar(AsciiChar) ;
        vgaPutChar(AsciiChar) ;
    }
}
```

Dit ontwerp maakt gebruik van 70% van de logische elementen en 80% van het RAM-geheugen van de FPGA (**figuur 6**). U ziet dat er nog wat ‘lucht’ over is, maar de FPGA wordt bijna volledig benut. Met een snellere externe ADC kan het SDR-concept natuurlijk ook met hogere frequenties worden gerealiseerd.

Experiment 8b: VGA met priemgetallen

Omdat niet iedereen geïnteresseerd zal zijn in het ontvangen van DDH47, is in de download [2] een mini-experiment opgenomen waarin de CPU priemgetallen berekent; de uitvoer vindt weer per VGA plaats. De auteur heeft nog enkele demo-



Figuur 6. Weergave van de weergegevens.

projecten aan de download toegevoegd, die als inspiratiebron kunnen dienen:

- demo1* Voorbeeld voor het gebruik van de RTC- en RXrdy-interrupts.
- demo2* Een LC-display aansluiten op de MAX1000.
- demo3* Meten van de timing van instructies met behulp van de RTC.
- demo4* Weergave van de stackdiepte tijdens recursieve berekeningen.
- demo5* Testfragment voor de compiler en de CPU.
- demo6* Voorbeelden die laten zien hoe de compiler vertaalt.
- demo7* Demonstratie van de uitvoeropties van de compiler.

Dit brengt ons tot het einde van het SCCC-project. Nu is de beurt aan u, beste lezer. Rust uw eigen FPGA-projecten uit met een CPU, en breid die CPU uit met extra periferie! En wie durft, kan zelfs de compiler uitbreiden... ◀

(180394-E-03)

IN DE STORE

- MAX1000 FPGA-ontwikkelkaart
www.elektor.nl/max1000
- E-boek (Engelstalig):
“Microprocessor Design Using Verilog HDL”
www.elektor.nl/verilog

Weblinks

- [1] Het SCCC-project (1), Elektorlabs maart/april 2019: www.elektrormagazine.nl/180394-03
- [2] Projectpagina bij dit artikel: www.elektrormagazine.nl/180394-E-03

Conceptontvanger voor 1...30 MHz

AM/SSB/CW met plug-in resonatoren, filters of kristallen

Kostas Giannopoulos, SV3ORA

Een ‘conceptschakeling’ is niet gebruikelijk bij zelfbouwers. De meesten van hen bouwen ‘klassieke’ schakelingen die aan hun behoeften voldoen, zonder verdere experimenten. Af en toe komt er iemand met een ongebruikelijk idee dat de moeite waard is om uit te proberen. Als dat idee werkt, zal het deel gaan uitmaken van toekomstige zelfbouwprojecten. De in dit artikel gepresenteerde radio-ontvanger is zo’n conceptschakeling. Hiermee is single signal-ontvangst (USB) mogelijk in de HF banden zonder de complexiteit die doorgaans met dit soort schakelingen wordt geassocieerd. Zeker, een moderne ontvanger zou gebruik maken van een directe-conversie fasevergrendelde front-end-topologie (zoals bij SDR), maar het kost veel tijd en moeite om zoiets tot een goed eind te brengen. Het alternatief dat hier wordt gepresenteerd, kan voor weinig geld worden gebouwd – eventueel zelfs met onderdelen die u nog hebt rondslingerend. Maar dat doet niets af aan de prestaties.

Het reflex/regeneratieve front-end van de ontvanger is de eenvoud zelve maar levert desondanks opmerkelijke prestaties – beter dan andere eenvoudige HF-ontvangers die ik tot nu toe heb gebouwd. De uiterst gevoelige enkelkanaal HF-ontvanger kan zonder veel problemen in elkaar worden gezet. Hij kan elke frequentie binnen de HF-band (1...30 MHz) ontvangen – daarvoor hoeft u slechts een resonator voor de gewenste frequentie in te prikken. Behalve die resonator zelf hoeven er geen andere componenten te worden vervangen of gewijzigd. De **kopfoto** toont de ontvanger samen met een opbergdoosje voor de diverse resonatoren.

De ontvanger werkt met kristallen, keramische resonatoren (met twee pootjes) of keramische filters (met drie pootjes). De oscillator doet het ook met LC-combinaties (in plaats van het kristal), maar dit is nog niet geoptimaliseerd. Als er keramische filters worden gebruikt, kan de middenaansluiting daarvan aan massa

worden gelegd of niet worden aangesloten. Merk op dat met kristallen enkelkanaal-ontvangst (dat wil zeggen ontvangst bij één enkele frequentie (ook: *single-channel or spot frequency*) mogelijk is op alle banden, maar afhankelijk van de eigenschappen van het kristal is de gevoeligheid lager dan bij gebruik van keramische resonatoren. Enkelkanaal-ontvangst met behulp van keramische resonatoren is met goed gevolg uitgeprobeerd tot ongeveer de 17-m-band. Met kristallen werkt de ontvanger prima tot de 10-m-band. Opgelet: sommige keramische resonatoren weigeren domweg te oscilleren maar bij de meeste gaat het goed, dus wees niet teleurgesteld als de ontvanger het niet meteen doet – probeer gewoon een andere en kijk of die het wel doet. Met kwartskristallen doet zich dat probleem niet voor; maar als u de resulterende gevoeligheid dan aan de lage kant vindt, kunt u proberen de vaste weerstand van 10 k aan de source van de JFET te verkleinen.



Het front-end van de ontvanger

Om een schakeling te verzinnen met zo weinig componenten die desondanks goed presteert, moet men van begin tot eind buiten de ‘gebaande paden’ treden. **Figuur 1** toont het resultaat. Beide trappen van de ontvanger worden op meer dan één manier gebruikt. De 2SC9018-transistor fungeert als een niet-afgestemde breedbandige HF-voorversterker met versterkingsregeling, en tegelijk als audio-voorversterker. De J108-FET is hier een zelfoscillerende regeneratieve detector.

HF-signalen gaan van de antenne naar de HF-voorversterker rond de 2SC9018, waar ze worden versterkt en doorgegeven aan de beide condensatoren van 4,7 pF en 100 nF. Het kleine gedeelte van het HF-signaal dat de 4,7pF-condensator passeert, doorloopt het kristal naar de zelfoscillerende regeneratieve detector J108. Een kleine capaciteit (zoals 4,7 pF) heeft weinig invloed op het afstembereik. Ook isoleert hij de

oscillator van de HF-voorversterker en vormt hij een geringe belasting van de oscillatorkring. De zelfoscillerende mixer ‘mengt’ zijn eigen signaal met het inkomende HF-signaal en produceert zo audio- en enkele andere frequenties. De mate van regeneratie wordt ingesteld met de 100k-potmeter. Deze fungeert tegelijk als frequentie-fijnregeling. Vooral bij gebruik van keramische resonatoren kan *zero beating* van een SSB-signaal lastig zijn met alleen de potentiometer voor de frequentie-instelling. Om de kosten binnen de perken te houden, wordt hier geen meerslagen-potmeter gebruikt. De fijnafstemming gebeurt met de regeneratie-potentiometer. Deze verstelt de frequentie slechts weinig – maar voldoende voor SSB-ontvangst.

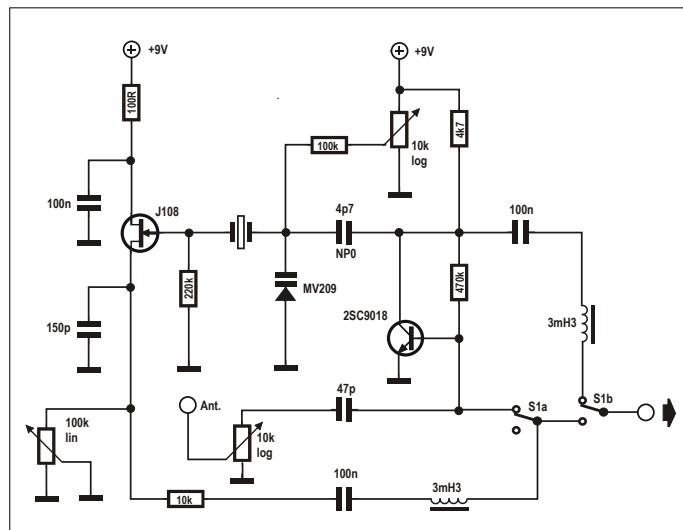
Het uitgangssignaal (HF plus gedetecteerde LF) van deze trap doorloopt een 10k-isolatie weerstand, een 100nF-condensator die de gelijkspanningscomponent tegenhoudt, en een HF-smoorspoel van 3,3 mH om weer bij de 2SC9018 uit te komen (wanneer de reflex-optie is ingeschakeld). Daar wordt het signaal weer versterkt – maar dat geldt alleen voor het audiogedeelte, de HF-component wordt geblokkeerd door de smoorspoel aan de basis van de transistor. Deze smoorspoel voorkomt ook dat HF van de antenne de regeneratieve detector kan bereiken. Het versterkte LF-signaal wordt dan doorgegeven aan de condensatoren van 4,7 pF en 100 nF en de andere 3,3mH-smoorspoel. De 4,7pF-condensator en het erop volgende kristal laten geen audio door zodat dit niet naar de

J108 kan doordringen; het grootste deel van het versterkte audiosignaal wordt doorgegeven aan de uitgang van de ontvanger via de 100nF-condensator en de smoorspoel die daarmee in serie staat. De 100nF-condensator geeft ook het versterkte HF-signaal van de antenne en de 2SC9018 door, maar samen met de serie-smoorspoel kan het HF-signaal de audio-uitgang van de ontvanger niet bereiken. Als u een hoogohmige hoofdtelefoon op de ontvanger aansluit of wanneer u het actieve audiofilter bouwt dat verderop in dit artikel wordt besproken, dan kunt u deze extra smoorspoel weggelaten omdat de hoofdtelefoon sowieso niet op HF reageert en het filter het HF-deel onderdrukt. De waarde van beide smoorspoelen is niet kritisch; u kunt zo ongeveer elke waarde gebruiken (zelfs twee verschillende waarden) zolang de waarden in het lage mHz-bereik liggen. Ik heb zelf twee goedkope ingekochte 10mH-smoorspoelen gebruikt die ik nog had liggen. Toepassing van een aparte trap als HF- (en AF-) voorversterker zorgt voor isolatie van de antenne en de zelfoscillerende detector. Er kan geen signaal van de lokale oscillator (LO) naar de antenne lekken, en de afstemming van de detector kan ook niet verlopen. De uitgang van de ontvanger kan direct op een hoogohmige hoofdtelefoon worden aangesloten. Het volume is meer dan voldoende wanneer een grote antenne wordt gebruikt en wanneer de reflex-optie is ingeschakeld. Een andere mogelijkheid is het signaal aan te sluiten op de microfooningang van de PC of

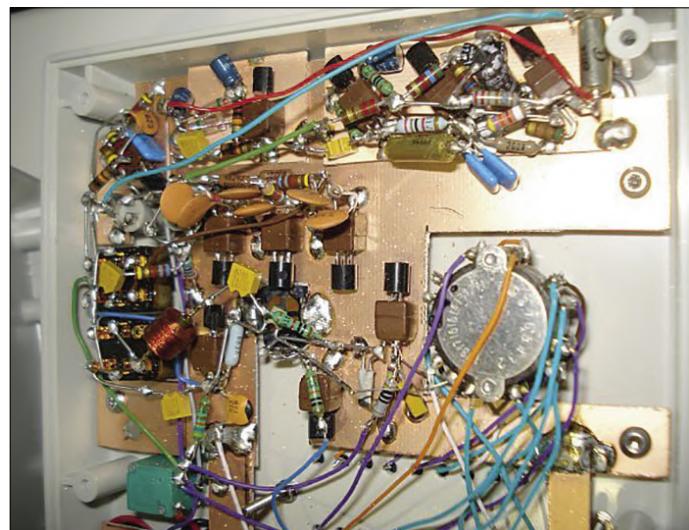
laptop in uw ‘shack’. Er bestaan talloze programma’s waarmee de audiosignalen gemanipuleerd en bewerkt, gefilterd en tot zinvolle gegeven gedecodeerd kunnen worden, zodat de ontvanger niet ingewikkelder gemaakt hoeft te worden. U heeft echter een goede processor en geluidskaart nodig als u de vertraging ten gevolge van de digitale signaalverwerking (die de CPU zwaar belast) tot een minimum wilt beperken.

Praktische zaken en ‘instinkers’

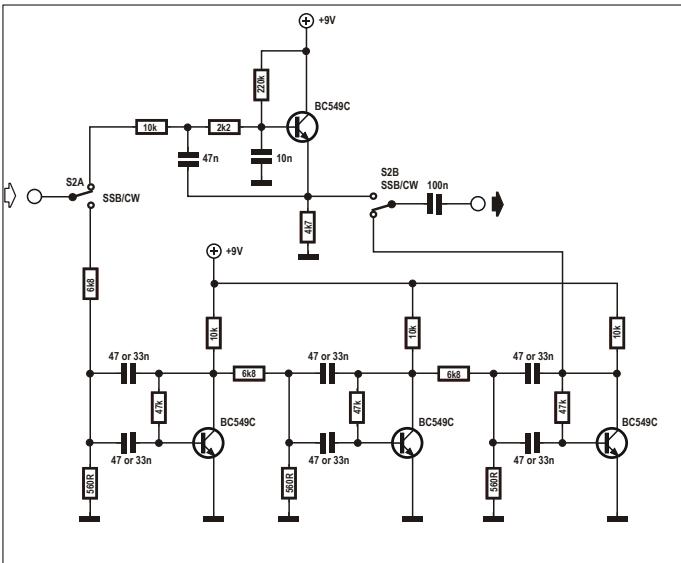
Ik heb de schakeling van figuur 1 al vele malen gebouwd en hij werkte altijd. **Figuur 2** toont het werkende prototype. Ik heb diverse varianten gebouwd – met afstemcondensatoren, varicaps, meerslagenpotmeters en zelfs LDR’s, en altijd werkte de schakeling naar behoren. Maar pas op: wanneer de reflex-optie is ingeschakeld en er sprake is van sterke (omroep)signalen buiten de band, zal de BE-overgang van de 2SC9018 zich als een AM-detector gedragen! In feite is dat een diode over de antenne-ingang die rechtstreeks naar de AF-uitgang koppelt, zonder enige filtering. Dat is de prijs die we betalen wanneer we een dermate eenvoudige schakeling regeneratief gebruiken. Houd er rekening mee dat de schakeling geen afgestemde frontend HF-kringen heeft en dus zo breedbandig is als maar kan zijn. Het goede nieuws is dat de gedetecteerde AM-signalen alleen verschijnen wanneer een externe, niet-gestemde antenne zeer sterke zenders ontvangt en de HF-versterking op maximum is ingesteld. Bij



Figuur 1. Het front-end van de ontvanger kan op de microfooningang van de PC worden aangesloten, of direct met een hoogohmige hoofdtelefoon worden gebruikt.



Figuur 2. Praktische constructie van het HF front-end (de twee transistoren links naast de selectieschakelaar), zwevend bedraad op een stuk ongeëetste printplaat.



Figuur 3. Een optioneel audio band-/laagdoorlaatfilter voor CW/SSB kan tussen tussen de front-end audio-uitgang en de PC-microfooningang worden opgenomen.

afgestemde (kleine) antennes zou het probleem zich niet mogen voordoen. De gedetecteerde AM-signalen hebben meestal een vrij laag niveau aan de audio-uitgang in vergelijking met de gewenste geregenerererde signalen. Ze vallen eigenlijk alleen maar op wanneer ze een hoog signaalniveau vertonen en wanneer de regeneratieve detector ofwel niet oscilleert of wanneer er niet op amateurbandsignalen is afgestemd.

Wanneer audiofiltering wordt gebruikt aan de uitgang van de ontvanger (hardwarematig of via FFT) neemt de audio-bandbreedte van deze AM-signalen van 6 kHz of zo af tot 2,5 kHz of nog minder, afhankelijk van de filterbandbreedte. Door gebruik te maken van smalbandige audiofiltering verdwijnen deze AM-signalen als gevolg van de geringe bandbreedte en het daarmee gepaard gaande lage niveau. Zowel voor breedband als smalband kan de HF-versterkingsregeling deze storende AM-signalen verder verminderen (maar dat geldt dan ook voor de gewenste signalen).

Enkelkanaal-ontvangst

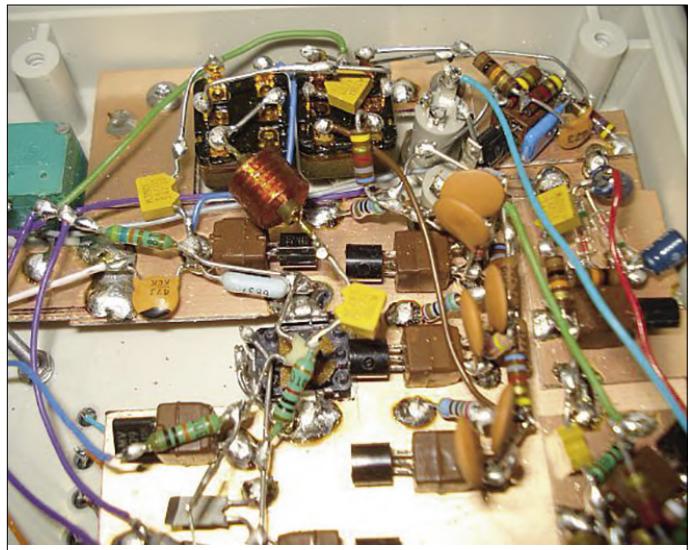
Ontvangst bij één enkele frequentie (ook wel *spot frequency* of *single-channel*) is een feature dat we alleen bij complexe ontvangers tegenkomen. Ondanks zijn eenvoud is onze ontvanger ook geschikt voor HF-ontvangst bij één frequentie. De regeneratie-instelling is namelijk zo nauwkeurig dat deze alleen voor één zijband effect heeft.

We hebben dit getest met behulp van

kristallen en keramische resonatoren; op alle HF banden bleek enkelkanaal-ontvangst met behulp van kristallen mogelijk, en tot ongeveer 17 m met behulp van keramische resonatoren. Dit feature heeft overigens geen betrekking op het filteren van het inkomende HF-signalen met het kristal. Pas toen de regeneratie zorgvuldig werd ingesteld in de buurt van het oscillatiepunt (bij elke frequentie-instelling) werd de andere zijband (LSB) onderdrukt. Eigenlijk wordt deze niet onderdrukt maar veleer verzwakt, zodat de detector deze zijband niet effectief kan verwerken. Dit werd geverifieerd door de regeneratie iets te vergroten, waarna de andere zijband werd gedetecteerd (dat wil zeggen de lagere frequenties van het signaal). Toen de regeneratie nog verder werd vergroot, was het resultaat DSB-ontvangst. Dit gedrag was op alle banden hetzelfde. Op de hogere banden vereiste de instelling wat meer ‘fijngevoeligheid’. Het indrukwekkende is dat dit kan worden bereikt zonder de noodzaak van meerslagenpotmeters. Inderdaad: enkelkanaal-ontvangst op alle HF-banden!

Reflex- en regeneratieve modi

Tot hier kunnen we de ontvanger beschrijven als een gecombineerde reflex/regeneratieve schakeling. Met behulp van één enkele schakelaar (SW1) kan de reflex-optie worden uitgeschakeld, waardoor de ontvanger in een zuiver regeneratieve schakeling wordt omgetoverd. Zonder de reflex-optie is



Figuur 4. De drie transistoren die het audiofilter van de ontvanger vormen.

het audiovolume aan de uitgang lager, maar er is geen noemenswaardig probleem meer met gelijkrichting door de BE-overgang, zelfs niet als de HF-versterking op maximum is ingesteld. Dat komt omdat alle gelijkgerichte audio wordt gefilterd door de kleine 4,7pF-koppelcondensator en nauwelijks bij de regeneratieve detector terechtkomt. Bij het uitproberen van keramische resonatoren zorgt het in- en uitschakelen van de reflex-optie voor een onmiddellijke zij het geringe frequentieverandering, naast een verandering van het audiovolume. Bij uitgeschakelde reflex-optie veroorzaakt een verandering van de HF-versterking een gering frequentieverloop.

Afstemcondensator of varicap

Het effect van een variabele condensator (‘afstemcondensator’) om de frequentie van het kristal in een schakeling als deze te ‘verstemmen’ is bekend en al in veel artikelen behandeld. En inderdaad: de echte variabele condensator (dus geen varicap) die we aanvankelijk gebruikten om de frequentie in te stellen, had het meeste effect bij de kleinste capaciteitswaarden, dus diens minimale capaciteitswaarde is belangrijk. Dit maakt het afstemmen lastiger, al was het alleen maar vanwege strooicapaciteiten die hier een grotere invloed hebben. Als u condensator-decadabanken en een overdaad aan schakelaars wilt vermijden, kunt u twee dingen doen om het probleem aan te pakken. Een daarvan is het gebruik van een variabele condensator

met tandwielvertraging en een excen-trisch geplaatste as. Het eerste maakt fijnafstemming mogelijk en het tweede vermindert de niet-lineariteit van de frequentie-uitlezing (wijzerplaat) door de as en de condensatorplaten zodanig te positioneren dat er een meer lineair verband ontstaat tussen de draaihoek en de resonantiefrequentie; daarmee kan een eventuele niet-lineariteit van de afstemming worden gecompenseerd. De andere manier is het gebruik van een varactordiode (varicap) met een capaciteit/spanningscurve die de niet-lineariteit compenseert, in combinatie met een logaritmische potentiometer voor de afstemming. Fijnafstemming van de varicap is mogelijk met een meerslagen-instelpotmeter (als u er een met een logaritmische karakteristiek kunt vinden), of een gewone logaritmische potentiometer in combinatie met een fors bemeten knop. Het vermelden waard is dat sommige van die goedkope plastic afstemcondensatoren uit oude radio's een behoorlijk lage minimumcapaciteit kunnen hebben (beneden 10 pF) en een tamelijk hoge maximumcapaciteit (150...250 pF of zo). Zulke waarden resulteren in een lekker groot afstembereik; bovendien hebben ze geen last van capaciteitsveranderingen ten gevolge van schommelingen van de afstempanspanning. Afgezien van het verbeteren van de afstemplineariteit biedt het gebruik van een varicap echter nog andere belangrijke voordelen. Hij voorkomt het zogenaamde handeffect (door strooicapaciteiten) zodat geen HF-afschermering nodig is. Ook wordt microfonie vermeden. Daarnaast is een varicap klein en goedkoop. Voor een betrouwbare capaciteitsregeling is echter een hoogwaardige stof- en vochtbestendige potmeter nodig. Maar zelfs goedkope potentiometers kunnen behoorlijk functioneren in vergelijking met een goedkope variabele condensator. Vergeet niet dat een lage minimumcapaciteit belangrijk is voor een grote frequentieverstemming, dus een varicap met een lage minimumcapaciteit en een relatief grote maximumcapaciteit verdient de voorkeur; ga echter niet hoger dan ongeveer 150 pF, omdat hogere waarden nog slechts een gering effect zullen hebben op de frequentieverstemming. De meeste dure 500pF-varicaps hebben een minimumcapaciteit van slechts ongeveer 20 pF; boven een bepaalde waarde is de verstemming nog slechts gering. Misschien

hebt u geen varicaps rondslingerend; een mogelijk alternatief is dan de EB-overgang van een transistor, of een ordinaire 1N4001...1N4007-seriediode, uiteraard in sperrichting. Hun afstembereik is kleiner, maar u hebt ze gegarandeerd op voorraad. LED's zijn niet bruikbaar, tenzij ze deugdelijk tegen omgevingslicht zijn afgeschermde.

Varicap-afstemming

In de SV3ORA-ontvanger wordt een goedkope MV209-varicap gebruikt in combinatie met een logaritmische 10k-potentiometer voor de afstempanspanning. Deze combinatie levert uitstekende resultaten. De lineariteit van de afstemming is opmerkelijk goed bij alle frequenties en bij gebruik van zowel kristallen als keramische resonatoren. Het afstembereik bij de geteste kristallen bedroeg ongeveer 2...3 kHz boven 40 m, minder bij 80 m en bijna niets meer op 160 m. Het afstembereik van een keramische resonator voor de 40-m-band was ongeveer 60 kHz en bij 80 m om en nabij de 30 kHz. Een duurdere varicap van het type 1SV149 (500 pF) verbeterde ondanks het veel grotere capaciteitsbereik het afstembereik van de 40m-keramische resonator met niet meer dan zo'n 10 kHz. De afstemplineariteit was in de buurt van de middenstand van de potentiometer echter minder goed. Daarom hebben we besloten om de MV209 te gebruiken in combinatie met de logaritmische 10k-potmeter.

De juiste polariteit van deze potmeter is belangrijk. Verwissel de aansluitingen niet, omdat dit leidt tot een veel slechtere afstemplineariteit dan die van de varicap alleen. De juiste polariteit kan worden gevonden door de ontvanger (voorzien van een kristal) naast een commerciële SSB-ontvanger te plaatsen. Zet vervolgens de logaritmische potentiometer in de middenstand en regel de commerciële ontvanger precies af op de frequentie van de lokale oscillator van de ontvanger. Draai vervolgens de as van de potmeter helemaal rechtsom en vervolgens helemaal linksom. Als de potmeter correct is aangesloten, moeten de tonen die de commerciële ontvanger bij beide uiterste standen van de potmeter produceert, ongeveer dezelfde frequentie hebben. Zo niet, verwissel dan de beide buitenste aansluitingen (die naar massa en VCC). Een andere manier om de juiste polariteit van de potentiometer te achterhalen is om spurious van de lokale oscilla-

tor van de ontvanger op een commerciële SSB-ontvanger te beluisteren. Als de logaritmische potentiometer correct is aangesloten, neemt de frequentie af wanneer u de potentiometer met de klok mee verdraait.

De juiste polariteit van de logaritmische HF-versterkingspotentiometer van 10 k is ook belangrijk. Sluit de potentiometer zodanig aan dat de HF-versterking bij verdraaien van de loper min of meer gelijkmataig verandert. Als de HF-versterking bij een geringe verdraaiing al zeer sterk verandert, moeten de beide 'buitenste' aansluitingen worden omgewisseld.

Optioneel band-/laagdoorlaat-audiofilter voor CW/SSB

Om sterke, lokale CW-signalen te onderdrukken kan een geschikt audio-banddoorlaatfilter worden toegevoegd; **figuur 3** toont het schema. Nu zou u kunnen denken dat de PC-geluidskaart in combinatie met geschikte software al een audiofilter is. Afgezien van de noodzaak om in dat geval altijd een computer mee te zeulen, heeft dit nog een ander nadeel: de vertraging. De software vreet rekenkracht om het werk in acceptabel korte tijd te doen. Bij oudere of goedkopere computers is die rekenkracht niet beschikbaar en verstrijkt er enige tijd vanaf het moment dat het audiosignaal de geluidskaart binnenkomt tot het moment dat het bewerkte geluid naar de hoofdtelefoon gaat. Soms kan die vertraging enkele seconden bedragen. Het afstemmen van de ontvanger op een signaal is een ware nachtmerrie bij zo'n grote vertraging. Een zuiver analoog hardwarefilter heeft daar echter geen last van.

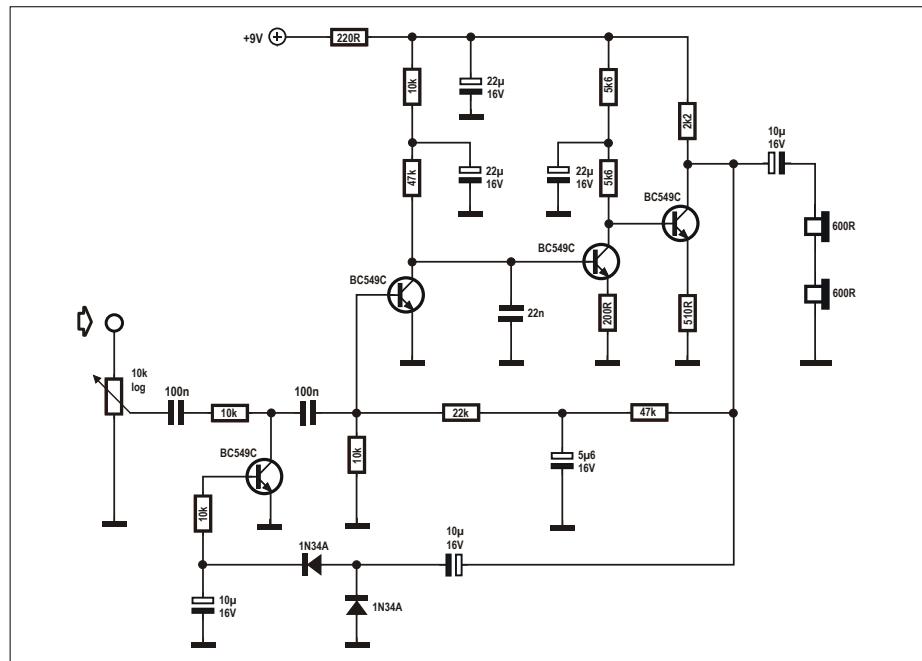
We hebben heel wat CW-audiofilters getest - LC-filters, regeneratieve exemplaren en ga zo maar door. Voor de LC-types zijn moeilijk te vinden spoelen nodig om een werkelijk effectief filter te maken. De regeneratieve filters die in de praktijk zijn uitgeprobeerd, hadden nogal wat kritische afregelingen nodig voordat ze goed werkten. Bovendien bleek er geen enkel filter stabiel genoeg te zijn. Bij variaties in de signaalsterkte vertoonden ze 'woeste' oscillaties. Het CW-filter dat de beste prestaties en stabiliteit opleverde en het zonder afregeling kon stellen, is het *multiple feedback* banddoorlaatfilter dat we hier beschrijven. Het bestaat uit drie identieke in serie geschakelde filtersecties. De zes CW-filtercondensa-

toren bepalen de middenfrequentie van dit filter. Als $47nF$ -condensatoren worden gebruikt, zal de middenfrequentie in de buurt van 700 Hz uitkomen. Het gebruik van $33nF$ -condensatoren geeft een middenfrequentie van ongeveer 1 kHz. SW2 schakelt tussen CW en SSB. Voor SSB volstaat een enkele filtersectie; de kantelfrequentie ligt bij ongeveer 2 kHz. Het CW-filter met een bandbreedte van minder dan 250 Hz biedt ondanks de eenvoud een uitstekende selectiviteit en vertoont geen oscilleerdeigingen. Om een indruk te krijgen van die selectiviteit: met het filter kan één van de twee toontjes van een RTTY-signaal (telefax) worden geselecteerd. Sterke CW-signalen die zeer dicht bij de doorlaatband liggen, zijn nog altijd op de achtergrond hoorbaar, maar zijn sterk verzwakt en hebben geen invloed op de ontvangst van het gewenste signaal, zelfs als dat een veel geringere signaalsterkte heeft. Dit is wenselijk bij het scannen van de band, zodat u kunt uitvinden wat er 'in de buurt' gebeurt zonder dat u de ontvangstsfrequentie opnieuw hoeft af te stemmen. Ter vergelijking: het smalbandfilter van veel commerciële apparatuur vereist een zeer langzame afstemming om geen signalen bij het scannen te missen; dat is lastig wanneer u grote delen van de band wilt scannen.

Figuur 4 toont de praktische uitvoering van het band-/laagdoorlaatfilter.

Optionele audioversterker met automatische limiter

De (optionele) audioversterker van



Figuur 5. Schema van de optionele audioversterker

figuur 5 is met goed gevolg getest in combinatie met de ontvanger. Hij levert een versterking van ongeveer 100 dB of meer – u zou kunnen denken dat dat te veel is voor deze ontvanger. Vanwege de aanzienlijke variaties in het ingangssignaalniveau komt het vaak voor dat een forse versterking wenselijk is, en deze versterker levert die. Sommige van de geteste kristallen veroorzaakten bijvoorbeeld zeer hoge verliezen zodat de reflex-optie moet worden ingeschakeld, waardoor nog een voorversterker in de audioketen wordt opgenomen. De ideale

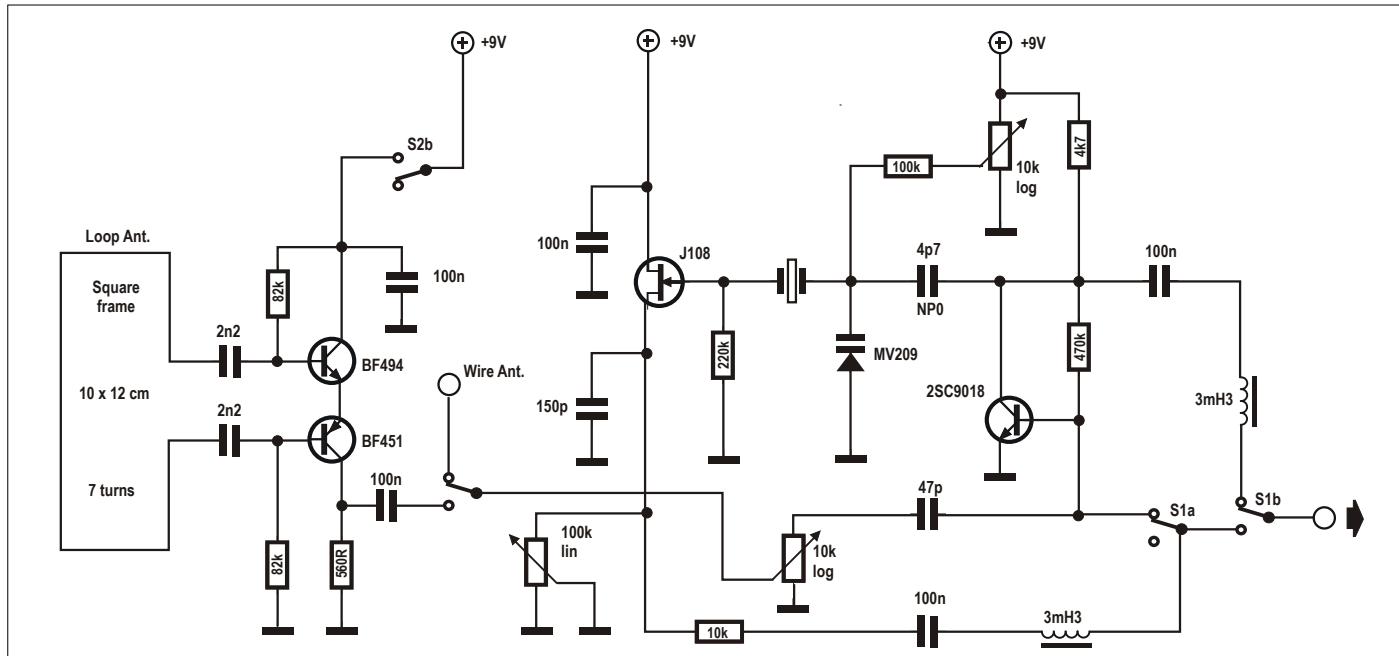
signaalontvangst wordt bereikt bij een juiste combinatie van de instelling van de reflexschakelaar, de HF-versterking, de regeneratie en de volumeregeling. Soms is het wenselijk om de audioversterking op te voeren en de HF-versterking te reduceren. Op andere momenten verdient het omgekeerde de voorkeur, afhankelijk van signaalsterkte en ruis. En dat is het mooie van deze ontvanger: de gebruiker heeft de volledige controle over deze parameters, en zelfs over de manier hoe het signaal wordt gedetecteerd.

De ontvanger in de praktijk

Om de functies van de ontvanger te leren waarderen, moet u er de nodige ervaring mee opdoen. Ideaal is een regenachtige zondagmiddag zonder andere verplichtingen. Neem plaats aan uw werktafel, met de ontvanger voor u en een kop koffie of andere versnaperingen onder handbereik. Haast u niet, ontspan en geniet van elk moment van ontvangstervaring. Zet de doos met resonatoren naast de ontvanger en prik de gewenste resonatoren in de ZIF-voet. Selecteer de interne antenne of sluit een externe antenne aan; sluit ook uw favoriete hoogohmige hoofdtelefoon aan. Zet de ontvanger aan, stel de HF-verzwakking

in op minimum, selecteer de gewenste resonator en stel de volumeregelaar in op een aangenaam geluidsniveau. Pas de regeneratie aan tot u de oscillator hoort 'sissen'. Geen angst dat u de regeneratie te hoog instelt, omdat het onwaarschijnlijk is dat deze ontvanger audiofrequent gaat oscilleren. Zoek bij elke resonatorinstelling het optimale oscillatienniveau door het geluidsvolume te beoordelen (het maximum is het beste). Ik luister meestal naar DSB, waarbij ik de regeneratie op maximum instel, zodat zowel oscillatie als een flink geluidsvolume mogelijk zijn. Op die manier hoeft ik de regeneratie niet continu aan te passen. Alleen

bij storing door andere stations verminder ik de regeneratie zachter om de LSB te onderdrukken. Het is niet moeilijk om het kritische punt van de regeneratieregeling te vinden door op de verandering van de audiorespons te letten. Als u van oscillatie naar geen oscillatie gaat, wordt de audiobandbreedte kleiner, zoals wanneer u de hoge tonen van uw geluidsinstallatie zachter zet, en er is een karakteristieke ruis te horen. U hoort dan nog steeds duidelijk (hoeveel soms iets zachter) signaaltoontjes op de USB, maar de LSB-signalen verdwijnen geleidelijk, beginnend bij de hogere tonen naarmate u de



Figuur 6. Schema van het front-end van de ontvanger samen met de voorversterker van de breedbandige actieve symmetrische raamantenne.

Aanvankelijk dacht ik dat de audioversterker het eenvoudigste deel van de ontvanger zou zijn, maar verrassend genoeg was dit niet zo eenvoudig als het lijkt. Daar zijn verschillende redenen voor. Ten eerste vertoont het signaalniveau aan de uitgang van het front-end aanzienlijke variaties, afhankelijk van de signaalsterkte, de regeneratie-instelling en de vraag of u kristallen of keramische resonatoren gebruikt. En dan is er het ‘klikken’ van de reflex- en filterschakelaars en de stoorgeluiden van de regeneratiepomenter zodra die buiten zijn bereik

komt door DC op de loper. Bovendien bleek de high-gain versterker bij hoge ingangsniveaus heftig te oscilleren. Normaal gesproken hoeft de luisteraar zich daar geen zorgen over te maken – als een luidsprekerversterker gebruikt wordt. Wanneer u daarentegen een hoofdtelefoon gebruikt, is de situatie heel anders. Al die bijgeluiden van potmeters en schakelaars zijn bij versterking door deze high-gain versterker letterlijk oorverdovend als u probeert zwakke signalen te onderscheiden. Het volume van de versterker moet flink worden opgevoerd

wanneer u zulke zwakke signalen probeert te ontvangen. Dit zorgt er echter voor dat de versterker gaat oscilleren en een oorverdovend lawaai produceert. Even belangrijk is de ruis. Bij HF maakt de ruis van de audioversterker niet veel uit. In deze bijzonder ‘stille’ ontvanger wordt ruis van de audioversterker (meestal een soort sisgeluid) waargenomen bij hoge volumes, omdat de ruis net zo als het gewenste signaal wordt versterkt. Een ander punt is dat een audio-AGC in de schakeling moet worden vermeden wanneer we de signaalsterkte in

regeneratie verder vermindert. Als u daarmee doorgaat, zullen de lage USB-toontjes ook verdwijnen, vergelijkbaar met een audio-hoogdoorlaatfilter zou doen. Deze aanpassingen zijn ietwat priezig, maar met een vaste hand zal het wel lukken. Speel dan een beetje met de regeneratie-instelling om gevoel te krijgen hoe de LSB wordt afgekapt bij de juiste instelling. Zodra u een signaal te pakken hebt, schakelt u tussen de externe antenne en de actieve lusantenne om zodat u de verschillen in signaalniveau en achtergrondruis opmerkt. De HF-verzwakker kan hier goede diensten bewijzen. Roteer de lusantenne om

storing door huishoudelijke apparatuur te onderdrukken, en probeer de richting van storingen en gewenste signalen te vinden. Schakel het actieve smalbandfilter in en uit en let op de hoorbare verschillen. Bij overschakelen naar het smalbandige audiofilter moet u de frequentie eventueel voorzichtig iets bijregelen (dat kan tot op zekere hoogte met de regeneratieregelaar of de HF-versterking) om het signaal in het midden van het filter te krijgen. Schakel tussen regeneratief en reflex/regeneratie om en let op het verschil in volume en achtergrondruis. Met al deze bedieningselementen – die elkaar soms beïnvloeden – kunt u

de ontvangst van een signaal uiterst nauwkeurig naar uw hand zetten. Vanaf het HF-front-end dat de feitelijke detectie bepaalt tot en met het audiodeel: u kunt alles naar wens en smaak instellen. De combinaties zijn eindeloos, en het is aan u die te leren gebruiken. In ieder geval zal deze ontvanger u niet alleen bevallen door zijn bediening en prestaties, maar ook door zijn hoge ‘verzamel’-factor. Als u elektronica-componenten verzamelt, vindt u het waarschijnlijk leuk om naar ‘zeldzame’ resonatorfrequenties te zoeken op het web, in winkels of op een hambeurs zodat u die in deze ontvanger kunt uitproberen.



Figuur 7. De raamantenne (gemonteerd aan de achterkant van de ontvanger) is hier ingeklappt.



Figuur 8. De uitgeklapte raamantenne.

deze directe conversie-ontvanger effectief willen meten. Conclusie: de interne versterkerkruis en zeer luide bijgeluiden moeten worden afgekapt, maar niet de relatieve sterke gewenste signalen.

In de audioversterker van figuur 5 wordt de eerste transistor ‘achter’ de ingangspotmeter gebruikt als automatische begrenzer. Met het audiosignaal aan de uitgang van de versterker worden de beide germaniumdiodes aangestuurd (elke Ge-diode is met een lage spanningsval is bruikbaar) die het audiosignaal gelijkrichten en de $10\mu F$ -con-

densator aan de basis van de transistor opladen. Afhankelijk van de momentane lading wordt de transistor meer of minder opengestuurd, en dat beïnvloedt de audio-uitgang van de spanningsdeler die gevormd wordt door de transistor zelf en diens $10k$ -collectorweerstand. De componentwaarden zijn zo gekozen dat alleen zeer sterke signalen aan de uitgang van de versterker (schakelaarklikken, versterkeroscillaties) het ingangsvolume reduceren. De aansprekijd is zeer kort zodat de limiter snel reageert op deze geluiden en de oren van de luis-

teraar worden beschermd. De afgaltijd is ongeveer een halve seconde, waardoor de luisteraar enerzijds merkt dat er van zo’n storing sprake is, maar anderzijds zo min mogelijk van het gewenste signaal mist.

De $22nF$ -condensator van de collector van de tweede transistor naar massa is het ‘sis’-filter. Zonder dit filter is versterkerkruis storend hoorbaar. Met dit filter is de versterker zelfs bij hoog volume zeer stil. Het helpt ook bij het voorkomen van oscillaties. Elke waarde van $10 nF$ tot $22 nF$ is bruikbaar. Ga niet beneden $10 nF$ omdat de ruis dan weer hoorbaar wordt. En met meer dan $22 nF$ kapt u een groot deel van de gewenste audiobandbreedte af. $22 nF$ is waarschijnlijk al te veel, maar we hebben gemerkt dat het afkappen van hogere audiofrequenties luistermoeheid kan voorkomen.

De uitgang van de audioversterker is relatief hoogohmig ($2,2 k$). Dit spaart de batterij, maar vereist wel een hoogohmige hoofdtelefoon. Ik heb twee separate $600-\Omega$ -oortelefoontjes gebruikt, in serie geschakeld voor een hoger volume. Deze voldoen ook bij een iets lager volume. Met deze schakeling kan elke hoogohmige hoofdtelefoon worden gebruikt, maar als u de keuze hebt, neem dan een exemplaar dat een goed volume biedt en lekker ‘zit’.

Kleine breedbandige actieve raamantenne (optioneel)

Het schema van **figuur 6** toont het front-end van de ontvanger waaraan een breedbandige actieve symmetrische raamantenne is toegevoegd. Om de batterij te sparen wordt de voorversterker uitgeschakeld wanneer de raamantenne niet wordt gebruikt. Dit ontwerp heeft geen aanpassingstransformator of afgestemde kringen nodig, wat de nabouw van de voorversterker eenvoudig en goedkoop maakt.

De raamantenne is gewikkeld op een rechthoekig kunststof frame van $10 \times 12 \text{ cm}$ met 7 windingen dun (staandard) geïsoleerd koperdraad. In het prototype hebben hiervoor een plastic frame uit een oude AM-radio gebruikt (zie **figuur 7** en **figuur 8**).

Dit frame maakt het mogelijk de antenne om de verticale as te draaien, wat nuttig kan zijn als de ontvanger op een vaste plaats staat. Storing kan dan worden onderdrukt door het frame van de antenne te draaien in plaats van de hele ontvanger.



Afbeelding 9. Het frontpaneel van de ontvanger.

De prestaties van de actieve raamantenne zijn zeer goed, zeker gezien de kleine afmetingen en het geringe aantal onderdelen. vergeleken met een draadantenne van 12 m op het dak levert de kleine actieve lus bijna dezelfde versterking; we hebben dit getest vanaf 2 MHz en hoger. Omdat de lus symmetrisch is, is hij ook minder gevoelig voor lokale interferentie. Daarnaast is een groot voordeel dat de antenne ongewenste signalen of interferentie uit een bepaalde richting kan onderdrukken door hem te draaien. Als deze antenne op de behuizing van de ontvanger wordt gemonteerd, hebt u een werkelijk draagbare ontvanger die u overal mee naar toe kunt nemen, en bent u niet afhankelijk van een 'grote' antenne.

Bouw van de ontvanger

De ontvanger is ondergebracht in een kleine plastic behuizing. Een metalen behuizing zou waarschijnlijk beter zijn, maar dan is het lastiger de vereiste gaten te boren en zou het ontvangstpatroon van de raamantenne verstoord kunnen worden. Er is echter enige vorm van HF-aarding nodig om 'handeffecten' te voorkomen; hiervoor wordt gezorgd door de grote printplaat in de ontvanger.

De knoppen van de bedieningselementen zijn tamelijk (maar niet overdreven) groot om een zekere mate van fijnafstemming mogelijk te maken zonder dure nonius-draaiknoppen. De regeneratie is de meest kritische instelling en deze kan zeer goed worden ingesteld voor enkelkanaal-ontvangst, zelfs op de hogere korte-golfbanden. Om te voorkomen dat er veel markeringen op het frontpaneel moeten worden getekend, is gekozen voor knoppen met schaalverdeling.



Figuur 10. Het inwendige van de ontvanger, met discrete componenten en zonder 'echte' printen opgebouwd.

Het frontpaneel (**figuur 9**) heeft schakelaars voor het selecteren van de antenne en het type audiofilter, de topologie (regeneratief of reflex/regeneratief), plus natuurlijk een connector voor de externe antenne en een ZIF-voet.

De kristal/resonator-selector is een nieuw idee. Je kunt nooit genoeg resonatoren onder handbereik hebben en de ontvanger is breedbandig ontworpen (bestrijkt dus alle HF-bandens door alleen maar de resonator om te wisselen). Het is geen goed idee om de resonatoren eenvoudigweg op de keuzeschakelaar te solderen. De keuzeschakelaar moet zo dicht mogelijk bij de ZIF-voet worden geplaatst. Voor de voeding gebruiken we een kleine accu; van twee stukken ongeëpte printplaat is eenhouder in elkaar gesoldeerd. Een veer houdt de accu op zijn plaats en maakt een eenvoudige vervanging mogelijk.

Het is belangrijk om in deze ontvanger potentiometers van goede kwaliteit te gebruiken die een soepele bediening mogelijk maken. We hebben overal miniatuur potmeters van Panasonic gebruikt, behalve voor de audio-volumeregelaar. Hiervoor hebben we een potmeter met schakelaar gebruikt die als aan/uit-scha-

kelaar voor de ontvanger fungeert. Een indicatie-LED schittert door afwezigheid om de stroomopname zo gering mogelijk te houden. De handgrepen op het frontpaneel zijn zo geplaatst dat ze de bedieningselementen beschermen als de ontvanger per ongeluk met het front naar beneden valt.

Bij het bouwen van deze ontvanger kan niet veel mis gaan, als u zich aan de schema's houdt. U hoeft immers geen lastige spoelen te wikkelen, en de ontvanger is bewust eenvoudig gehouden. Wanneer u **figuur 10** als leidraad gebruikt, is de ontvanger goed reproduceraar voor de meeste radioamateuren met enige elektronica-ervaring. Mocht u vragen hebben, aarzel dan niet om contact met me op te nemen via [1]; ik zal mijn best doen u te helpen. ▶

(180480-04)

Weblink

[1] Website van de auteur:
<http://qrp.gr/>

HF-versterking en luistermoeheid

De RF-versterkingsregeling heeft interessante eigenschappen. Door de versterking van de transistor te reduceren, worden de gewenste RF-signalen minder voorversterkt. In de praktijk zult u echter merken dat u zonder storende gelijkgerichte AM-signalen de gewenste signalen duidelijker kunt onderscheiden, ondanks de geringere RF-versterking. QRM (door mensen veroorzaakte storing) en ruis worden ook gereduceerd door de RF-versterking te verminderen; dit helpt bij het ontvangen van zwakkere signalen – ondanks die lagere versterking. Vooral in smalbandmodi lijkt het erop dat de meeste signalen uw oren weten te bereiken, omdat de ruis minder is en ook luistermoeheid een minder grote rol speelt.

Communicatie met UDP-pakketten probleemloos met ESP8266

Gilbert Ghyselbrecht (België)

Om data uit te wisselen via een netwerk wordt meestal gebruik gemaakt van een client/server-model. De client stuurt daarbij een vraag naar de server, en de server stuurt zijn antwoord in de vorm van een HTML-pagina met de gevraagde gegevens. Voor dit model is heel wat software nodig: een serverprogramma op (bijvoorbeeld) een Raspberry Pi, en aan client-zijde een programma dat de gegevens uit de HTML-pagina destilleert.

Voor veel toepassingen – waarbij u aan zelfbouw-domoticaprojecten kunt denken, modelbouw, radiobesturing en wat dies meer zij – kan worden volstaan met kleine modules zoals de ESP8266, die WiFi aan boord hebben voor draadloze connectiviteit over niet te grote afstand. Toegang tot het internet is vaak niet nodig en soms zelfs onwenselijk.

Voor het verzenden van data wordt gebruik gemaakt van UDP broadcast-pakketten, die naar een willekeurig gekozen poortnummer worden gestuurd. Zo'n pakket wordt door de router niet doorgesluisd naar een ander netwerksegment; elke computer die deel uitmaakt van hetzelfde netwerksegment (subnet) en die naar de betreffende poort ‘luistert’ zal alle data ontvangen.

Bij UDP (*User Datagram Protocol*) [1] is geen sprake van een veilige verbinding, zoals met TCP (*Transmission Control Protocol*) [2] wel het geval is. UDP garandeert niet dat alle datapakketjes daadwerkelijk bij de ontvanger aankomen; pakketjes die onderweg verloren gaan, zijn inderdaad verloren. Het grote voordeel van UDP is dat het een snel protocol is; daarom

wordt het vooral daar gebruikt waar het op snelheid aankomt en het wegvalLEN van een pakketje geen dramatische gevolgen heeft, zoals bij videoconferenties, telefonie of sommige online-games. Wanneer de gegevens regelmatig opnieuw worden verstuurd (bijvoorbeeld om de paar seconden, of telkens wanneer een sensorwaarde verandert) dan gaat er op langere termijn niets verloren.

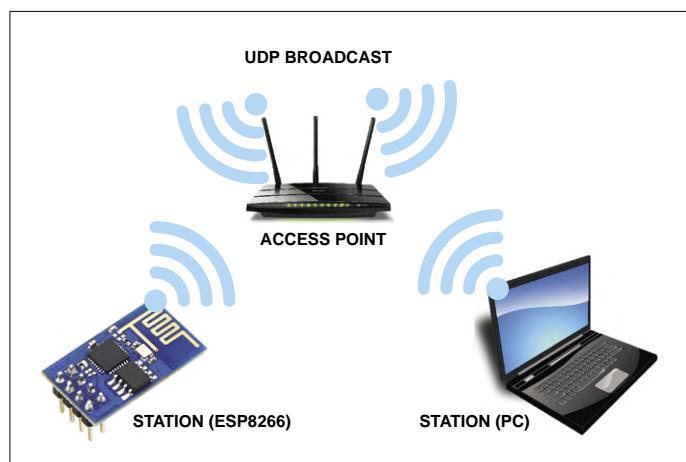
De uitwisseling van een UDP-pakket gaat uiterst snel – er verlopen tussen het sluiten van een schakelaar bij de zender en het oplichten van een LED bij de ontvanger normaal gesproken slechts 2...10 ms.

Bij een client/server-toepassing blijft de client wachten op een antwoord van de server. Wanneer dat om welke reden dan ook niet (aan)komt, moet vaak alles opnieuw worden opgestart om de verbinding weer op te bouwen. In een UDP broadcast-netwerk mag elke module, PC of tablet op het netwerk worden aangesloten of worden afgekoppeld zonder dat dit gevolgen heeft voor de andere deelnemers. Alle gegevens worden immers regelmatig opnieuw naar alle deelnemers gestuurd. **Figuur 1** geeft deze opzet schematisch weer.

Voorbeelden met de ESP8266

De ESP8266-module bevat een krachtige 32bit-processor en kan daarmee worden ingezet als WiFi-station en/of als access point voor andere stations. De voorbeeldprogramma's waarmee we de verschillende mogelijkheden demonstreren, zijn gemaakt met behulp van de Arduino IDE die voor de ESP8266 is aangepast [3].

In de voorbeelden is telkens gebruik gemaakt van vaste adressen, en wel om de eenvoudige reden dat het opstarten dan sneller verloopt en we geen DHCP-server nodig hebben. Ook is het eenvoudiger om met een NetScan-programma het overzicht te bewaren van wat er gebeurt. De diverse modules maken verbinding met een router die als WiFi-access point is ingesteld; deze router hoeft niet noodzakelijkerwijs met het internet verbonden te zijn [4].



Figuur 1. Hier werkt de ESP8266 in de station-modus.

De zender

Schakelaars en de meeste sensoren hoeven alleen informatie te verzenden; er hoeft niets ontvangen te worden. Daar is dus sprake van éénrichting-communicatie. Hieronder geven we een voorbeeldprogramma voor een ESP8266-module.

Aan het begin van het programma worden enkele globale gegevens vastgelegd, zoals het vaste IP-adres, de gateway en het subnet. Als poort kan elke willekeurige waarde groter dan 1024 worden gebruikt; de auteur heeft in zijn voorbeeldprogramma's poort 7923 gebruikt. Het broadcast-adres is gelijk aan het gateway-adres, maar dan met 255 als stationnummer. In dit deel van het programma worden ook het SSID en een eventueel wachtwoord van het access point ingevuld.

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <WiFiUdp.h>

int led = 2;
int key = 4;
boolean state;

WiFiUDP Udp;

IPAddress staticIP (192,168,1,130);
    // change for every module
IPAddress gateway (192,168,1,130);
IPAddress subnet (255,255,255,0);
IPAddress broadcast (192,168,1,255);

unsigned int UdpPort = 7923;

char* ssid = "MySsid";
char* pasw = "MyPassword";
```

Bij de uitvoering van het programma wordt de `setup()`-routine éénmaal uitgevoerd. In deze routine wordt de WiFi-modus gestart met `WiFi.begin()` en `WiFi.config()`. Daarna wacht het programma tot de functie `WiFi.status()` antwoordt met `WL_CONNECTED`. De blauwe LED knippert dan in een secondentempo. Wanneer na 10 seconden nog geen WiFi-verbinding tot stand is gekomen, wordt de ESP-module opnieuw gestart met `ESP.restart()`.

```
void setup(){
    int count = 0;
    boolean ledstate = 0;

    pinMode (led, OUTPUT);
    pinMode (key, INPUT);    // Input switch

    WiFi.begin (ssid, pasw);
    WiFi.config (staticIP, gateway, subnet);

    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
    {
        delay (500);
        ledstate = !ledstate;
```

```
        // flash led until connected
        digitalWrite ( led, ledstate );
        if (++count >20 ) ESP.restart();
            // if no connection restart ESP
    }
    digitalWrite ( led, 1 );
}
```

De subroutine `loop()` wordt telkens opnieuw aangeroepen; deze bevat het eigenlijke programma. In dit voorbeeld wordt de stand van een op GPIO2 aangesloten schakelaar ingelezen; bij verandering van diens toestand wordt ofwel een UDP-ON-pakket ofwel een UDP-OFF-pakket verstuurd. Dit gebeurt met de functie `sendUDP()`.

```
void loop() {
boolean P = digitalRead (key);
if ( !P && !state ) SendOn();
else if ( P && state ) SendOff();
}

void SendOn() {
state = true;
digitalWrite ( led, 0 );
sendUDP ( "1 Switch ON" );
}

void SendOff() {
state = false;
digitalWrite ( led, 1 );
sendUDP ( "0 Switch OFF" );
}
```

Het UDP-pakket wordt aangemaakt met de functie `Udp.beginPacket()`. De te verzenden data worden in de vorm van een char-array met behulp van de functie `Udp.write()` aan het pakket toegevoegd. Tenslotte wordt het pakket verzonden met `Udp.endPacket()`.

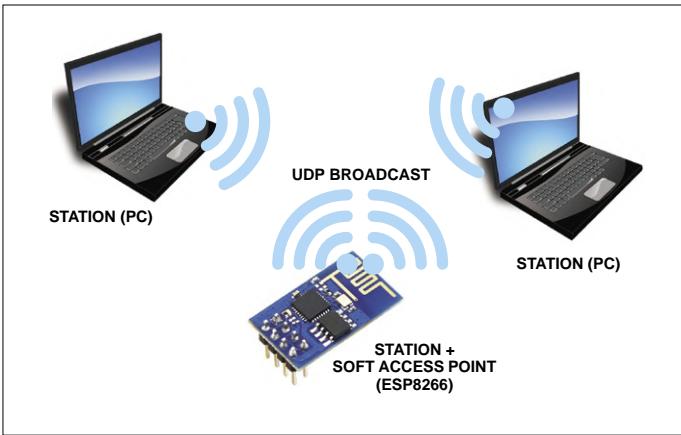
```
void sendUDP ( char * s ) {
Udp.beginPacket ( broadcast, UdpPort );
Udp.write ( s );
Udp.endPacket();
delay (5);
}
```

Op deze manier kan een grote verscheidenheid aan sensor- en schakelaarinformatie worden verzonden.

De ontvanger

Hier vindt het initialiseren van de WiFi-module op dezelfde manier plaats als bij de zender. Aan het einde van de `setup()`-routine is de functie `Udp.begin(UdpPort)` toegevoegd, die luistert of er bij de opgegeven poort datapakketten binnenkomen.

```
int led = 2;
int relay = 5;
boolean ledState;
```



Figuur 2. Hier wordt de ESP8266 gebruikt als station en als (soft) access point.

```
WiFiUDP Udp;

unsigned int UdpPort = 7923;

char inbuf[255];

...

void setup() {
    int teller = 0;
    boolean led1 = 0;

    pinMode (led, OUTPUT);
    pinMode (relay, OUTPUT);

    ...

    Udp.begin (UdpPort);
}
```

In de `loop()`-routine wordt op de ontvangst van datapakketjes getest met de functie `Udp.parsePacket()`. Deze functie retourneert `True` als er een pakket is ontvangen. In dat geval wordt de data opgevraagd en verwerkt met de functie `Udp.read()`.

```
void loop() {
if (Udp.parsePacket()) {
    int len = Udp.read (inbuf, 255);

    if (inbuf[0] == '1') ledState = 0;
    if (inbuf[0] == '0') ledState = 1;

    digitalWrite (relay, !ledState);
    digitalWrite (led, ledState);
}
```

De ESP8266 als access point

De bovenstaande opzet werkt op zich prima, maar het kan allemaal nog wat eenvoudiger wanneer een ESP8266 als access

point wordt geconfigureerd (zie **figuur 2**). Maximaal vijf modules of computers kunnen dan met dit soft access point verbinding maken. En bovendien kan de module ook nog als station zenden en ontvangen.

Met de functie `WiFi.softAP()` wordt de ESP8266 als access point geconfigureerd (met naam en wachtwoord).

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <WiFiUdp.h>

int led = 2;
int relay = 5;
boolean ledState;

WiFiUDP Udp;
unsigned int UdpPort = 7923;
char inbuf[255];

void setup() {
    WiFi.softAP ("ELEKTOR-01", "password");

    pinMode (led, OUTPUT); digitalWrite (led, 1);
    pinMode (relay, OUTPUT); digitalWrite (relay, 0);

    Udp.begin (UdpPort); // listen on port
}

void loop() {
    if (Udp.parsePacket()) {
        int len = Udp.read (inbuf,255);

        if (inbuf[0] == '1') ledState = 0;
        if (inbuf[0] == '0') ledState = 1;

        digitalWrite (relay, !ledState);
        digitalWrite (led, ledState);
    }
}
```

Standaard start de ESP-module op met het IP-adres 192.168.4.1. De modules die verbinding willen maken met dit access point moeten dus een IP-adres gebruiken uit de reeks 192.168.4.2...192.168.4.254.

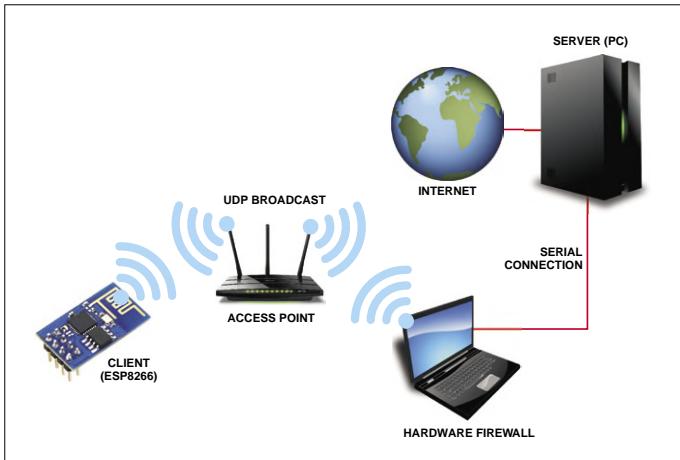
Met de functie `WiFi.softAPConfig()` kan het adres van het access point worden aangepast:

```
IPAddress local_IP(192,168,20,1);
IPAddress gateway(192,168,20,1);
IPAddress subnet(255,255,255,0);

void setup() {

    WiFi.softAPConfig(local_IP, gateway, subnet); // change access point address
    WiFi.softAP("ELEKTOR_01", "password");
}
```

Ook na het laden van een nieuw programma blijft de



Figuur 3. Met deze opzet kan een veilige verbinding met het internet worden gerealiseerd.

ESP8266-module als access point werken. In het `setup()`-deel van dat programma dient u de functie `WiFi.softAPdisconnect()` te gebruiken om een eind te maken aan de access point-modus.

Via het menu-item Tools → Erase Flash: "Sketch + WiFi Settings" van de Arduino IDE kunnen de opgeslagen adresgegevens worden gewist.

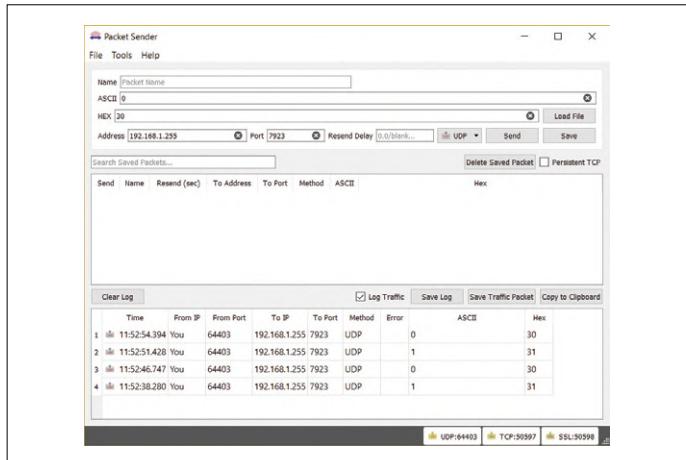
Zoals u hebt gezien, is het helemaal niet moeilijk met UDP broadcast-pakketten een eenvoudig eigen protocol te ontwerpen om apparaten, sensoren en schakelaars met elkaar te verbinden. Elk station binnen het netwerksegment ontvangt alles en kan aan de hand van de ontvangen data beslissen of en zo ja welke actie ondernomen moet worden. Een PC of tablet kan worden gebruikt om de data van alle modules in een overzicht samen te vatten. Het is denkbaar hiervoor meerdere paneel-PC's te gebruiken die dan op verschillende locaties in het netwerk worden geplaatst en altijd en overal dezelfde informatie tonen.

Hardware-firewall

Wanneer toch een verbinding met het internet nodig is, bijvoorbeeld om de communicatie vanaf een geheel andere locatie in de gaten te houden of apparatuur op afstand in te stellen, dan hoeft dat geen veiligheidsrisico te betekenen. Zoals geschatst in **figuur 3** is het denkbaar dat een ESP-module of een PC alle data uit de UDP-pakketten verzamelt, in een tabel samenvat en die dan via een seriële verbinding naar een RPi of PC stuurt die als webserver met het internet is verbonden.

Weblinks

- [1] User Datagram Protocol: https://nl.wikipedia.org/wiki/User_Datagram_Protocol
- [2] Transmission Control Protocol: https://nl.wikipedia.org/wiki/Transmission_Control_Protocol
- [3] Arduino IDE en ESP8266: <https://arduino-esp8266.readthedocs.io/en/latest/installing.html>
- [4] ESP8266 en WiFi: <https://arduino-esp8266.readthedocs.io/en/latest/esp8266wifi/readme.html>
- [5] Packet Sender: <https://packetsender.com>
- [6] Projectpagina bij dit artikel: www.elektormagazine.nl/180453-01



Figuur 4. Met het programma 'Packet Sender' kunnen eigen UDP broadcast-protocollen worden getest en uitgeprobeerd.

Die kan zodanig worden ingericht dat daar niets 'doorheen' komt dat niet van tevoren softwarematig is gesanctioneerd.

Conclusie

Toepassing van UDP-pakketten is eigenlijk zo simpel dat iedereen een eigen, op maat gesneden protocol kan ontwerpen, zoals we hiervoor hebben laten zien. Men is daarbij niet aan enige beperking onderworpen omdat geen gebruik wordt gemaakt van softwaremodules of bibliotheken van derden en men dan niet mag of kan afwijken van de protocollen die daarin voorzien zijn.

En dat past natuurlijk precies in het straatje van de lezers van Elektorlabs: zij kunnen naar hartelust experimenteren met en voortborduren op de voorbeelden uit dit artikel. Met een programma als 'Packet Sender' kan men volgen wat er allemaal gebeurt (**figuur 4**) [5].

De in deze bijdrage besproken voorbeelden kunnen uiteraard gratis worden gedownload van de projectpagina bij dit artikel [6].

(180453-01)





Review: Raspberry Pi 4

nieuw maar nog steeds goed?

Mathias Claussen (Elektor Labs)

De Raspberry Pi 4 is gearriveerd, compleet met een heleboel langverwachte veranderingen. We zijn er natuurlijk meteen mee aan de slag gegaan; hier leest u over onze ervaringen met de nieuwe hardware.

1



2



Eindelijk is hij er: de nieuwe Raspberry Pi 4. De laatste hardware-updates brachten slechts kleine, zeer bescheiden verbeteringen. Van de Raspberry Pi 2 naar de Raspberry Pi 3 was het een grote stap voorwaarts, maar om eerlijk te zijn ging het bij de 3B+ meer om een facelift dan een echte stap voorwaarts ten opzichte van de Raspberry Pi 3. Na de komst van de Raspberry 3B+ zat de concurrentie niet stil en bracht deze krachtiger hardware met meer functionaliteit op de markt, bijvoorbeeld met USB 3 en native Ethernet om maar iets te noemen. De nieuwe Raspberry Pi 4 is qua hardware werkelijk vernieuwd, terwijl de vormfactor zo dicht mogelijk in de buurt is gebleven van die waar we aan gewend zijn. We zullen nu eerst de hardware bekijken (**figuur 1** en **figuur 2**) en dan een blik op de software werpen.

USB-C en PMIC

Het eerste wat opvalt als u de nieuwe Raspberry Pi 4 in de hand neemt, is dat die niet in bestaande behuizingen past. Dat komt doordat de display- en voedingsaansluiting veranderd zijn. De voeding loopt nu via een USB-C connector en een PMIC, terwijl er twee micro-HDMI poorten zijn die high-res ondersteuning voor twee 4K-displays tegelijk via een digitale interface bieden, terwijl u een (voldoend krachtige) USB-C voeding voor de stroomverzorging kunt gebruiken.

Nieuwe SoC van de Pi 4

De twee blauwe USB-poorten zullen u zeker opvallen. Inderdaad, we hebben eindelijk USB 3.0 aan boord, alsmede native

Ethernet, waarmee problemen met de data-overdracht van een aangesloten massageheugen naar het LAN tot het verleden behoren. Dat danken we aan de nieuwe BMC2711 SoC die het hart van de Raspberry Pi 4 vormt (**figuur 3**), met vier Cortex-A72 cores op maximaal 1,5 GHz en met ondersteuning voor maximaal 4 GB RAM. Dat betekent dat de per-MHz-prestaties ten opzichte van de Cortex-A53 zijn verbeterd ten koste van een groter stroomverbruik. Ook met normale desktop-applicaties resulteert dit in een merkbaar betere responsie.

Nieuw is ook de VideoCore VI die een paar nieuwe features ondersteunt zoals een 4K-uitgang en 4K HEVC-decoding bij 60 fps. De SoC is niet voorzien van een ventilator of koellichaam zodat de Pi 4 net zo lekker stil is als de vorige versies. Hoe dit in de praktijk uitpakt, blijkt uit de plaatjes die we met een warmtebeeldcamera hebben gemaakt. Met de nieuwe SoC zijn ook de voedingsvereisten veranderd: in plaats van 5 V bij 2 A als redelijk uitgangspunt (2,5 A bij de 3B+) wordt nu 5 V @ 3 A op de USB-C ingang aanbevolen; we moeten de Raspberry Pi 4 dus met een dikke 15 W voeren.

Naast de CPU zitten er ook een paar andere nieuwe chips op de print. De fotos tonen van dichtbij de Gigabit Ethernet-PHY (van het type BCM5421PE, **figuur 4**) en een USB-hub (type VLI VL805-Q6, **figuur 5**). Wanneer u de datasheet van deze USB-hub bekijkt, merkt u dat er geen USB 3.0 uplink is. In plaats daarvan wordt een PCI-Express-lane gebruikt, die PCI-E 2.0 ondersteunt en achterwaarts compatibel is met PCI-E 1.0. En dat betekent dat u zich over flink wat bandbreedte kunt verheugen.



Wat de draadloze connectiviteit betreft: Bluetooth is opgevoerd naar versie 5.0, terwijl WiFi nu 802.11ac bij 2,4 GHz en 5 GHz is. Meer daarover verderop, wanneer we de data-overdracht uitproberen.

USB 3.0 hub met PCI-E uplink

Enkele van de vertrouwde features die de Raspberry Pi 4 heeft behouden, zijn de RCA-poort, de display-connector en de camera-interface. Ook onveranderd en wat de functionaliteit betreft achterwaarts compatibel is de 40-polige PCB-header. Dat betekent dat we een HAT op de vertrouwde manier kunnen aansluiten (tenminste wat de hardware betreft).

Een woord van waarschuwing: wat u hier leest is gebaseerd op een alpha-image voor de Raspberry Pi 4, en dat betekent dat een paar zaken het (nog) niet doen of ontbreken. We mogen verwachten dat de systeemsoftware mettertijd verbeterd zal worden, net als het geval was met de Raspberry Pi 2, de Raspberry Pi 3 en 3B+ en de Raspberry Pi Zero W.

De software van de Raspberry Pi 4

Dit brengt ons bij de software-ondersteuning voor de Raspberry Pi 4. Omdat we met een pre-beta-versie te maken hebben, werkt niet alles probleemloos, maar aan het updaten wordt gewerkt. We kunnen uit twee mogelijkheden kiezen: een Raspbian buster-image of een NOOBS 3.1. Wij merkten dat beide images prima opstarten en na een kort opstartproces de desktop correct weergeven.

4K video – dubbel

Omdat we nu over twee micro-HDMI poorten beschikken, hebben we twee full HD-schermen op onze Raspberry Pi 4 aangesloten. Zonder verder gedoe kregen we een uitgebreide desktop op beide schermen. We hebben ook het kleine Joy-It 10"-scherm uit onze shop als tweede monitor geprobeerd, maar dat weigerde met de RP1 4 samen te werken. We zouden ondersteuning voor twee 4K monitoren bij 30 fps moeten hebben, of 4K bij 60 fps voor één monitor.

Maar wat met die twee schermen te doen? Op het ene scherm kun je video's afspelen terwijl je op het andere door het web surft; ook 3D-games zijn mogelijk. En daarmee komen we bij de weergavefunctionaliteit.

We deden onze eerste test met VLC op de Raspberry Pi 4 en Big Buck Bunny in 1080p @ 60 fps en in 4K @ 60 fps. Eerst hebben we VLC gestart en het 1080p-materiaal in een 'venster' afgespeeld. Hier moesten we helaas de vloeiente weergave missen waar we aan gewend waren. Tegelijk merkten we een zware belasting van de CPU op, wat er op wijst dat een deel van het decodeerwerk niet door de CPU wordt uitbesteed.

Zodra we 'schermvullend' werken, neemt de belasting van de CPU echter af en genieten we van een vloeiente weergave. En omdat we twee uitgangen hebben, probeerden we ook twee verschillende video's tegelijk weer te geven op de beide schermen. VLC weigerde hier echter mee te spelen – kennelijk kan de videodecoder op dit moment maar één videotstream tegelijkertijd verwerken.

Toen we een 4K-video (in H.264) uitprobeerden in combinatie met een 1080p-monitor, produceerde VLC helemaal geen beeld – alleen geluid, en dat komt omdat 4K alleen in H.265 wordt ondersteund. Voor de 4K-test hebben we materiaal gebruikt van libde265.org. Helaas kregen we met VLC alleen een zwart scherm bij een zware CPU-belasting, wat betekent dat de hardware-decodering niet werkt zoals zou moeten. Omdat 4K-video eigenlijk ondersteund zou moeten worden, nemen we aan dat er een bug in de driver zit, en dat dit nog verholpen zal worden. Wanneer u zich afvraagt hoe de Omxplayer het doet – welnu, die weigert botweg ook maar iets te decoderen omdat hij de hardware niet meer kan benaderen dankzij de voortdurende wijzigingen in de video decoding stack.

Waarom proberen we het na deze test met VLC niet met Kodi? Omdat de meeste video-georiënteerde distributies die circuleren hun images nog niet aan de nieuwe hardware konden aanpassen, konden we alleen een oude versie uit een van de Raspian-repositories te pakken krijgen. Maar dat is zinloos omdat we geen video-versnelling met Kodi op de Raspberry Pi 4 zullen krijgen.

Blauw is het nieuwe zwart...

Eindelijk hebben we nu de beschikking over echte USB-poorten en niet slechts USB 2.0 met een trage uplink naar de SoC. De twee blauwe connectoren en de nieuwe USB-hub maken duidelijk dat het USB 3.0-tijdperk is aangebroken (**figuur 6**). Bovendien wordt Ethernet niet langer via een USB-poort van de hub aangesloten – nu is die direct met de SoC verbonden. Dat betekent meer USB-bandbreedte voor onze periferie en een grote verbetering in de netwerk-doorvoersnelheid.

Nu we USB 3.0 en echte Gigabit Ethernet hebben, willen we ook weten hoe dit presteert. Met 1000 Mbit/s mag u (idealiter) rekenen op een datarate van 125 MB/s, zodat u over een NAS voor thuis kunt gaan nadenken. Voor het testen hebben we Samba gebruikt, omdat dit naar alle waarschijnlijkheid de voorkeursmanier is om netwerkdata te delen, en ook omdat de drie grootste besturingssystemen daarmee overweg kunnen. Als opslagmedium gebruikten we een Kingston Data Traveler 100 USB-stick met 32 GB opslagruimte en EXT4 voor het bestandssysteem. Als tweede optie gebruikten we een RAM-disk omdat we nu genoeg plaats hebben om 1,2 GB te 'verspillen'.



Om die RAM-disk in te richten tikken we in:

```
sudo mount -t tmpfs -o size=1200M none /ramdisk
```

Na de configuratie van Samba (Windows Fileshares onder Linux) hadden we natuurlijk data nodig om te kopiëren. We gebruikten

[bbb_sunflower_1080p_60fps_normal.mp4](#)

en

[bbb_sunflower_2160p_60fps_normal.mp4](#)

afkomstig van <http://bbb3d.renderfarming.net/download.html> omdat dit ons 1.004.968 kB aan bestanden oplevert, en we die al onder handbereik hadden van onze videotests. We hebben deze eerst naar de USB-stick gekopieerd en hebben daarna gemeten hoe lang de Raspberry Pi 4 er over ze naar de RAM-disk te kopiëren met een gewoon 'cp'-commando. Een RAM-disk als tweede opslagmedium voorkomt eventuele vertragingen. Met een klein script dat een timestamp aan het begin van de overdracht en een tweede timestamp aan het eind toont, kwamen we uit op 9,3 s, corresponderend met 108,05 MB/s – jammer genoeg het maximum van de flashdrive die we gebruikten. Wanneer we de bestanden een tweede keer kopiëren, valt een toename van de overdrachtssnelheid op omdat nu de extra RAM van pas komt als een cache. Vergelijken met de Raspberry Pi 3B+ is dat behoorlijk snel, omdat we met USB 2.0 niet meer dan maximaal ongeveer 50 MB/s kunnen halen. En bij de Raspberry Pi 3B+ moeten we ook nog eens bandbreedte delen met Ethernet. Over Ethernet gesproken: van de RAM-disk kunnen we op 102 MB/s nuttige data via SMB share lezen, en dat zit dicht in de buurt van het maximum voor 1 Gbit/s wanneer we de SMB-overhead meerekenen. Voor de bestanden gebruiken we een Windows 10 Pro-machine met een SSD als bestemming. Ons laatste experiment was kopiëren van data van de USB-stick.

We wisten al dat we daar data kunnen uitlezen met snelheden van meer dan 100 MB/s. Bij de overdracht kwamen we nu uit op 98 MB/s (ook hier dus enige overhead van de USB-stick). Voor een kleine en goedkope webserver is dit best in orde; op deze verbeteringen hebben we lang moeten wachten.

Zet de radio aan

Net als bij de Raspberry Pi 3B+ is de eigenlijke WiFi-chip onder een blikplaatje verstopt omwille van een beter EMI-gedrag. De layout van de antenne is ook vergelijkbaar met die van eerdere modellen. Laten we nu eens een blik werpen op de WiFi-functionaliteit.

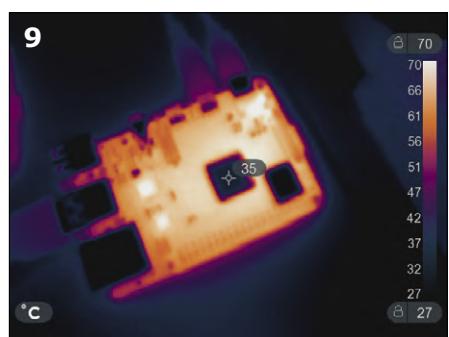
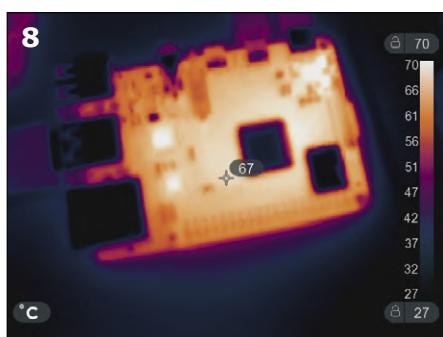
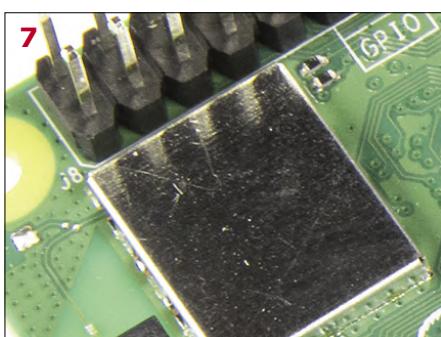
Op de Raspberry Pi 4 hebben we weer de RAM-disk gebruikt om data te kopiëren naar onze Windows 10-PC. Daarbij hebben we LAN losgekoppeld en WiFi in de 2,4-GHz-band gebruikt. Hier haalt de Raspberry Pi 4 een draadloze overdrachtssnelheid van maximaal 150 Mbit naar een access point dat in principe 300 Mbit/s kan halen. We hebben dit getest met een bijna 'ideale' opstelling waarbij de Pi 4 en het access point elkaar konden zien, op minder dan 10 m afstand. In de 'echte' wereld zal dan zelden voorkomen, maar in ons lab ging het niet anders. We hebben evenveel data (1.004.968 kB) als bij de eerdere tests overgedragen; de overdracht was na 159 s klaar. Dat komt neer op een overdrachtssnelheid van 6,32 MB/s. Dat is best in orde, maar hoe zit het met de 5-GHz-band, is die sneller? Ja, dat is zo. Maar daar zitten we met het probleem dat we een kanaal lager dan 64 moeten gebruiken, anders kan de Pi het niet vinden. Hier haalden we een overdrachtssnelheid van 7,17 MB/s dankzij de draadloze snelheid van 200 Mbit die de Raspberry Pi 4 biedt. Dat is acceptabel voor video-streaming – maar het is waarschijnlijk niet genoeg om de Raspberry Pi 4 als access point te kunnen gebruiken.

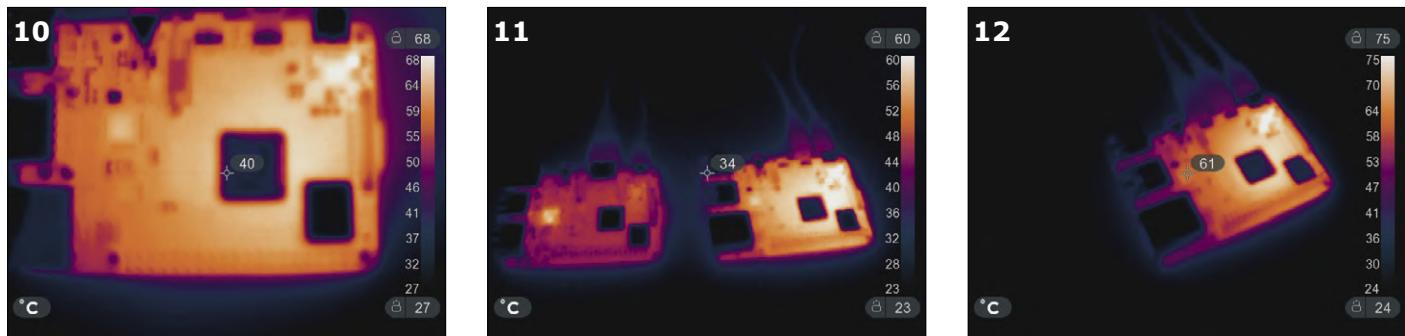
Bluetooth! Ja, dat is aan boord en het werkt met Linux zoals u zou verwachten. Jammer genoeg hadden we geen Bluetooth 5.0-apparaat bij de hand om mee te experimenteren, maar zodra dat het geval is laten we u weten hoe dat werkt.

Hoe snel is snel?

De processor-cores draaien nu op maximaal 1,5 GHz, en dat is 100 MHz meer dan bij de Raspberry Pi 3B+. Op papier is de Pi 4 dus 7,1% sneller dan de Raspberry Pi 3B+, en dat lijkt niet veel. Maar tegelijk zijn voor die cores bij de Pi 4 Cortex-A72 exemplaren gebruikt. En deze zijn in eerste instantie ontworpen met prestaties per MHz in gedachten, terwijl de prestaties per watt op de tweede plaats kwamen. Alles bij elkaar worden de prestaties ten opzichte van de 3B+ hierdoor beter. Wanneer we sysbench op een enkele core loslaten en intypen

```
sysbench -test=cpu run
```





dan duurt dit 121,35 s bij de Raspberry Pi 3B+. Als we dezelfde test op een van de Raspberry Pi 4 cores loslaten, meten we 92,78 s rekentijd – en dat is ruwweg 30% sneller dan de Raspberry 3B+ voor deze test. Wanneer we deze test op beide systemen op alle vier cores uitvoeren, vinden we 35,54 s voor de Raspberry Pi 3B+ en 23,25 s voor de Raspberry Pi 4 – een forse verbetering die vooral aan de nieuwe cores te danken is. Oké, dat klinkt best wel goed wat de CPU-prestaties betreft, maar er hangt wel een prijskaartje aan: er wordt meer vermogen verstoort. Wanneer we de plaatjes van de warmtebeeld-camera bekijken (**figuur 8** en **figuur 9**), is duidelijk te zien dat de Pi 4 heter wordt dan de 3B+.

Wanneer we hem met wat software ‘belasten’, loopt de temperatuur op naar waarden die niet leuk meer zijn. We zien hotspots van 68 °C; met een temperatuur van 55 °C mogen we aannemen dat de SoC zich nog redelijk goed voelt. Het software-image dat we gebruikten was nog een prerelease-versie zodat we aannemen dat dit nog verbeterd wordt. Ten gevolge van de achtergrond van de Cortex-A72 (snelheid belangrijker dan verbruik) rekenden we al op een ‘serieuze’ dissipatie, maar minder dan we hier hebben gemeten. De zwarte gedeelten in de warmtebeeldplaatjes zijn de metalen deksels van de CPU en de draadloze module, maar geloof me – die zijn echt niet zo koud als het plaatje suggereert. Bij de Raspberry Pi 4 is het geen goed idee de CPU aan te raken. De andere heldere (en dus hete) plek in het plaatje is de USB 3.0 hub-chip – liever ook maar niet aanraken.

Wanneer we de Raspberry Pi 4 en de Raspberry Pi 3B+ met elkaar vergelijken terwijl ze beide ‘niets’ doen, dan wordt duidelijk dat de Pi 4 niet zo ‘cool’ is als zijn kleine broertje. Dat betekent dat het stroomverbruik in rust geoptimaliseerd moet worden; we verwachten dat dit beter zal zijn zodra de definitieve release uitkomt. **Figuur 10** en **figuur 11** tonen de temperatuur in rust van de Raspberry Pi 3B+ en de Raspberry Pi 4. Het koelere exemplaar links is de 3B+; het exemplaar rechts met de heldere hotspots is de Pi 4.

Dat betekent dat u goed moet nadenken waar u de Raspberry Pi 4 wilt neerzetten. Een donker en stoffig hoekje – prima voor de eerdere modellen maar voor de Pi 4 geen optie. Een onbelemmerde luchtstroom moet de componenten koel houden en oververhitting voorkomen. En wanneer u bedenkt hoeveel warmte het systeem dissipeert, kunt u er beter rekening mee houden dat de voeding heel wat stroom moet leveren.

Over het stroomverbruik gesproken, laten we eens kijken hoe hongerig de Pi 4 is geworden. Daarom hebben we het stroomverbruik in rust gemeten, en tijdens het draaien van de CPU-benchmark en ook terwijl we supertuxkart op 720p resolutie draaiden. Alle tests zijn uitgevoerd met één scherm aangesloten en met het Raspbian alpha-image.

- Desktop in rust: 2,8 W bij een voedingsspanning van 5 V.
- Afspelen van de 1080p Big Buck Bunny-video: ongeveer 3 W fullscreen, en ongeveer 4 W in een venster.
- Met supertuxkart bij 720p: ongeveer 5 W tijdens het rondjes draaien.
- Sysbench: voor één core: 3,9 W en 5,2 W voor alle cores tegelijk.

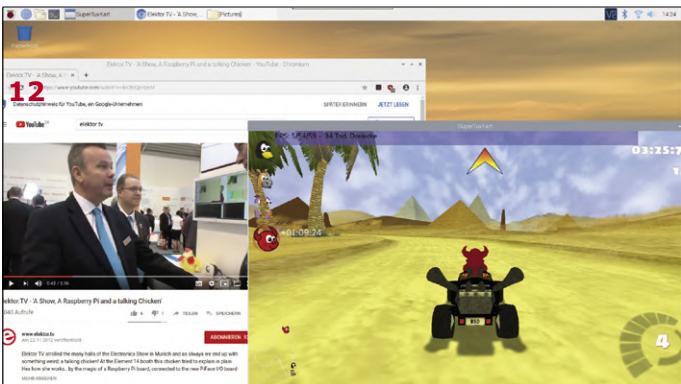
Hoe meer vermogen het systeem verstoort, des te groter wordt ook de gedissipeerde warmte. Wanneer u het systeem hard laat werken, moet u er voor zorgen dat de lucht goed om het systeem kan circuleren. En vergeet niet dat de netwerk- en de USB-chip ook behoorlijk warm worden. Ook moet u er aan denken dat de USB-hub stroom gaat trekken zodra u data via het netwerk gaat overdragen, en datzelfde geldt voor de netwerk- en WiFi-componenten.

Een continu ingeschakeld systeem dat meestal in rust verkeert, zal dan per jaar ongeveer 24,5 kW verstoken. En dat wordt veel meer wanneer u het systeem gaat beladen. Aan de ene kant hebt u veel rekenkracht beschikbaar als u die nodig hebt, maar dan wordt er ook meer warmte geproduceerd, zeker als u een HAT monteert. De extra hoeveelheid RAM biedt leuke mogelijkheden. We kunnen bijvoorbeeld virtuele machines op de Raspberry Pi 4 draaien: webservers, een MQTT-broker of versleutelde data-opslag, waarbij we snel van het ene naar het andere systeem kunnen omschakelen. Hoe goed dit allemaal lukt, zal de tijd moeten uitwijzen.

VideoCore VI: 3D is terug

Iets wat de oudere Raspberry Pi-modellen moesten ontberen was de mogelijkheid 3D-versnelling op de desktop te gebruiken. Met de Raspberry Pi 4 en de driver voor het grafische deel van de VideoCore VI is die mogelijkheid eindelijk beschikbaar. Nu hebben we op de desktop 3D-versnelling in ‘venster’-modus, en dat werkt prima! De nieuwe core heeft geen problemen met zaken als supertuxkart, waarvoor op de Raspberry Pi 3B+ een heleboel tweaks nodig waren (en zelfs dan vaak weigerde te draaien).

De Raspberry Pi 4 start het spel betrekkelijk snel op, en bij een resolutie van 1024x768 en met de effecten gereduceerd tot niveau 3, kunnen we een paar rondjes draaien bij gemiddeld 40 fps. Wanneer we overgaan op 720p neemt de frame rate af tot gemiddeld 29 fps, maar dat is nog altijd ‘speelbaar’ – een duidelijke verbetering ten opzichte van de Raspberry Pi 3B+. Vraag ons echter niet hoe een N64- of PS1-emulator draait: we hebben die helaas niet op tijd voor deze besprekking aan de praat gekregen. Zodra dat het geval is, zullen we de testresultaten natuurlijk presenteren; u kunt er waarschijnlijk wel van uit gaan dat dit beter gaat dan met de oudere versies.



Aansluitmogelijkheden van de Raspberry Pi 4

Velen van u die al een oudere Raspberry Pi bezitten, of die willen beginnen met een of andere bestaande uitbreiding, zitten natuurlijk met de vraag of bestaande add-ons op de Raspberry Pi 4 kunnen worden aangesloten. Het antwoord is: jazeker, maar als u een van die TFT-displays gebruikt die op HDMI moeten worden aangesloten, zult u wel een nieuw kabeltje nodig hebben.

De aansluitingen van en de ondersteuning voor camera en display zijn in vergelijking met de Raspberry Pi 3B+ niet veranderd, en hetzelfde geldt voor de populaire 40-polige connector aan de rand van het printje. We kunnen dezelfde uitbreidingen aansluiten. Omdat die 3 A kan leveren, kunnen we bijvoorbeeld een StromPi V3 op de Raspberry Pi 4 prikken. De PoE-HAT past ook maar is minder geschikt omdat we dan slechts 2,5 A ter beschikking hebben – het absolute minimum voor de Raspberry Pi 4. Met andere woorden: de PoE-HAT doet het misschien wel, maar met de problemen in gedachten die we daarmee bij de oudere modellen hadden, zullen we daar later nog een keer mee experimenteren. We gaan nu wel een 3,5" TFT op de Pi uitproberen, en ook zullen we het 7" touchscreen van de Raspberry Pi Foundation uitproberen, aangesloten op de displayconnector.

De eerste test bij gebruik van die displayconnector had geen succes: het display werd niet herkend en vertoonde dan ook niets. We kunnen alleen maar aannemen dat dit nog opgelost wordt.

Hetzelfde is het geval met de 3,5" TFT die u direct op de oudere Raspberry Pi-modellen prikt, omdat een paar softwarecomponenten zijn gewijzigd. Na de gebruikelijke configuratie wordt het scherm zelf weliswaar herkend, maar als de grafische uitvoer wordt omgeleid naar het display blijft de Raspberry Pi 4 tijdens het opstarten hangen. Dit probleem kan softwarematig worden opgelost, maar dat is nog niet gebeurd.

Hierna hebben we niet meer geprobeerd een camera op de Raspberry Pi 4 aan te sluiten: we verwachten dat enkele zaken van het prerelease-image niet zouden werken. Zodra de definitieve image is uitgebracht en enige tijd ‘in het veld’ heeft overleefd, zullen we de ondersteuning voor deze componenten nader onderzoeken.

Wat de IO’s betreft (en SPI en I²C in het algemeen): dit werkt naar behoren, en hetzelfde geldt voor de GPIO’s zoals een snelle test aantoonde. Afhankelijk van de software en de gebruikte libraries kan een opstelling die u voor oudere Raspberry Pi-modellen had, ook met de Raspberry Pi 4 werken. Maar omdat dit nog steeds ‘werk in uitvoering’ is, zijn wellicht meer aanpassingen op hun plaats.

Conclusie

We hebben enkele eenvoudige tests uitgevoerd om de prestaties en stroomopname te meten, en we hebben eenvoudige 3D-games geprobeerd. Zoals we aan het begin al vertelden, werkte we met een beta-image voor de Raspberry Pi 4; de definitieve versie zou beter moeten werken. Wat uw favoriete videocentrische distributies zoals openELEC betreft: het zal nog wel enige tijd duren voordat die voor de Raspberry Pi 4 zijn aangepast. En zoals al opgemerkt: de software is niet compleet en heeft een paar patches nodig. Dat duurt even, maar dat zal waarschijnlijk wel gebeuren.

Eindelijk hebben we de upgrades gekregen waar we zo lang op moesten wachten: sneller USB, sneller netwerk, een snellere CPU en ook meer RAM. Daar hangt een prijskaartje aan, niet alleen in euro’s maar ook in stroomverbruik. Terwijl de instapmodellen met 1 GB RAM ongeveer hetzelfde kosten als de Raspberry Pi 3B+, nemen de prijzen toe wanneer u meer RAM wilt. Tegelijk nemen het stroomverbruik en de dissipatie toe. Afhankelijk van de eisen die aan uw project gesteld worden, moet u de voor- en nadelen van meer RAM, meer stroomverbruik, meer displays of 4K tege elkaar afwegen of eventueel uw toevlucht nemen tot een van de oudere Raspberry Pi-modellen.

Maar eerlijk is eerlijk, we vonden de extra hoeveelheid RAM in dit nieuwe model best wel lekker. Ook maakte de USB 3.0-ondersteuning de overdracht van data van en naar het netwerk snel en gemakkelijk. De mogelijkheid om 2 displays aan te sluiten bij 4K-ondersteuning maakt de Raspberry Pi 4 tot een aantrekkelijke Thin Client, een digitale flipperkast, een prima speeltje voor in de huiskamer, een NAS-applicatie of zelfs een kleine kantoorcomputer. ◀

(190324-03)

Gaat u commercieel?

De Raspberry Pi 4 is een stap voorwaarts. Wanneer het echter om commercieel gebruik gaat, zitten we nog altijd met de problemen die alle Raspberry Pi-modellen hebben. Een daarvan is de microSD-kaart. Wanneer die gedurende langere tijd wordt gebruikt zonder optimalisatie, zal die uiteindelijk domweg dienst weigeren. Daarom blijft een SATA-poort op ons verlanglijstje staan. Wellicht hebt u ook een probleem met de grotere warmtedissipatie waardoor

beter koeling en meer luchtcirculatie nodig is. Voor ruwe omgevingen of moeilijk bereikbare locaties is de nieuwkomer dus niet echt aanbevolen, hoewel de 4 GB RAM mogelijkheid biedt de afhankelijkheid van de SD-kaart te verkleinen.

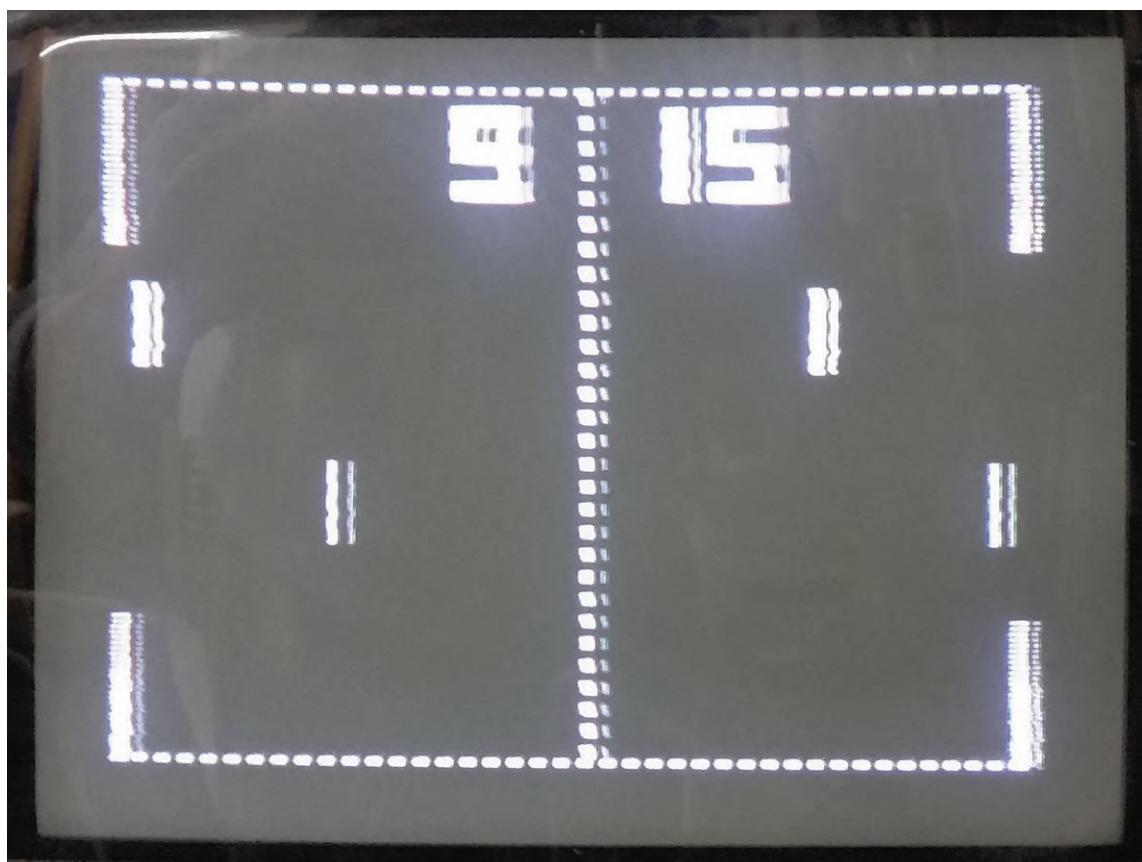
Diegenen onder u die zich bezig houden met digital signage-toepassingen, informatiesystemen of multimedia-applicaties zullen de Raspberry Pi 4 echter zeker verwelkomen.

De eerste videospelconsole van Elektuur

doet het na 42 jaar nog altijd

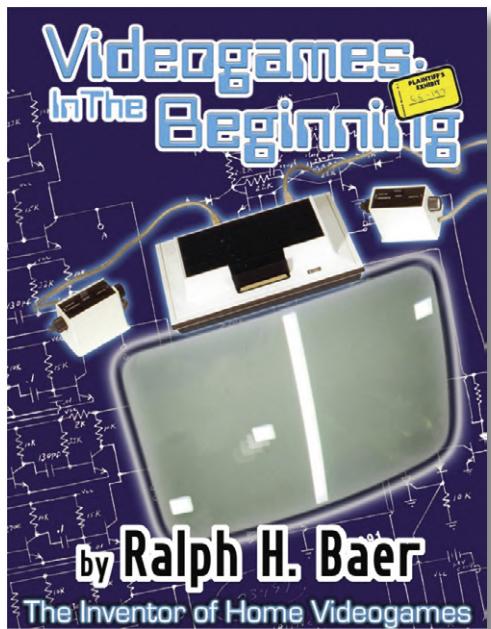
Dipl.-Inf. Karl-Ludwig Butte (Duitsland)

In de Halfgeleidergids juli/augustus 1977 verscheen de bouwbeschrijving van de eerste videospelconsole van (toen nog) Elektuur, met de geïntegreerde schakeling AY-3-8500 van General Instruments. Met slechts enkele externe componenten en een professionele Elektuur-print was een succesvolle nabouw vrijwel gegarandeerd. Maar de IC AY-3-8500 stond niet het begin van de videospellen, maar vormde veeleer het hoogtepunt van meer dan tien jaar ontwikkeling. Laten we hier samen de verbazingwekkende geschiedenis van videospellen bekijken, en beleef mee hoe een originele Elektuur-schakeling na 42 jaar weer in gebruik is genomen!



"Ik ... heb een mentale inventarisatie gemaakt van al die honderden miljoenen televisies overal ter wereld die niets anders deden dan het programma van de lokale zenders weergeven. En ik kreeg een flits van inspiratie – een eureka-ervaring – en het TV-spel was geboren... een beetje vroeg, technisch gezien,

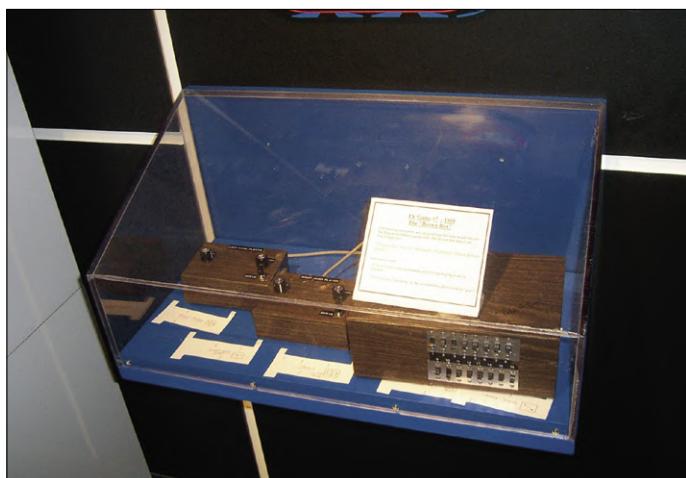
omdat er nog geen goedkope microprocessoren beschikbaar waren en digitale IC's nog steeds te veel kostten, dus de spelletjes moesten wel tamelijk primitief zijn." Zo beschrijft Ralph H. Baer zijn aanvankelijke gedachten in de inleiding van zijn boek "Videogames: In the Beginning"



Figuur 1. Het boek "Videogames: In the Beginning" van Ralph H. Baer [1].



Figuur 2. Ralph Baer op de Lara Games Award 2009 in Keulen [2].



Figuur 3. Het prototype van de "Brown Box" van Ralph Baer, tentoongesteld in het Smithsonian [3].



Figuur 4. De spelconsole "Odyssey" van Magnavox, 1972 (Foto: Evan Amos, public domain).

(figuur 1), die uiteindelijk leidden tot de ontwikkeling van videogames en daarmee tot een miljardenindustrie. Dat was in 1966: Engeland werd in dat jaar voetbal-wereldkampioen, de Sovjet-Unie voerde haar eerste (onbemande) maanlanding uit met de Luna 9 en Kurt Georg Kiesinger werd de derde bonds-kanselier van de Bondsrepubliek Duitsland.

Ralph H. Baer (figuur 2) werd in 1922 in Rodalben bij Pirmasens in Duitsland geboren en vluchtte in 1938 met zijn familie – net op tijd – naar Amerika omdat hij joods was. Na de oorlog studeerde hij aan het American Television Institute of Technology in Chicago en studeerde hij in 1948 af met een Bachelor of Science. In 1955 kwam hij in dienst van Sanders Associates, leverancier van militaire elektronica, waar hij 30 jaar werkte. "Maar videospelletjes hebben toch niets met bewapening te maken", zult u opmerken. Baer zag dat anders. Hij was visionair genoeg om zich dezelfde technologie die hij als basis voor videospellen wilde gebruiken, als uitgangspunt voor het simuleren van en trainen met wapensystemen te nemen. En nog belangrijker is: hij wist zijn superieuren van deze visie te overtuigen zodat zijn project het groene licht kreeg.

Eerste experimenten

Baer ging aan de slag met een klein budget en één technicus. De eerste experimentele schakelingen waren gebaseerd op buizen, zoals de schakeling op bladzijde 221 in het boek "Videogames: In the Beginning" [1], waarmee een verticale lijn met een vaste breedte op het scherm werd weergegeven. Deze lijn kon met de hand horizontaal worden verplaatst en onderaan het scherm in hoogte kon worden gevarieerd. Al snel werd duidelijk dat de doelstellingen niet met buizen konden worden gerealiseerd en op transistor moest worden overgestapt. Op bladzijde 223 van hetzelfde boek kunt u het eerste transistor-gebaseerde ontwerp bewonderen. In 1968 introduceerde Baer de "Brown Box" aan het management van Sanders Associates – een prototype dat al zeven verschillende spelle-

tjes, een handbediening en een lichtgeweer voor schietspelletjes bood. Dit prototype bevindt zich nu in het Smithsonian Institution in Washington, DC (**figuur 3**).

Licentienemer gezocht – dringend

Om het geld dat al in het project was geïnvesteerd terug te verdienen zonder de naam "Sanders" voor consumentenelektronica te moeten gebruiken, besloot het management op zoek te gaan naar een licentienemer voor het nieuwewetse videospel te zoeken. Dat bleek makkelijker gezegd dan gedaan en het duurde jaren voordat uiteindelijk een overeenkomst kon worden gesloten met het Amerikaanse Magnavox, dat TV-toestellen produceerde. In september 1972 werd de Magnavox-spelconsole "Odyssey" op de Amerikaanse markt geïntroduceerd (**figuur 4**).

"Odyssey" sloeg in als een bom! Al snel volgden nieuwe versies met nieuwe spellen, exportversies voor andere landen met televisiestandaarden die afwijken van die in de VS, en natuurlijk imitaties van andere bedrijven. In maart 1975 bracht General Instruments tenslotte het IC AY-3-8500 uit (**figuur 5**), waarmee we de cirkel naar de Elektuur Halfgeleidergids van 1977 rondmaken.

General Instruments komt ten tonele

General Instruments (GI) was een van de grootste fabrikanten van halfgeleidercomponenten in de VS en werd in 1948 opgericht. Het bedrijf heeft een veelbewogen geschiedenis – zo was van 1990 tot 1993 Donald Rumsfeld, de latere Amerikaanse minister van Defensie, de CEO. In 1997 werd de onderneemming opgesplitst in drie afzonderlijke bedrijven, waarvan er twee werden overgenomen door Vishay Intertechnology resp. Motorola. Alleen de kabel-TV-divisie CommScope heeft tot op heden weten te overleven.

In de Schotse vestiging van GI in Glenrothes, ten noorden van Edinburgh, heeft Gilbert Duncan Harrower in 1975 bijna alle elektronica die nodig was voor een videospel als "Odyssey" van Magnavox in één enkel geïntegreerd circuit weten onder te brengen: de geboorte van de AY-3-8500! Dr. Ed Sacks, general manager van de GI-vestiging in Hicksville (VS) hoorde daarvan.



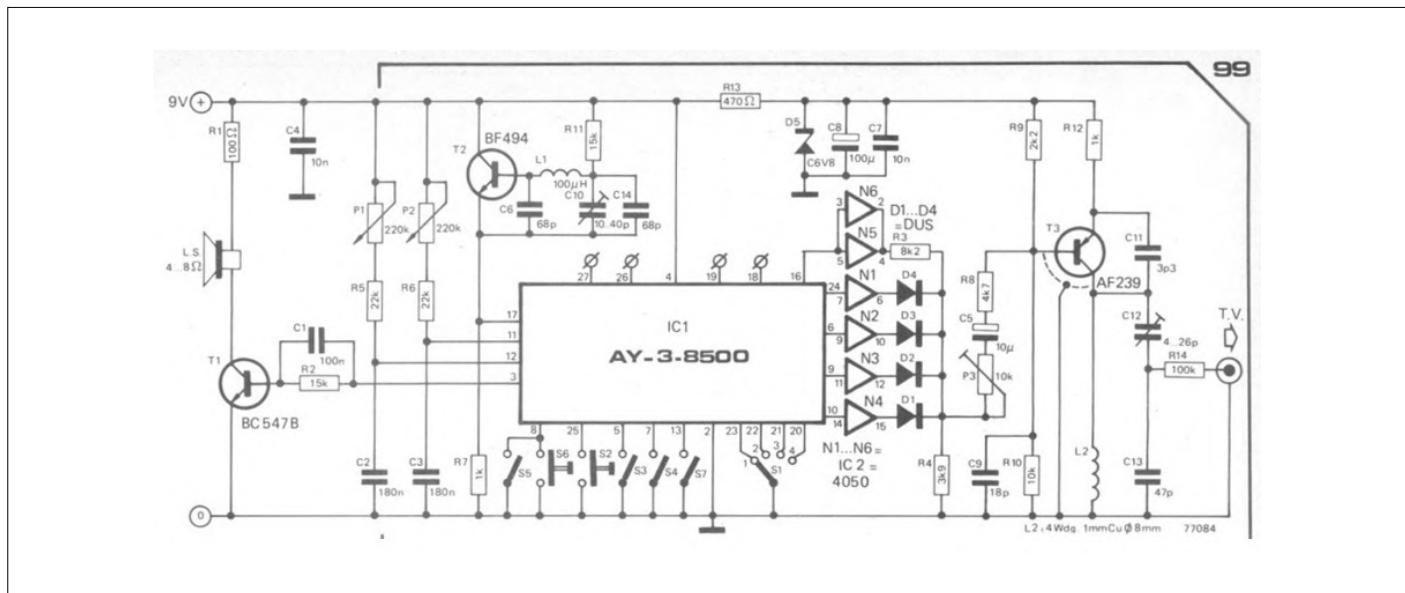
Figuur 5. De IC AY-3-8500 van General Instruments, 1975 [4].

Hij haalde het IC samen met twee ingenieurs van Schotland naar de VS en nodigde Ralph Baer uit voor een presentatie in Hicksville. Met hulp van Baer werd de firma Coleco als eerste commerciële klant binnengehaald. "Telstar" was het eerste spelconsoleproduct van Coleco en was een doorslaand succes – niet werkelijk vanzelfsprekend wanneer we bedenken dat Coleco als Connecticut Leather Company door de Rus Maurice Greenberg in 1932 in New York was opgericht en aanvankelijk lederwaren aan schoenmakers verkocht.

Zomertijd – tijd voor de Halfgeleidergids

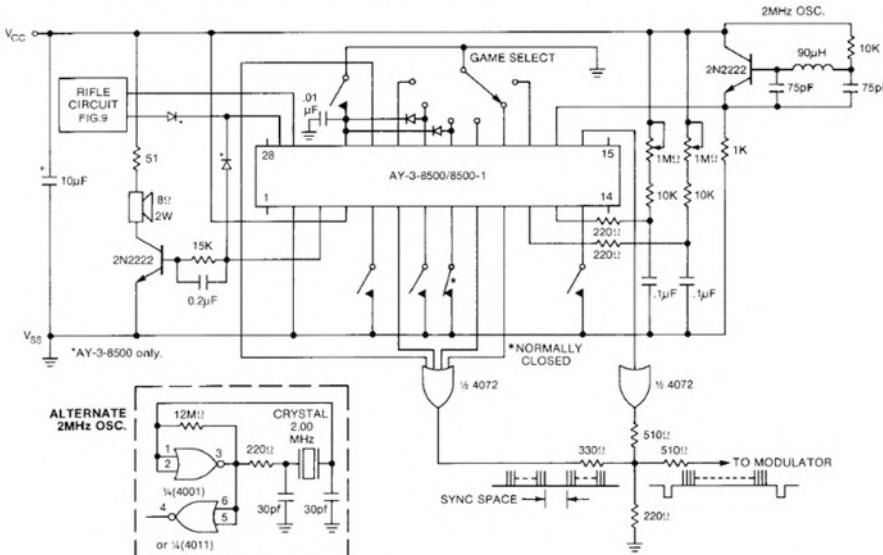
In november 1975 publiceerde Elektuur een bouwbeschrijving onder de naam "TV Tennis". Dit spel was compleet uitgerust met TTL-IC's uit de '74-serie en talloze transistoren. Het circuit realiseerde alleen dit ene spel en het schermontwerp was beperkt tot de bal en twee rackets. Maar dit project is het vermelden waard omdat de beschrijving van de schakeling op indrukwekkende wijze de principes uitlegt waarop de video-spellen van de jaren zeventig gebaseerd waren.

Ik was in 1977 (nog) geen vaste Elektuur-lezer, maar de Halfgeleidergids van dat jaar was verplichte kost. Al bladerend kwam ik het videospel-project tegen en was meteen gefascineerd. De bouwbeschrijving was vrij beknopt, maar er was in ieder geval een professionele print van de Elektuur Printservice. **Figuur 6**



Figuur 6. Schema van de eerste Elektuur videospelconsole uit de Halfgeleidergids 1977.

SYSTEM DIAGRAM 1: BLACK AND WHITE IMPLEMENTATION



Figuur 7. Referentie-implementatie met de AY-3-8500 (General Instruments Corp. – Microelectronics: "Gimini TV Game circuits", januari 1978).

toont het schema. U ziet dat er naast de AY-3-8500 eigenlijk slechts weinig externe componenten nodig waren. Een vergelijking met de referentie-implementatie van **figuur 7** [5] laat duidelijk zien dat Elektuur deze referentie als uitgangspunt heeft gebruikt. Het schietspel met het lichtgeweer werd weggeleten en er werd versie van de AY-3-8500 gebruikt die was aangepast aan de Nederlandse televisiestandaard met 625 lijnen. Voor de Amerikaanse NTSC-televisionstandaard met 525 lijnen had de AY-3-8500-1 gebruikt moeten worden.

Het hoofd-IC was met ongeveer 30 DM rijkelijk duur voor mijn beperkte budget, maar ik was vastbesloten om zelf zo'n videospel te bouwen. Het resultaat is te zien in **figuur 8**. Het ziet nog precies zo uit als 42 jaar geleden. Maar zou hij het nog doen? Met spanning heb ik de behuizing geopend om een indruk van de toestand van het inwendige te krijgen (**figuur 9**).

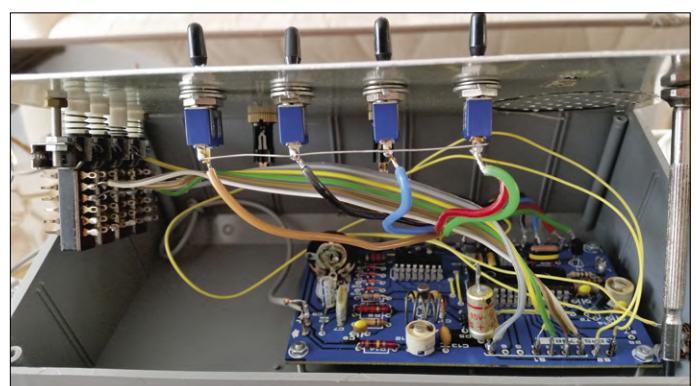
figuur 10 toont de volgebouwde print. Dat alles zag er nog heel behoorlijk uit.

De keramische condensator C1 bleek beschadigd en is vervangen. Gelukkig heb ik ook de antenneconnector gecontroleerd: de signaalader was losgeraakt door een losse bevestigings-

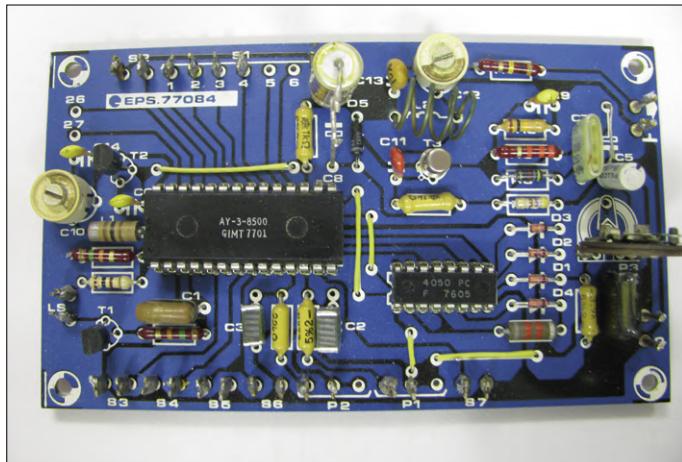
schroef. De kleine luidspreker in het apparaat had echter de geest gegeven: de membraan was grotendeels losgekomen van de ophangring en de draden naar de spreekspoel leiden waren kapot. Omdat ik geen geschikte vervanger bij de hand had, heb ik besloten om dan maar van geluid af te zien. Dat was geen groot offer omdat al dat "gepiep" me destijds al op de zenuwen werkte. Nadat de andere kleinere problemen waren opgelost, heb ik het spel aangesloten op de antenne-ingang van een oude buizen-TV, de handbediening en de voeding aangesloten en de boel ingeschakeld. Het artikel beval kanaal 30 aan voor het scherpste beeld. Na lang proberen en een moeizame verdraaien van de twee trimcondensatoren C10 en C12 kreeg ik het beste beeld op kanaal 29, zoals u in **figuur 11** kunt bewonderen. Alles werkte nog steeds zoals toen. Voorwaarde is wel een "antieke" buizen-TV, met moderne digitale apparaten hebt u geen kans. Maar in Elektorlabs juli/augustus 2018 heeft Neil Gruending verwezen naar een oplossing voor precies dit probleem waarbij de modulator van het schakeling wordt omzeild en het videosignaal eerder wordt afgenoemt om het op de AV-ingang van een TV aan te sluiten [9].



Figuur 8. Het apparaat van de auteur, nagebouwd uit de Halfgeleidergids 1977.



Figuur 9. Een blik in het apparaat van de auteur.



Figuur 10. De door de auteur opgebouwde Elektuur-print.



Figuur 11. Het apparaat van de auteur doet het na 42 jaar nog altijd met een oude buizen-TV.

Ralph H. Baer – miljonair?

In dit artikel hebben we de geschiedenis van de videospellen van Ralph H. Baer gevolgd (van het eerste begin in 1966 tot de ontwikkeling van de AY-3-8500 IC door General Instruments in 1975 en de Elektuur Halfgeleidergids van 1977). Daaruit heeft zich een wereldwijde multi-miljard-dollar industrie ontwikkeld die vandaag de dag nog steeds groeit. Maar betekent dat omgekeerd dat Ralph H. Baer miljonair of miljardair is geworden? Nee. Iets uitvinden is gemakkelijk, zoals hij zelf zei ([1], bladzijde 110), maar het is veel moeilijker om die uitvinding vervolgens te verkopen. Zelfs zijn erkenning als de vader van het videospel werd betwist door Nolan Bushnell, oprichter van Atari. Maar omdat Baer gewend was om alles nauwgezet te documenteren, won hij in 1982 een octrooi-rechtszaak tegen Bushnell. Naast andere bewijzen kon hij een bezoekerslijst van een Magnavox-presentatie van de videospelconsole "Odyssey" uit 1972 voorleggen, die ook door Nolan Bushnell als deelnemer was afgetekend. Bushnell had de spelletjes die in de "Odyssey" waren geïmplementeerd, dus al vóór de ontwikkeling van zijn arcade-spel "Pong" op dit Magnavox-evenement leren kennen.

In 2005 schonk Ralph Baer alle nog bestaande hardware en documentatie van zijn ontwikkeling van het videospel aan het *Smithsonian National Museum of American History* [6] en kwam in 2006 naar Berlijn als beschermheer van een speciale tentoonstelling in het *Computer Games Museum* [7]. Het hier opgenomen video-interview bevindt zich op Spiegel Online [8]. Ralph Baer is op 6 december 2014 op 92-jarige leeftijd in Manchester, New Hampshire (USA) overleden. Maar zijn ideeën, constructies en de moderne doorontwikkelingen daarvan bieden ook vandaag de dag nog steeds veel spelplezier – wereldwijd. ▀

(189574-F04)

ESTD 2004

www.elektor.tv

Retrotronica is een rubriek over oude elektronica en legendarische Elektor-ontwerpen. Bijdragen, suggesties en vragen zijn meer dan welkom; stuur uw telex of telegram naar redactie@elektor.nl

Weblinks

- [1] Baer, Ralph H. "Videogames: In the beginning", Rolenta Press, Springfield, NJ, USA, 2005: <https://bit.ly/33PHNeT>
- [2] Ralph Baer op de Lara-Games-Award 2009 in Keulen (foto: Michael Schilling, Creative Commons License): <https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Ralph-Baer.jpg>
- [3] Het prototype van de "Brown Box" prototype van de Magnavox "Odyssey", gesigneerd door de bouwer Ralph Baer (foto: George Hotelling, Creative Commons Attribution-Share Alike 2.0 Generic License): <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2859746>
- [4] General Instruments AY-3-8500 - antic pong TV spel (foto: Atreyu. Creative Commons Attribution 3.0 Unported License): <https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:AY-3-8500.jpg>
- [5] General Instruments Corp. – Microelectronics: "Gimini TV Game circuits", januari 1978, blz. 4 : <https://web.archive.org/web/20120316160455/http://www.pong-story.com/GIMINI1978.pdf>
- [6] Smithsonian National Museum of American History: <https://invention.si.edu/ralph-h-baer-papers>
- [7] Computerspiele-Museum Berlijn : www.computerspielmuseum.de/1262_Unser_Schirmherr.htm
- [8] Video-Interview op Spiegel Online: www.spiegel.de/netzwelt/games/ralph-baer-erfinder-der-spielkonsole-ist-tot-a-1007139.html

SHOP-HIGHLIGHT

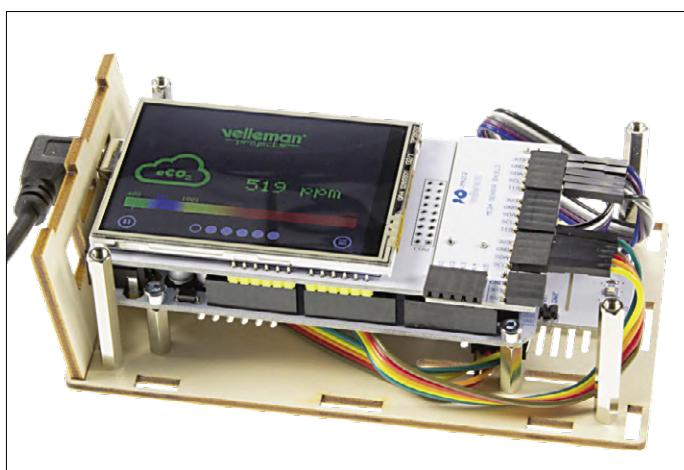
Luisteren, genereren en voeden...

...wat wil een elektronicus nog meer?



Het klimaat – iedereen heeft het erover maar degenen die daar de macht toe hebben, doen er niets aan. Met één van de hier besproken producten kunt u echter tenminste het microklimaat in woning of kantoor in de gaten houden en daar indien nodig iets aan doen.

Velleman Earth Listener



Om bij voorbaat eventuele misverstanden uit de weg te ruimen: dit apparaat ‘luistert’ niet naar de aarde... Het product met de ietwat bevreemdende naam ‘Earth Listener’ is een bouwpakket van Velleman waarmee u het microklimaat in woning of kantoor in de gaten kunt houden.

Het is een Arduino-gebaseerde sensormodule die temperatuur, luchtdruk, luchtvochtigheid, CO₂-concentratie en vluchte organische stoffen meet en de meetwaarden op een TFT-aanraakscherm weergeeft en/of op een SD-kaartje opslaat. En om het geheel af te ronden bevat de schakeling nog een gevoelige bliksemdetector met een bereik van ongeveer 20 km.

De Arduino-software van de Earth Listener is open source; het sensor-shield biedt de mogelijkheid om zelf nog zes extra sensoren toe te voegen. Heel wat mogelijkheden voor zo’n klein kastje – maar dat moet u dan nog wel even opbouwen. Die montage is niet problematisch: er hoeft niets (!) gesoldeerd

te worden, en om de boutjes aan te draaien is een inbussleutel bijgeleverd. Met een half uurtje of zo zou de montage toch wel gepiept moeten zijn.

De firmware is al voorprogrammeerd; na het inschakelen van de voeding verschijnt (als alles goed is gegaan, en waarom zou dat niet het geval zijn) op het display de melding dat drie sensoren zijn gedetecteerd. Ingebouwd in de lasergesneden houten behuizing ziet het geheel er in elk geval heel netjes uit. De broncode van de Earth Listener staat op GitHub en is daarmee beschikbaar voor iedereen die er zelf mee aan de slag wil. Inmiddels kan versie 3.4 van de firmware worden gedownload. De gecombineerde thermo/hygro/barometer annex gas- en stofdeeltjessensor fungeert inmiddels bij ons in het Elektor-lab als elektronische scheidsrechter bij discussies over het al dan niet openen van een venster...

Functiegenerator Siglent SDG1032X

In het vorige nummer van Elektorlabs hebben we een DDS-signalgenerator van JOY-iT nader bekijken. Het Siglent-exemplaar dat we hier kort aan u willen voorstellen, is weliswaar duurder, maar heeft daarvoor dan ook een paar extra mogelijkheden te bieden.

Een van de belangrijkste kritiekpunten bij de JOY-iT generator was de kunststof behuizing die een beetje een goedkope indruk maakt. De Siglent SDG1032X daarentegen is ondergebracht in een degelijke metalen behuizing met rubber stootranden en kan daardoor tegen een fors stootje.

Aan de voorzijde van de generator bevinden zich twee BNC-bussen voor de beide signaaluitgangen; aan de achterzijde zitten nog een LAN- en USB-aansluiting plus drie BNC-connectoren voor de (ingeboorde) frequentieteller, voor het 10MHz-referentiesignaal en voor eventuele synchronisatie met andere meetapparatuur.

Het bedieningspaneel bestaat uit een grote draaiknop, en numeriek toetsenbordje en een aantal functietoetsen. Onder het display bevinden zich nog 6 softmenu-toetsen waarvan de actuele functie op het display getoond wordt.

IN DE STORE



– Velleman Earth Listener (bouwpakket)

www.elektor.nl/18917



A propos display: dat is een helder 4,3-inch-exemplaar dat in één oogopslag alle belangrijke instellingen laat zien, alsmede de vorm van het ingestelde uitgangssignaal.

Het instrument (met een bandbreedte van 30 MHz en een uitgangsamplitude van 20 V_{pp}) biedt een heleboel analoge en digitale modulatiemogelijkheden: AM, DSB-AM, FM, PM, FSK, PSK en PWM. Bovendien biedt de Siglent-generator de mogelijkheid om harmonischen naar keuze en naar smaak aan het uitgangssignaal toe te voegen. Dit nodigt uit tot experimenteren! Ook heel fijn is dat de sweep- en burstfunctie niet alleen van een sinus gebruik kunnen maken, maar ook van andere golfvormen.

Bij blokgolven en pulsen bedraagt (bij correct afgesloten BNC-kabel) de stijgtijd ongeveer 4,5 ns, wat in golfvormen resulteert die een genot zijn voor het oog. Het is zelfs mogelijk om per flank de steilheid in te stellen.

Voor iedereen die zich serieus met elektronica bezighoudt, is de Siglent SDG1032X zíjn geld (op het moment van schrijven nog net geen € 350) dubbel en dwars waard.



IN DE STORE

- Siglent SDG1032X functiegenerator
www.elektor.nl/17891

JOY-iT DPS505 programmeerbare labvoeding

De programmeerbare labvoeding JT-DPS5005 van JOY-iT is een kleine module, die echter met 50 V uitgangsspanning en 5 A uitgangsstroom in staat is behoorlijk wat vermogen te leveren: 250 W maximaal. JOY-iT levert met de JT-DPS-Case een behuizing op maat. Alle benodigde grotere en kleinere onderdelen worden in aparte zakjes meegeleverd: schroeven, moeren, plastic afstandsbusen en moeren, connectoren, vlakstekkers, ventilator, kabels, schakelaar en een klein printje dat de voedingsspanning voor de ventilator levert.

Natuurlijk kan de module op een andere manier ingebouwd en gebruikt worden, maar met deze behuizing hebt u alles bij de hand om er een nette en veilige voeding van te maken. Voor deze bespreking is de module in de behuizing van JOY-iT

ingeïnstalleerd.

Voor de ingangsspanning is echter nog een andere voedingsbron nodig. Afhankelijk van de toepassing kan een ingangsspanning van 6 V tot 55 V gebruikt worden; deze externe voedingsbron moet (voor de maximale uitgangsstroom van 5 A van de module) ten minste 5 A kunnen leveren. Voor een eerste test kunt u het beste een (andere) labvoeding gebruiken.

We beperken ons hier tot de belangrijkste mogelijkheden en eigenschappen. Het hoofdmenu laat de ingestelde spanning en stroombegrenzing zien, alsmede de huidige waarden na inschakelen van de uitgang. Tenslotte wordt ook nog de ingangsspanning getoond.

Alle instellingen worden gemaakt via een combinatie van de drie druktoesten links op het front en de gecombineerde draai-/drukknop. Het zal even wennen zijn in welke volgorde men de knoppen moet bedienen om de juiste instellingen snel te kunnen wijzigen. In de handleiding wordt alles echter duidelijk uitgelegd.

Voor onze eerste test hebben we een uiterst goedkope AC/



DC-voeding van Mean Well genomen die meer dan voldoende vermogen en de maximaal toelaatbare spanning kan leveren, de RSP-320-48. Die kan 6,7 A bij 48 V leveren en de uitgang kan met een potmeter zelfs hoger ingesteld worden, tot iets meer dan 55 V; ook dan kan hij nog altijd genoeg stroom leveren. De combinatie vormt dan een 50 V/5 A labvoeding voor een heel interessante prijs. ─

180689-F-01



IN DE STORE

- Joy-iT programmeerbare labvoeding JT-DPS5005
www.elektor.nl/18708
- Behuizing JT-DPS-Case
www.elektor.nl/18709

Achtkanaals timer met OLED-display

op herhaling met beter verkrijgbare onderdelen

Willem Tak (Nederland)

In het maart/april-nummer 2018 van Elektor hebben we een multimer gepubliceerd in twee uitvoeringen: eentje met acht onafhankelijk van elkaar te programmeren kanalen en eentje met zestien kanalen. Beide ontwerpen mochten zich in een aangename populariteit verheugen, maar het achtkanaals exemplaar met OLED-display had last van een groot probleem: enkele cruciale componenten waren op het moment van publicatie al lastig verkrijgbaar en zijn nu helemaal nergens meer te pakken te krijgen.

De auteur heeft dit probleem ook onderkend en het oorspronkelijke ontwerp [1] aangepast zodat het met momenteel goed verkrijgbare onderdelen kan worden opgebouwd. Net als bij het oorspronkelijke ontwerp gaan we hier niet in op het gebruik van de timer – die heeft zoveel mogelijkheden dat we daar de helft van dit nummer mee zouden kunnen vullen. De gebruiksaanwijzing en de geactualiseerde software kunnen (als altijd gratis) van de projectpagina bij dit artikel [2] worden gedownload.

Hardware

In **figuur 1** hebben we het nieuwe schema afgedrukt. Dit wijkt op enkele essentiële details van het oorspronkelijke schema af. We zullen hieronder die wijzigingen stuk voor stuk behandelen.

Controller

In de eerste plaats wordt het hart van de schakeling door een andere controller gevormd: een PIC18F46K22, die nu met 11,0592 MHz wordt geklokt. Deze frequentie is gekozen om de GPS-module (zie verderop) probleemloos te kunnen uitlezen. Voor de 18F46K22 is gekozen omdat die over een groot RAM-geheugen beschikt. Let op: deze controller draait niet meer op +5 V, maar op 3,3 V!

Display

Het oorspronkelijke OLED-display bleek van meet af aan lastig verkrijgbaar en is nu vrijwel onmogelijk nog ergens te vinden. Daarom wordt nu een ander display gebruikt: een grafisch exemplaar met 128x64 pixels van MIDAS, dat bij Far-

nell leverbaar is (bestelnummer 2769702). Let op: dit display heeft andere aansluitingen dan het oorspronkelijke model! De helderheid wordt net als in de oorspronkelijke schakeling geregeld met een potmeter die op analoge ingang A0 van de controller is aangesloten.

GPS-tijd

Ook de oorspronkelijke GPS-ontvanger, die werd gebruikt om de interne klok in te stellen en op gelijkloop te controleren, bleek niet of nauwelijks meer verkrijgbaar. In plaats daarvan wordt nu een NEO-7M GPS-module gebruikt die in elk geval op eBay en bij Amazon(.de) voor weinig geld verkrijgbaar is. In onze shop is de NEO-6M verkrijgbaar die waarschijnlijk ook bruikbaar is (hoewel we dit niet hebben gecontroleerd).

Voeding

Er zijn in de nieuwe opzet geen onderdelen meer die op 5 V draaien; zodoende komt de 5-V DC/DC-converter (TSR12450) te vervallen. Met uitzondering van de relaisdriver en de relais zelf hebben alle componenten nu genoeg aan 3,3 V. De timer verlangt een ingangsspanning van 12 V (afkomstig van een netadapter); IC4 (een TSR12433) maakt daar met relatief weinig verliezen een stabiele 3,3 V van. De ingangsspanning van 12 V is verder alleen nodig voor relaisdriver IC3 en voor de relais zelf. Aan dat deel van de schakeling is overigens niets gewijzigd.

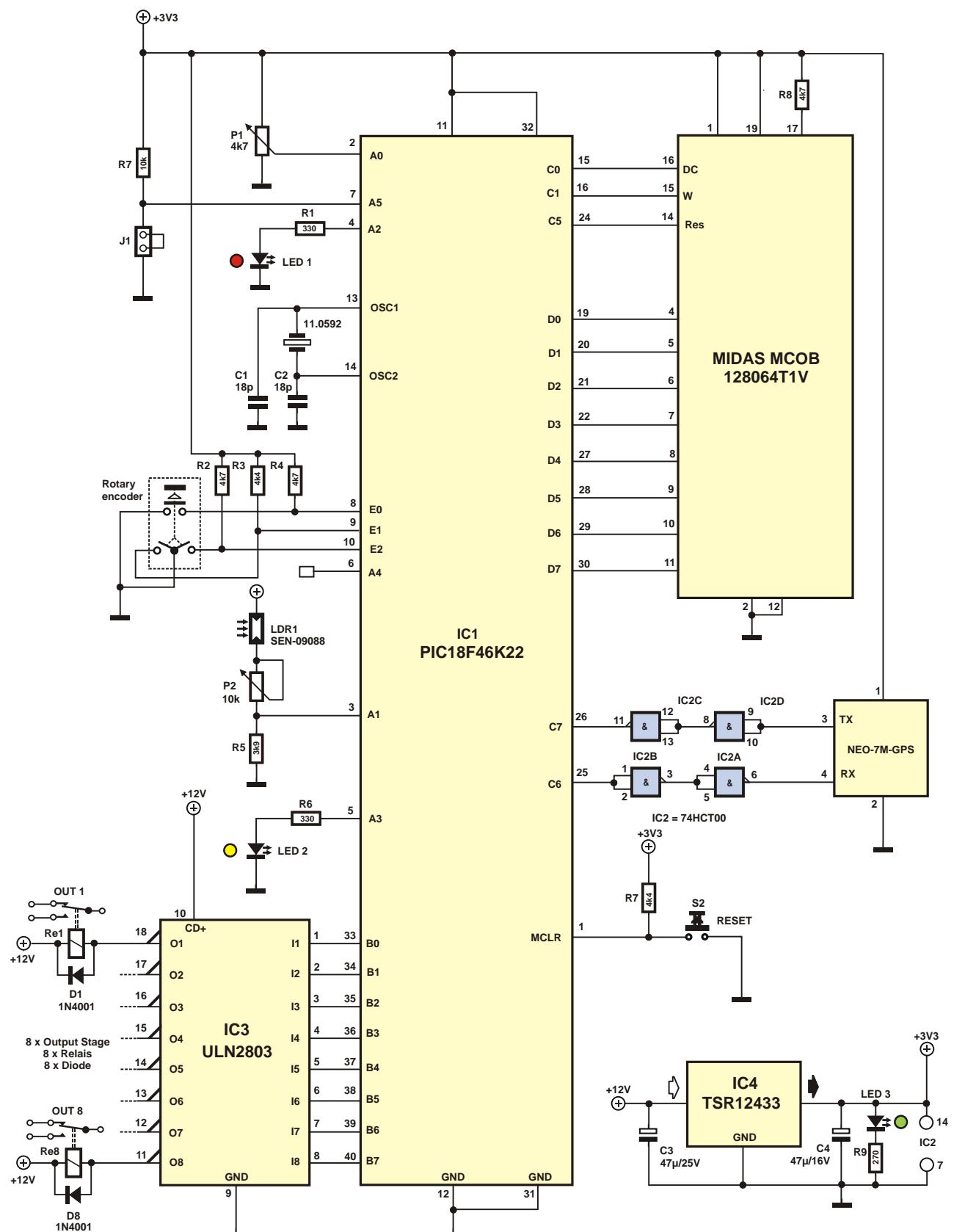
Software

De software voor dit project is aangepast aan de nieuwe componenten (display, controller, GPS-module). Het voert hier echter te ver om op dit in assembler geschreven programma in te gaan; de van duidelijk commentaar voorziene software staat voor u als gratis download op de projectpagina van dit artikel gereed. ▶

Weblinks

- [1] Oorspronkelijk multimer-artikel:
www.elektrormagazine.nl/150188
- [2] Projectpagina bij dit artikel:
www.elektrormagazine.nl/180171-01

(180171-01)



Figuur 1. Het schema van de geactualiseerde 8-kanaals timer wijkt op enkele belangrijke details af van de oorspronkelijke versie.

IN DE STORE

NEO-6M GPS-receiver: www.elektor.nl/18723



Eerlijke algoritmen

Tessel Renzenbrink (Nederland)

Er komt steeds meer aandacht voor de verantwoorde toepassing van algoritmen. Hoe zorgen we dat algoritmen geen vooroordelen reproduceren? En hoe kunnen we garanderen dat algoritmen onze ethische waarden reflecteren?

Cathy O'Neil, data analist en auteur van het boek *Weapons of Math Destruction* [1], is blij met de toenemende aandacht voor dit soort vraagstukken. "Dit is een lastige, langzame en frustrerende conversatie die we absoluut moeten voeren", zei O'Neil in een interview. Half april was ze in Amsterdam om de gemeente te adviseren over de inzet van een zelflend algoritme voor klachtenbehandeling.

Met haar boek heeft O'Neil een enorme bijdrage geleverd aan de bewustwording rondom algoritmen. Aan de hand van waargebeurde voorbeelden, legt ze op begrijpelijke en overtuigende wijze uit hoe wiskundige modellen schade kunnen berokkenen. De weapons of math destruction (WMD's) uit de titel hebben drie eigenschappen: ze zijn schadelijk, opereren op grote schaal en zijn ondoorzichtig. Over die laatste eigenschap schrijft ze in haar boek: "Oordelen van WMD's krijgen de status van openbaring van de algoritmische goden". De uitkomsten staan op geen enkele manier ter discussie en niemand hoeft verantwoording af te leggen over eventuele schadelijke gevolgen.

Een van de WMD's uit O'Neils boek is het gebruiken van kredietwaardigheid voor het bepalen van de autoverzekeringspremie. In de wiskundige modellen die Amerikaanse verzekeraars gebruiken om de premie te bepalen, weegt kredietwaardigheid zwaarder dan rijgedrag. In Florida betaalden mensen met een goede kredietscore en een veroordeling voor rijden onder invloed ruim 1500 dollar minder per jaar dan mensen met een

slechte krediet score en smetteloos rijgedrag. O'Neil laat keer op keer zien dat het vooral de arme en zwakke groepen in de samenleving zijn die het slachtoffer worden van WMD's.

Vriendjespolitiek automatiseren

Toch is O'Neil niet alleen maar negatief over de toepassingen van Big Data. Integendeel, als we er op de juiste manier mee omgaan, kunnen ze juist een positieve bijdrage leveren aan de manier waarop we beslissingen nemen. De uitdaging is om er voor te zorgen dat de wiskundige modellen onze ethische waarden reflecteren. Ook moeten ze niet langer ondoorzichtig zijn. Mensen moeten ter verantwoording geroepen kunnen worden voor eventuele negatieve gevolgen. Om dat te bereiken moeten algoritmische toepassingen nauwkeurig worden getoetst.

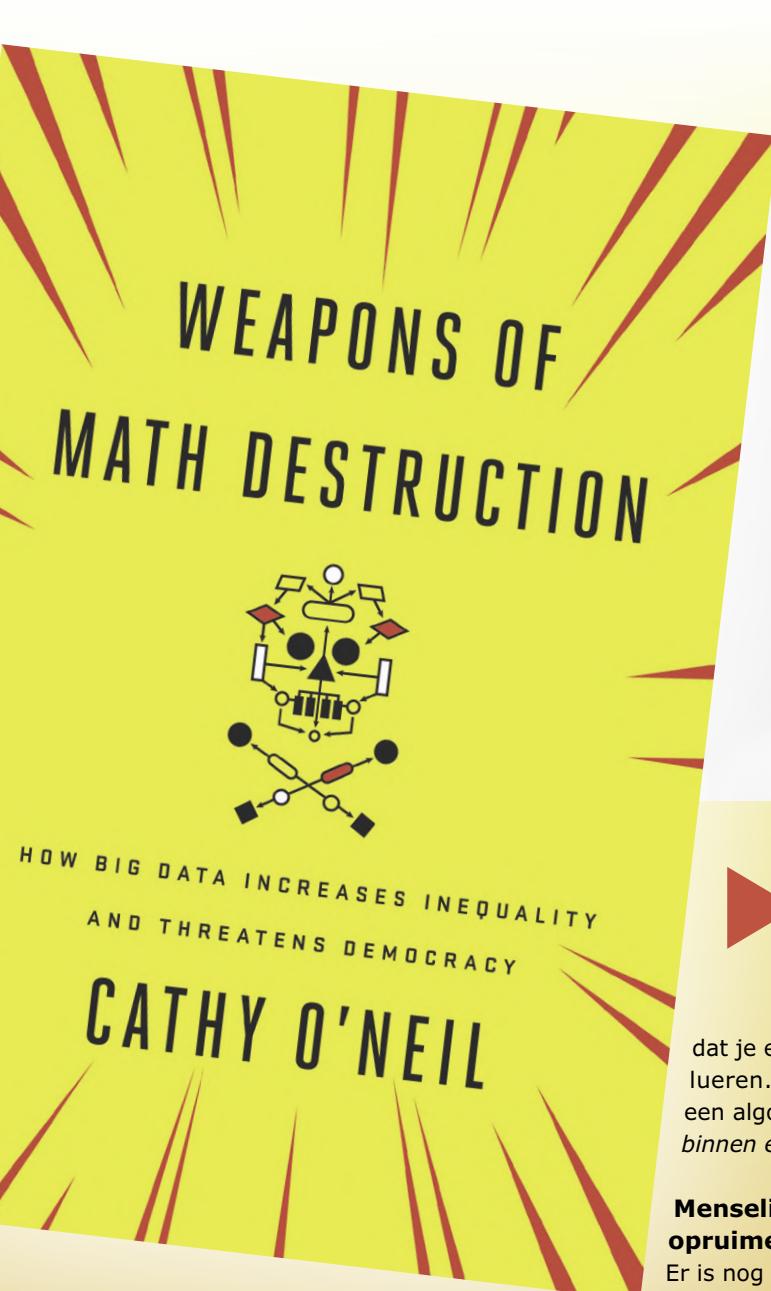
"Die nauwkeurige toetsing is precies wat mensen probeerden te vermijden toen het algoritme werd geïntroduceerd", zei O'Neil tijdens het interview. "Op een bepaalde manier was het algoritme te goed om waar te zijn voor veel bedrijven, overheden en organisaties. Het maakt processen namelijk efficiënter terwijl de mate van verantwoording (*accountability*) juist afneemt. Ik zie het gebruik van algoritmen als een geautomatiseerd beslissingsproces. We hebben altijd al beslissingsprocessen gehad die door mensen werden uitgevoerd. En mensen hebben allerlei vooroordelen, ongeschreven regels, geheimen en manieren om hun vriendjes voor te trekken. Op het moment dat processen werden geauto-

matiseerd dachten ze: 'Oh, dit is precies zoals we het deden maar dan nog beter want we hoeven er geen verantwoording voor af te leggen'."

Algoritmen onder de loep

Maar het tij begint te keren. Er zijn steeds meer partijen die nadrukken over hoe we algoritmen eerlijk kunnen maken. Eén van die partijen is de gemeente Amsterdam. Ze is bezig met het ontwikkelen van een algoritme om klachten af te handelen. De klacht van burgers over bijvoorbeeld vuilnis op straat wordt automatisch doorgestuurd naar de reinigingsdienst. Maar de gemeente wil voorkomen dat de automatisering onbedoelde negatieve gevolgen heeft. Eén risico is dat het ongelijkheid in de hand werkt. [2] In rijkere buurten zijn burgers vaak mondiger en zullen eerder klagen. Als het algoritme niet wordt bijgestuurd, zal het op basis van die data vaker veegwagens naar die buurten sturen. Met als gevolg dat wijken waar minder wordt geklaagd, slechter worden bediend.

Om dit soort onbedoelde effecten te voorkomen, heeft Amsterdam besloten het algoritme te toetsen. Samen met adviesbureau KPMG is de gemeente bezig met het ontwikkelen van *audits* voor algoritmen. [3] Dit was de reden voor het bezoek van O'Neil aan Amsterdam. Ze adviseert de twee partijen over hoe zo'n audit er uit kan zien. Haar bedrijf ORCAA is gespecialiseerd in het uitvoeren van audits op algoritmen. Ze worden gecheckt op eigenschappen zoals vooringenomenheid (*bias*), transparan-



tie, nauwkeurigheid en eerlijkheid.

O'Neil benadrukt dat het ontwikkelen van eerlijke algoritmen geen makkelijke opgave is. Er is geen *silver bullet*-oplossing die alle wiskundige modellen in één klap verantwoord maakt. Om de kwaliteit te waarborgen moet elk algoritme worden getoetst binnen de context waarin het wordt toegepast. Als het Amsterdamse algoritme goed werkt, kan het niet zonder meer in New York worden ingezet omdat de situatie daar anders is. "Dat is de grootste leemte in het begrip van mensen", zegt O'Neil. "Ze denken

dat je een algoritme kunt evalueren. Dat kan niet. Je kunt een algoritme alleen evalueren *binnen een context*."

Menselijke fouten opruimen

Er is nog veel werk te verzetten, maar O'Neil is positief omdat er een beweging ontstaat van mensen die zich op deze problematiek richten. "Wat deze beweging uiteindelijk gaat uit creeren, is een manier om verantwoording binnen algoritmische processen te behouden. Sterker nog, het zou zelfs kunnen dat verantwoording veel sterker wordt dan die ooit is geweest. Zodra we onze beslissingsprocessen nauwkeurig gaan onderzoeken, worden die veel transparanter en veel meer geladen met waarden."

O'Neil illustreert haar punt met een voorbeeld. "Amazons algoritme voor sollici-

tatieprocedures bleek seksistisch te zijn. Ze besloten het daarom niet te gebruiken. Ik ben blij dat ze het gecontroleerd hebben en het nooit hebben ingezet. Dat is vooruitgang. Maar je zou meer kunnen doen. Want wat betekent het als je een menselijk proces codificeert en er dan achter komt dat het seksistisch is? Het betekent dat het menselijke proces seksistisch is. Wat ik graag had gezien is dat Amazon had gezegd: 'we hebben dit algoritme, het is seksistisch en we gaan het verbeteren. En dan gaan we het gebruiken want het is minder seksistisch dan het menselijke proces dat het vervangt.' Helaas zijn we nog niet in deze fase. Maar idealiter komen we daar. Dan ga je daadwerkelijk de fouten die wij mensen maken opruimen, in plaats van simpelweg reproduceren en propageren." ◀

180572-D-01

(Illustraties: <https://weaponsofmathdestruction.com>)



Cathy O'Neil: We moeten veel werk verzetten, maar het gaat ons lukken.

Weblinks

- [1] Weapons of math destruction: <https://weaponsofmathdestructionbook.com>
- [2] <https://fd.nl/ondernemen/1291305/amsterdam-wil-eerlijke-computers-in-de-stad>
- [3] <https://home.kpmg/nl/nl/home/media/press-releases/2018/12/kpmg-ontwikkelt-ai-in-control-om gebruik-van-algoritmen-te-toets.html>

welkom in je WEB STORE

TIP VAN DE REDACTIE



Weller WT 1014 Digitaal soldeerstation(90 W)

De WT 1014 is een soldeerbout die goed in de hand ligt en prima werkt, hoewel een fijnere stift voor het delicate (SMD) soldeerwerk geen overbodige luxe zou zijn. Voor een redelijke prijs zijn echter soldeerstiften in soorten en maten voor deze bout verkrijgbaar. En van een fabrikant als Weller mogen we verwachten dat alle (reserve)onderdelen nog jarenlang verkrijgbaar zullen zijn. Alle drie componenten (houder, station en bout) stralen degelijkheid uit en aan de ergonomie

is veel aandacht besteed.

Toegegeven: deze set is niet echt goedkoop, maar met de WT 1014 hebt u een uitstekend soldeerstation op uw werktafel waar u gegarandeerd jarenlang plezier van zult hebben.

Luc Lemmens
(Elektor Labs)



www.elektor.nl/18649

De µArt Kit



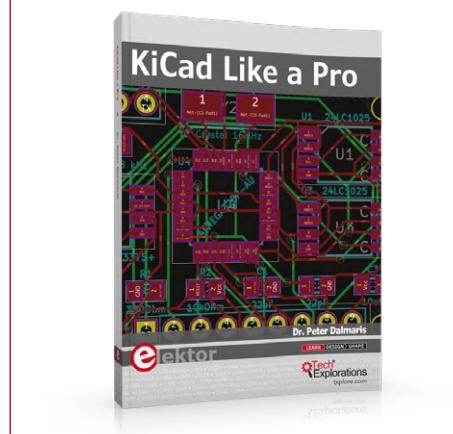
µArt is een geïsoleerde USB-naar-UART/TTL adapter die u overal en altijd kunt gebruiken wanneer u een UART op de USB-poort van uw computer wilt aansluiten – ongeacht spanningsniveaus, elektrische potentiaLEN en communicatiesnelheid, waarbij het er bovendien niet toe doet of het om gegevensuitwisseling gaat of om het programmeren van Arduino's, ESP's of andere apparaten.



Ledenprijs: € 64,76

www.elektor.nl/19029

KiCad Like a Pro



Dit (Engelstalige) boek leert u KiCad te gebruiken. Of nu een hobbyist bent of een professionele elektronicus, dit boek helpt u om snel productief te worden en te beginnen met het ontwerpen van eigen printen. Het boek volgt een praktische benadering om te leren: het bestaat uit vier projecten van oplopende moeilijkheidsgraad en verschillende recepten.



Ledenprijs: € 35,96

www.elektor.nl/18822

Elektor Bestsellers

1. Raspberry Pi 4 B

www.elektor.nl/rpi4



2. Camera Projects Book

www.elektor.nl/18943

3. JoyPi

www.elektor.nl/18770

4. RTL-SDR

www.elektor.nl/18949

5. PCBite Kit

www.elektor.nl/18818

6. Elektor SDR Shield 2.0

www.elektor.nl/18515

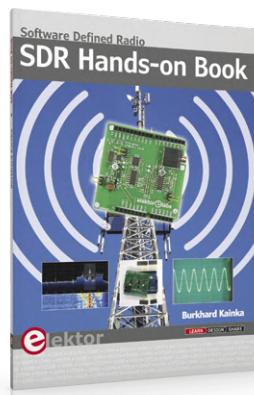
7. Fan SHIM

www.elektor.nl/19039

8. iFixit Manta Precision Bit Set

www.elektor.nl/19049

SDR Hands-on Book



Het Elektor SDR Shield is een veelzijdige kortegolfontvanger tot 30 MHz. Met een Arduino en de passende software kunnen radiostations, morsesignalen, SSB-stations en digitale signalen worden ontvangen. In dit boek beschrijft de auteur de moderne praktijk van software-defined radio met behulp van het Elektor SDR Shield. Hij beperkt zich daarbij niet tot de theoretische achtergrond maar geeft ook tekst en uitleg over talloze open source softwaretools.



Ledenprijs: € 26,96

www.elektor.nl/18914



Anycubic Photon S

UV Resin DLP 3D Printer

nieuw

De nieuwe Anycubic Photon S heeft een Z-as die met een dubbele rail is uitgevoerd, wat de stabiliteit ervan natuurlijk ten goede komt en trillingen tegengaat. De gebruikersinterface is ten opzichte van eerdere modellen sterk verbeterd, met een duidelijke menustructuur en grote pictogrammen en knoppen. De Photon S print voorwerpen door 3D-modellen te 'slicen' met behulp van de meegeleverde Photon Workshop-software. Het zo gegenereerde .photons-bestand wordt naar een USB pen drive geschreven die aansluitend in de zijkant van de 3D-printer wordt geplikt. De maximale afmetingen van de te printen voorwerpen is vergroot tot 115 x 65 x 165 mm. Ook produceert de Photon S tijdens het printen minder geluid dan eerdere modellen.



Ledenprijs: € 494,10
www.elektor.nl/19052

iFixit Manta Precision Bit Set



De Manta Precision Bit Set omvat een grote hoeveelheid bits en drive heads waaraan u eigenlijk voor alle reparatieklussen en projecten voldoende zou moeten hebben. De set bestaat uit de 1/4" iFixit Drive en 4 mm Drive aluminium schroevendraaiers-handgrepen met magnetische bithouders, geribbelde grip en scharnierkoppen – plus 112 precisie driver-bits.



Ledenprijs: € 53,96

www.elektor.nl/19049



Ledenprijs: € 134,96

www.elektor.nl/19001



Ledenprijs: € 26,96

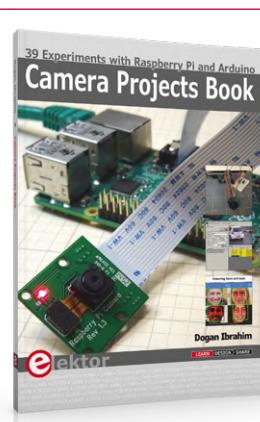
www.elektor.nl/18943

NVIDIA Jetson Nano Developer Kit



De NVIDIA Jetson Nano Developer Kit maakt de kracht van moderne Kunsmatige Intelligentie beschikbaar voor makers, ontwikkelaars en studenten. Bij het lezen van de naam NVIDIA denkt u waarschijnlijk aan grafische kaarten en GPU's – en niet ten onrechte. De reputatie van NVIDIA in het verleden garandeert dat de Jetson Nano krachtig genoeg is voor de meest veeleisende taken.

Camera Projects Book



In dit (Engelse) boek wordt op eenvoudige wijze en aan de hand van geteste en (dus) werkende voorbeeldprojecten uitgelegd hoe u een Raspberry Pi-camera en USB-webcams kunt configureren en gebruiken in cameraprojecten op basis van een Raspberry Pi.

Hexadoku puzzelen voor elektronici

PC, oscilloscoop en soldeerbout kunnen weer even op adem komen terwijl u uw hersenen pijnigt met onze Hexadoku. De instructies voor deze puzzel zijn heel eenvoudig. De Hexadoku werkt met de hexadecimale cijfers 0 t/m F, helemaal in de stijl van elektronici en programmeurs.

Vul het diagram van 16 x 16 hokjes zodanig in dat **alle** hexadecimale cijfers van 0 t/m F (dus 0...9 en A...F) precies éénmaal voorkomen in elke rij, in elke kolom en in elk vak van 4 x 4 hokjes (gemarkeerd door de dikdere zwarte lijnen).

Een aantal cijfers is al aangegeven en deze bepalen de uitgangssituatie voor de puzzel.

Onder de inzenders met de goede oplossing verloten we vijf waardebonnen. Om mee te dingen naar een van deze prijzen dient u **de cijfers in de grijze hokjes** naar ons op te sturen.



Doe mee en win! Onder de internationale inzenders met het juiste antwoord verloten we **vijf Elektor-waardebonnen**, elk ter waarde van **50 Euro**.

Het is dus zeker de moeite waard om mee te doen!

Stuur uw antwoord (de getallen in de grijze hokjes) **vóór 26 november 2019** naar: hexadoku@elektor.nl

De prijswinnaars

De juiste oplossing van de Hexadoku uit het september/oktober-nummer is: **4A0FC**.

De Elektor-waardebonnen van 50 Euro zijn gewonnen door Jean-Paul Lagaisse (België), Kenneth Steelman (USA), Harald Metzen (Duitsland), Darryl Jewiss (Nieuw-Zeeland) en Hans van Zanten (Nederland).

Allemaal van harte gefeliciteerd!

C	9		7					8		F	4				
0	A	D			6	1			3		8	5			
5	B	F		9		0			1		C	2			
8	E		F	A	C		4	6	5			9	D		
4		5		E	6		8	D		A		C			
1	7	8	B	3	4	C	E	A	9	F	D	0	6		
D			9	8		6	1				3				
8			0	E		5	A				F				
D	5	3	A	6	F	9	4	1	2	7	8	B	0		
F		6		5	7		B	0		C		E			
A	1		9	F	2		7	3	4			E	B		
B	4	7		A		2			9		D	F			
E	6	8			1	A			C		2	7			
	9	C	0					E		5	1				

8	3	D	0	C	9	E	1	5	6	A	7	B	2	F	4
4	6	5	E	B	2	3	A	0	D	1	F	C	8	7	9
7	A	C	1	4	8	5	F	9	B	2	3	D	E	6	0
9	F	2	B	0	6	7	D	C	E	4	8	1	3	5	A
A	4	8	F	D	3	0	6	B	7	C	1	2	5	9	E
C	D	3	9	8	1	F	4	2	A	5	E	6	7	0	B
6	1	B	7	2	5	C	E	D	9	F	0	4	A	3	8
E	5	0	2	7	A	9	B	3	8	6	4	F	1	C	D
B	7	9	8	3	4	A	0	F	C	D	2	5	6	E	1
D	C	E	6	5	7	8	2	1	3	9	B	0	4	A	F
1	2	F	4	6	B	D	9	A	0	E	5	3	C	8	7
3	0	A	5	F	E	1	C	7	4	8	6	9	B	D	2
F	8	4	A	1	C	2	3	E	5	0	D	7	9	B	6
0	E	6	3	9	D	B	5	4	1	7	A	8	F	2	C
2	B	7	C	A	0	4	8	6	F	3	9	E	D	1	5
5	9	1	D	E	F	6	7	8	2	B	C	A	0	4	3

Medewerkers van Elektor International Media en hun familieleden zijn van deelname uitgesloten.



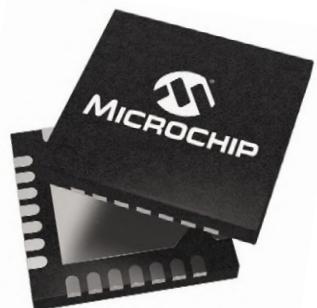
Analo^ge bouwstenen van wereldklasse van een toonaangevende microcontrollerfabrikant?

Als u Microchip alleen kent als leverancier van MCU's gaat er nu een wereld aan ongekende mogelijkheden voor u open

Microchip's succesverhaal zou niet compleet zijn zonder het vermelden van de sublieme analoge oplossingen. Onze achtergrond als toonaangevende leverancier van oplossingen, van uitgebreide ontwerpondersteuning tot een breed scala aan producten, is niet beperkt tot uitsluitend microcontrollerproducten.

Wij bieden ook krachtige en gemakkelijk te implementeren lineaire en gemengd-signaal componenten, producten voor voedings- en thermisch beheer, naast interfaceproducten. Als deze producten worden gecombineerd, kan Microchip's veelzijdige programma worden gebruikt in allerlei toepassingen met uiteenlopende prestatie-eisen.

U krijgt de overtuiging, naast flexibiliteit en vertrouwen, dat u de juiste oplossing kiest voor uw ontwerp, zonder rekening te houden met eventuele ontwerprestricties. Doe uw voordeel met onze ervaringen en complete systeemoplossingen om tijd te besparen en uw ontwerp zonder al te veel inspanning te realiseren.



Start uw persoonlijke succesverhaal op
www.microchip.com/Real-Analog

BOUW DE TOEKOMST MET DISTRELEC – HET BEGINT MET JOU

BLADER DOOR ONZE SELECTIE INSTAPSETS DIE
ZIJN ONTWORPEN OM DE VOLGENDE GENERATIE
TECHNICI MEER MOGELIJKHEDEN TE BIEDEN

BLADER DOOR ALLE KITS

 distrelec.nl/education

 030 265 01 50



HIGH QUALITY, LOW PRICES,
SMART RESULTS.

> **Soldering Bundle: Soldering Station
and Solder Fume Extractor 100W
500°C 230V, RND Lab**

Toonaangevende distributeur voor
automatisering en elektronica

 **DISTRELEC**
Distribution with a difference