

## High-end versterker Fortissimo-100

voor zelfbouwers  
en high-end liefhebbers



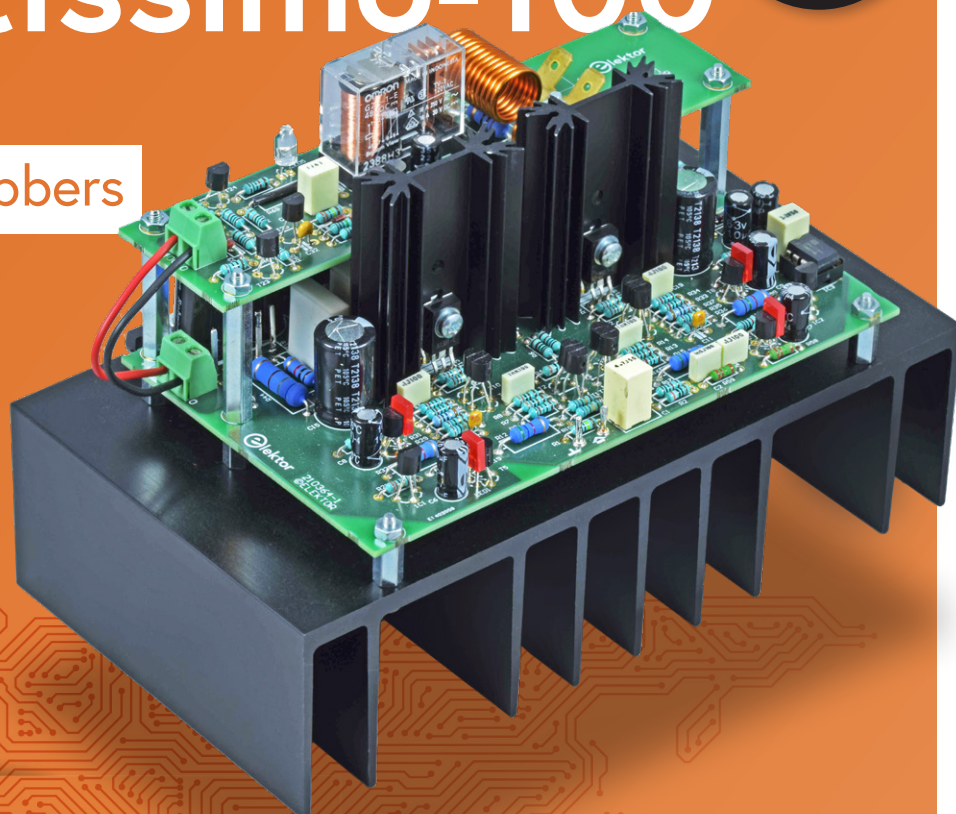
p. 6

visit us at



electronica

November 15-18 2022  
Hall B4.440 Messe München



+ Speciale sectie

### WEEF 2022

Ethiek in actie  
gedachten over ethisch zakendoen

p. 24

### Printen ontwerpen

tips en trucs

FOCUS ON

## Production and Components

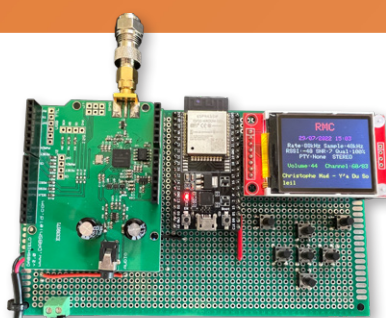
p. 56

### Heeft Covid de innovatie gestimuleerd?



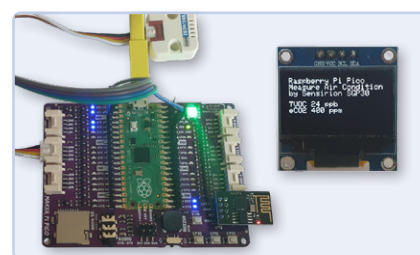
LED-slingers met ESP32 en  
FreeRTOS  
knippen dat het een lieve lust is

p. 38



FM/DAB+ ontvanger  
het beste van twee werelden

p. 46



Meting van de luchtkwaliteit  
op basis van de RP2040  
data visualiseren met ThingSpeak

p. 120





# NOTRE GAMME PAR DES TECHNICIENS POUR LES TECHNICIENS

The best part of your project: [www.reichelt.com/gamme](http://www.reichelt.com/gamme)

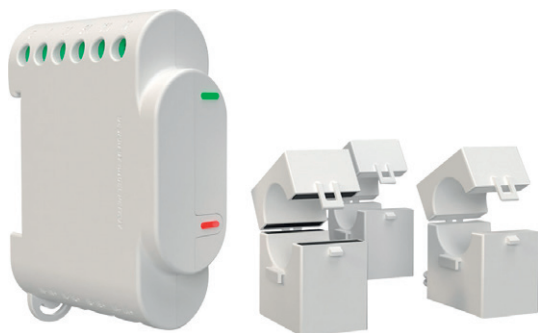
## Uniquement le meilleur pour vous - provenant de plus de 1500 marques

Nos responsables produits sont employés par Reichelt depuis de nombreuses années et connaissent les exigences de nos clients. Ils rassemblent une large gamme de produits de qualité, à la fois parfaits pour les besoins dans les domaines de la recherche et du développement, la maintenance, l'infrastructure informatique et la production en petites séries et adaptés pour les fabricants.

### STRUCTURE ENERGY: GÉRER EFFICACEMENT L'ÉNERGIE

#### Compteur d'énergie triphasé WLAN et commande des contacteurs

Surveillez individuellement la consommation des appareils ménagers, des circuits et des équipements de bureau



N° de commande :  
SHELLY 3EM

115,<sup>94</sup>

Shelly

#### Panneau solaire Jackery SolarSaga 100, pliable, 100 W

Alimentation électrique autonome pour les déplacements et la maison



N° de commande :  
JACKERY SOL 100

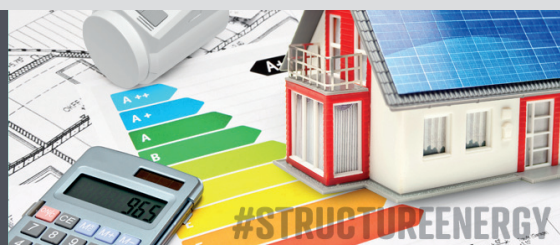
332,<sup>76</sup>

Jackery

INTELLIGENT. OPTIMAL. PRATIQUE.

### GÉRER EFFICACEMENT L'ÉNERGIE

Découvrir maintenant ► <https://rch.it/energy>



Types de paiement :



PRIX DU JOUR! Prix à la date du: 18.10. 2022

■ Excellent rapport qualité prix

■ Plus de 130 000 produits sélectionnés

■ Livraison fiable - depuis l'Allemagne dans le monde entier

[www.reichelt.com](http://www.reichelt.com)

Assistance téléphonique: +33 9 75 18 03 04

**reichelt**  
elektronik – Tirer le meilleur parti de votre projet

Les réglementations légales en matière de résiliation sont applicables. Tous les prix sont indiqués en € TVA légale incluse, frais d'envoi pour l'ensemble du panier en sus. Seules nos CGV sont applicables (sur le site <https://rch.it/CG-FR> ou sur demande). Semblables aux illustrations. Sous réserve de coquilles, d'erreurs et de modifications de prix. reichelt elektronik GmbH & Co. KG, Elektronikring 1, 26452 Sande (Allemagne), tél. +33 97 518 03 04



Elektor is een uitgave van  
Elektor International Media B.V.  
Postbus 11, 6114 ZG Susteren, Nederland  
Tel.: +31 (0)46- 4389444

#### Nieuwe abonnementen & bestellingen

service@elektor.nl – Tel. 046-4389444

Elektor International Media B.V. legt gegevens vast voor de uitvoering van de (abonnements) 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: Senefelder Misset, Doetinchem  
Distributie: Betapress, Gilze

#### Advertenties Benelux

Raoul Morreau  
Tel. +31 (0)6 4403 9907  
E-mail: raoul.morreau@elektor.com

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



## Jens Nickel

Hoofredacteur Elektor Magazine

# High-end uit het Elektor-lab

Voor de tweede keer dit jaar hebt u een extra dikke uitgave van 140 pagina's in handen. Zelfs ons coverproject is supergroot: de Fortissimo-100 high-end versterker is een volledig symmetrische audio-eindtrap van 100/190 watt. Met zijn superlatieve specificaties schaaft deze versterker zich in de rij van soortgelijke Elektor-ontwerpen die we in de loop der decennia hebben gepubliceerd. Ter inspiratie greep Ton Giesberts terug op de Power Amp uit ons lab – een ontwerp uit 1990 dat nog steeds wordt nagebouwd. Ik weet nu al zeker dat we over 30 jaar nog steeds vragen en verzoeken zullen krijgen over de Fortissimo, bijvoorbeeld op [elektor-labs.com](http://elektor-labs.com).

Met zijn lange onderdelenlijst past de versterker prima bij het thema van dit nummer: productie en componenten. Het is geen toeval dat we in november traditioneel aandacht besteden aan dit gebied van de elektronica. Van 15 tot 18 november vindt in München electronica 2022 plaats – volgens eigen zeggen “de belangrijkste elektronica beurs ter wereld”. En dat is zeker niet overdreven: in niet minder dan 14 beurshallen worden componenten, printplaten en modules gepresenteerd, maar ook software en ontwikkelings- en productietools. In onze industriesectie vanaf pagina 56 krijgt u alvast een voorproefje.

Elektor is ook aanwezig in het hart van electronica, in hal B4.440. Zoals altijd tonen we er interessante producten en boeken, terwijl de Elektor-redactie ter plekke verslag doet van de nieuwste trends. Samen met Messe München organiseren we de *Fast Forward award* voor start-ups. Ook dit jaar hebben we weer de meest innovatieve jonge bedrijven voor u geselecteerd; het deelnemersveld loopt van vierbenige robots tot autonome fietsen. Lees meer op pagina 95!

Last but not least wil ik u ook uitnodigen voor het World Ethical Electronics Forum (WEEF) van 2022, dat plaatsvindt op de eerste beursdag (hal B3). Samen met het tijdschrift *Elektronikpraxis* ondersteunt Elektor voor de tweede keer ethiek in de elektronica. Tussen 10:00 en 16:00 uur zullen bekende deskundigen op dit gebied deelnemen aan een ‘Ethics Talk Show’ met onze moderators Stuart Cording en Johann Wiesböck. Vragen en opmerkingen zijn welkom! Vanaf pagina 106 willen we u graag voorbereiden op dit steeds belangrijker wordende evenement.

Tot ziens in München!

## Ons team



Internationaal hoofdredacteur: **Jens Nickel** ([redactie@elektor.com](mailto:redactie@elektor.com))

Redactie:

**Eric Bogers** (redacteur NL-editie), **Rolf Gerstendorf**,  
**Dr. Thomas Scherer**, **Clemens Valens**, **Brian Tristram Williams**  
**Mathias Claussen**, **Ton Giesberts**, **Luc Lemmens**,  
**Clemens Valens**

Technische redactie:

Vormgeving & Layout:

**Giel Dols**, **Harmen Heida**, **Sylvia Sopamena**

Directeur:

**Erik Jansen**



Elektor is lid van FIPP, een organisatie die “in bijna 100 jaar is uitgegroeid tot een wereldwijde vereniging voor media-professionals”.

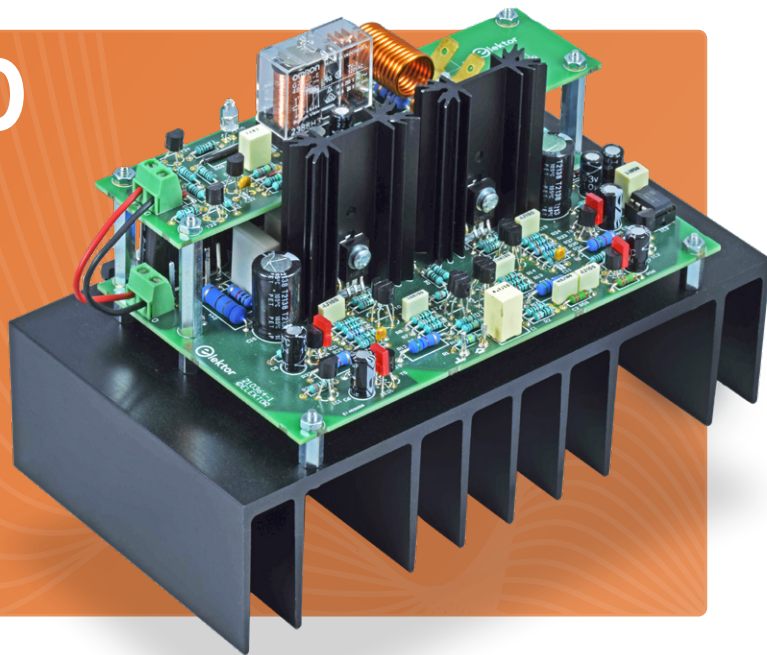


Elektor is lid van de VDZ (Verband Deutscher Zeitschriftenverleger), die “de gemeenschappelijke belangen behartigt van 500 Duitse consumenten- en B2B-uitgevers”.

## Fortissimo-100

high-end versterker

6



## Rubrieken

### 3 High-end uit het Elektor-lab

#### 21 **FOCUS** Developer's Zone

controleer de frequentie van afgestemde kringen en kristallen

#### 43 Alle begin...

...zenert er vrolijk op los

#### 52 Uit het leven gegrepen

elektronica obscura

#### 78 **FOCUS** Vreemde onderdelen

reed-relais

#### 88 **FOCUS** Vreemde onderdelen

polyfuses

#### 92 Oost West Lab Best

...ontdekt de Theremin

#### 95 electronica fast forward 2022 – powered by Elektor

de deelnemers en het programma

#### 128 Retrotronica

elekterminal

#### 134 Elektor ethiek

Solarpunk: een mooiere toekomst in het verschiet

#### 138 Hexadoku

puzzelen voor elektronici

#### 28 **FOCUS** Solderen – nou en?

moderne soldeertechnologie nader bekeken

#### 35 **FOCUS** Ideale diode-controller

diodeschakelingen met geringe vermogensdissipatie

#### 104 **FOCUS** Schat de interne ruis van een IC

een eenvoudige methode

#### 114 Filtersoftware

ontwerp-tools voor analoge filters

#### 118 TV-B-Gone!

...of tenminste TV tabee

#### 130 Snelstart met Python 3

voorbeeldhoofdstuk: digitale beeldbewerking en de Wand-bibliotheek

## Industry elelectronica

#### 56 **FOCUS** Heeft Covid de innovatie gestimuleerd?

innovatieve componenten en oplossingen uit 2022

#### 61 **FOCUS** Ersi i-CON TRACE

het IoT-soldeerstation voor makers

#### 64 **FOCUS** Elektor infographics

feiten en cijfers

#### 66 Wat moeten we met al die computers?

#### 68 Aansturing van het e-paper display van Ynvisible

#### 72 InnoFaith: innovatie en nog eens innovatie

vraaggesprek met Walter Arkesteijn

#### 74 Industriële automatisering

eenvoudige en schaalbare IoT-retrofitting

## Achtergrond & info

#### 24 **FOCUS** Printen ontwerpen

tips en trucs





tips en trucs

## Printen ontwerpen

## FM/DAB+ ontvanger

het beste van  
twee werelden

46



- 80 Low-profile lineaire connectoren vereenvoudigen multisignaal-databeheer
- 82 Slim - Innovatief - Kosteneffectief  
GateMate FPGA's worden ontwikkeld en geproduceerd in Duitsland
- 84 Tools voor de ontwikkeling van goedkope sensoren

- 98 Radio-richtingzoeker  
spoor verloren weersensoren op
- 120 Meting van de luchtkwaliteit op basis van de RP2040

## WEEF 2022

- 106 Ethiek in actie  
powered by WEEF
- 108 Zonder ethiek geen duurzaam ondernemen  
vraaggesprek met professor Stefan Heinemann
- 112 De WEEF Index 2023

## Projecten

- 6 Fortissimo-100 high-end versterker  
volledig symmetrische audio-eindtrap levert 100/190 W
- 32 Bluetooth-garagedeurbediening met geringe latentie  
met korte BLE-berichten vanaf een smartphone
- 38 LED-slingers met ESP32 en FreeRTOS  
knippen dat het een lieve lust is
- 46 FM/DAB+ ontvanger  
het beste van twee werelden
- 54 De oorzaak van software-bugs draadloos opsporen  
circulaire buffer en webserver op de ESP32
- 89 Geïsoleerde analoge uitgang voor Arduino Uno

## Binnenkort

### Elektor januari/februari 2023

Zoals u van ons gewend bent, hebben we een opwindende mix van projecten, schakelingen, achtergrondinformatie en tips en trucs van en voor elektronici en makers.

De focus ligt op audio- en video-elektronica.

### Een greep uit de inhoud:

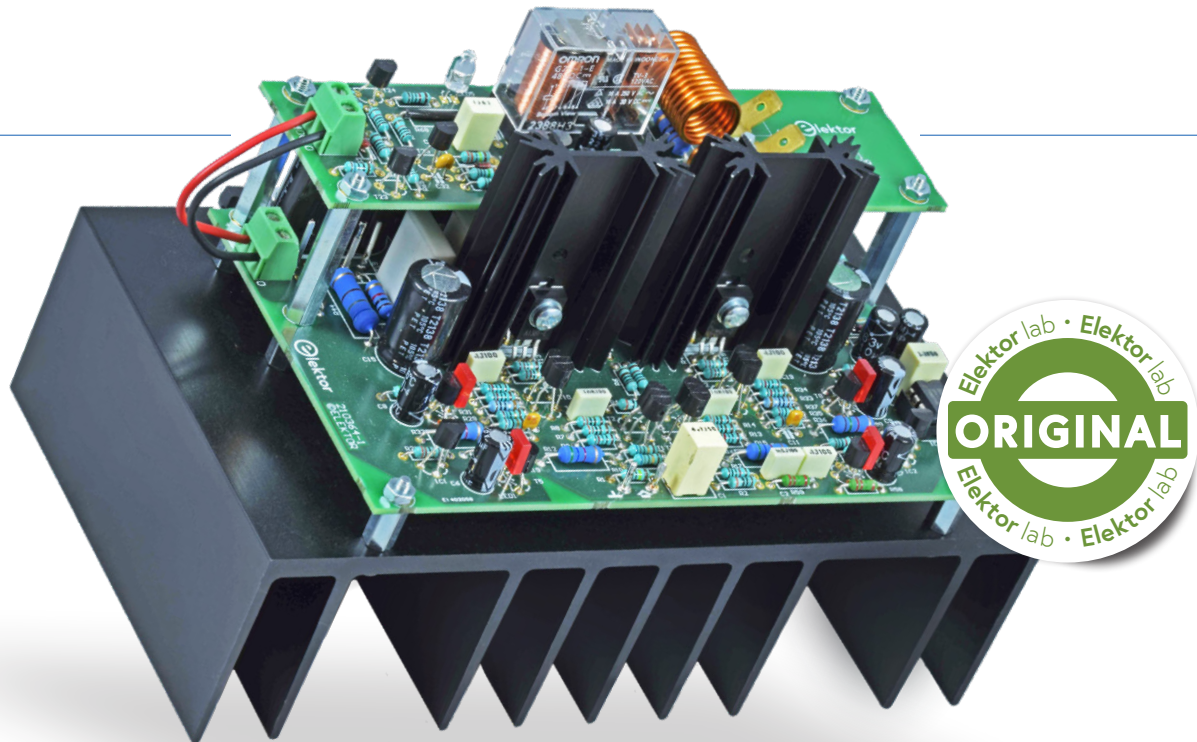
- > Video-uitgang met microcontrollers
- > ESP32-camera
- > 32Ω-hoofdtelefoonversterker
- > Workshop: ESP32 framework voor audio-ontwikkeling
- > Spacebee-satellieten voor IoT-communicatie
- > Buizenversterker
- > Armeluis-chiptuning
- > Echte USB-toevalsgenerator
- > ATX-voeding voor Raspberry Pi

...en nog veel meer!

Aankondigingen onder voorbehoud.

Elektor januari/februari 2023 verschijnt omstreeks 5 januari 2023.





# Fortissimo-100 high-end versterker

volledig symmetrische audio-eindtrap levert 100/190 W

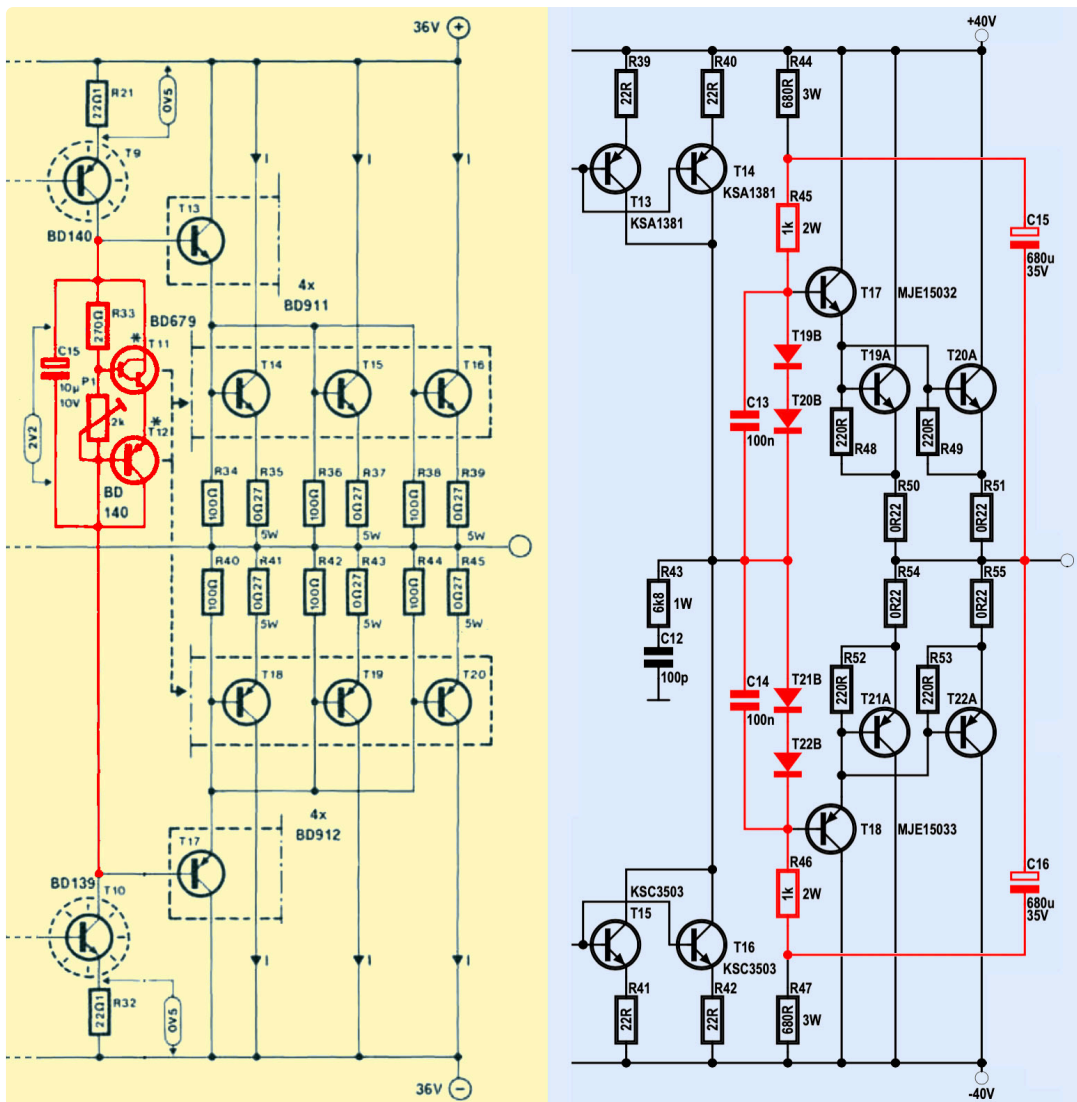
**Ton Giesberts (Elektor)**

Digitale versterkermodule zijn tegenwoordig voor weinig geld te koop, maar high-end liefhebbers halen doorgaans hun neus op voor het geluid. Aan de andere kant bouwen mensen nog steeds graag Elektor-ontwerpen van tientallen jaren geleden. Onze nieuwste versterker, de Fortissimo-100, zal zowel doe-het-zelvers als high-end liefhebbers weten te boeien: THD+N 0,0008% bij 50 W in 8  $\Omega$ , maximaal vermogen 98 W in 8  $\Omega$  of 188 W in 4  $\Omega$  met THD  $\leq$  1%. Doe-het-zelvers zullen het op prijs stellen dat alleen through-hole componenten worden gebruikt. Nieuwsgierig? Lees dan verder en warm je soldeerbout vast op.

Bij de ontwikkeling van deze high-end versterker heb ik me laten inspireren door een Elektor-ontwerp dat al meer dan 30 jaar oud maar nog steeds erg goed is: de *Power Amp* [1] uit oktober 1990. Dankzij het uitgekende volledig symmetrische ontwerp heeft deze versterker nog niets van zijn glans verloren en kan hij zeker als high-end worden beschouwd. De vraag is of de schakeling werkelijk nog verbeterd kan worden. Mijn antwoord is de Fortissimo, en dat betekent volmondig "ja!"

## Principe

**Figuur 1** toont het vermogensgedeelte van de oude eindtrap (lichtgeel) en de nieuwe eindtrap (lichtblauw). Net als de oude schakeling werkt de nieuwe in de beproefde klasse-AB instelling, maar nu met de stuurtrap uitgevoerd in een symmetrische bootstrap-configuratie. De belangrijkste verschillen zijn in rood aangegeven. Aan de rechterkant van de figuur zorgen de condensatoren C15 (tussen het knooppunt van R44/R45 en de uitgang) en C16 (tussen het knooppunt van R46/R47 en de uitgang) voor aanzienlijk hogere spanningen op de bases van T17 en T18. Het grote voordeel is dat de eindtrap die rond de uitgangstransistoren is gebouwd, forser kan worden aangestuurd, zodat de maximale uitgangsspanning ruim 2 V hoger is zonder dat hogere voedingsspanningen voor de spanningsversterkertrappen nodig zijn.



Figuur 1. Verschillen tussen oud (links) en nieuw (rechts): rustroominstelling en symmetrische bootstrapping.

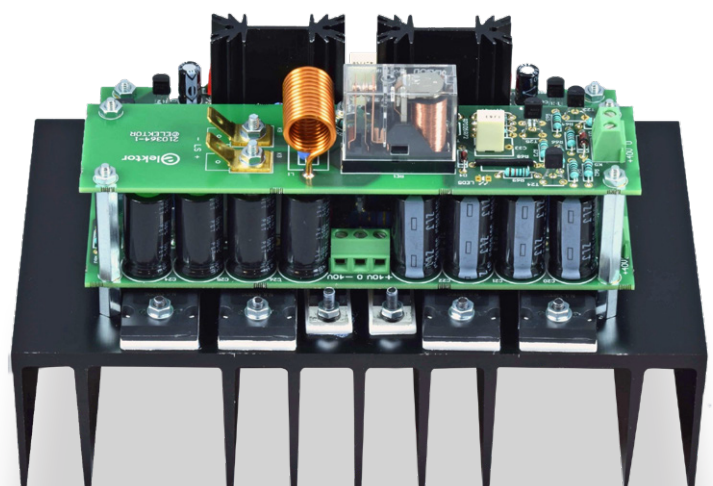
Een opmerkelijke eigenschap van de nieuwe schakeling is dat deze geen instelbare voorspanning heeft voor de instelling van de ruststroom. In plaats daarvan zijn vier diodes (T19B...T22B) eenvoudig in serie geschakeld, waarbij de spanningsval over deze diodes overeenkomt met de spanning over de vier BE-overgangen van de schakeling, bestaande uit T17 tot en met T22A. Zoals je wellicht al uit de onderdeelnummers heb begrepen, zijn dit 'onzichtbare' diodes die in de eindtransistoren T19...T22 zijn geïntegreerd. De thermische koppeling van deze diodes is zeer goed, wat resulteert in een vrij stabiele ruststroom met een uiterst eenvoudige schakeling. Deze thermische koppeling is de reden waarom de complementaire transistoren, NJL3281D (NPN) en NJL1302D (PNP) [2], "ThermalTrak" worden genoemd, en het is een leuke eigenschap.

Voor een optimaal uitgangsvermogen heeft de versterker een geregelde symmetrische voedingsspanning van  $\pm 40$  V nodig. In een belasting van  $8 \Omega$  bedraagt het maximale vermogen met  $\text{THD} \leq 1\%$  bijna 100 W, en in een belasting van  $4 \Omega$  is dat bijna het dubbele (zie het kader **Specificaties**).

Bovendien is de print dubbelzijdig en doorgemetalliseerd, wat de bouw van de versterker vereenvoudigt. De zes vermogenstransistoren van de eindtrap bevinden zich half onder de print, die samen met de beveiligingsschakeling

op het koellichaam is gemonteerd. Dit resulteert in een compacte module (figuur 2). Er zijn bij deze constructie slechts zes 3mm-gaten in het koellichaam nodig voor de eindtransistoren, plus nog eens zes voor de afstandsbusen. Als je het SK53-100-SA koellichaam van Fischer Elektronik gebruikt, hoef je geen M3-schroefdraad te tappen, omdat de vereiste twaalf gaten perfect tussen de koelribben komen. Er is zelfs een beetje speling om onnauwkeurigheden op te vangen. Het mechanische

Figuur 2. De compleet geassembleerde compacte versterkermodule.





werk is waarschijnlijk het ingewikkeldste deel van de bouw. Hierover later meer.

## Het ontwerp van de schakeling

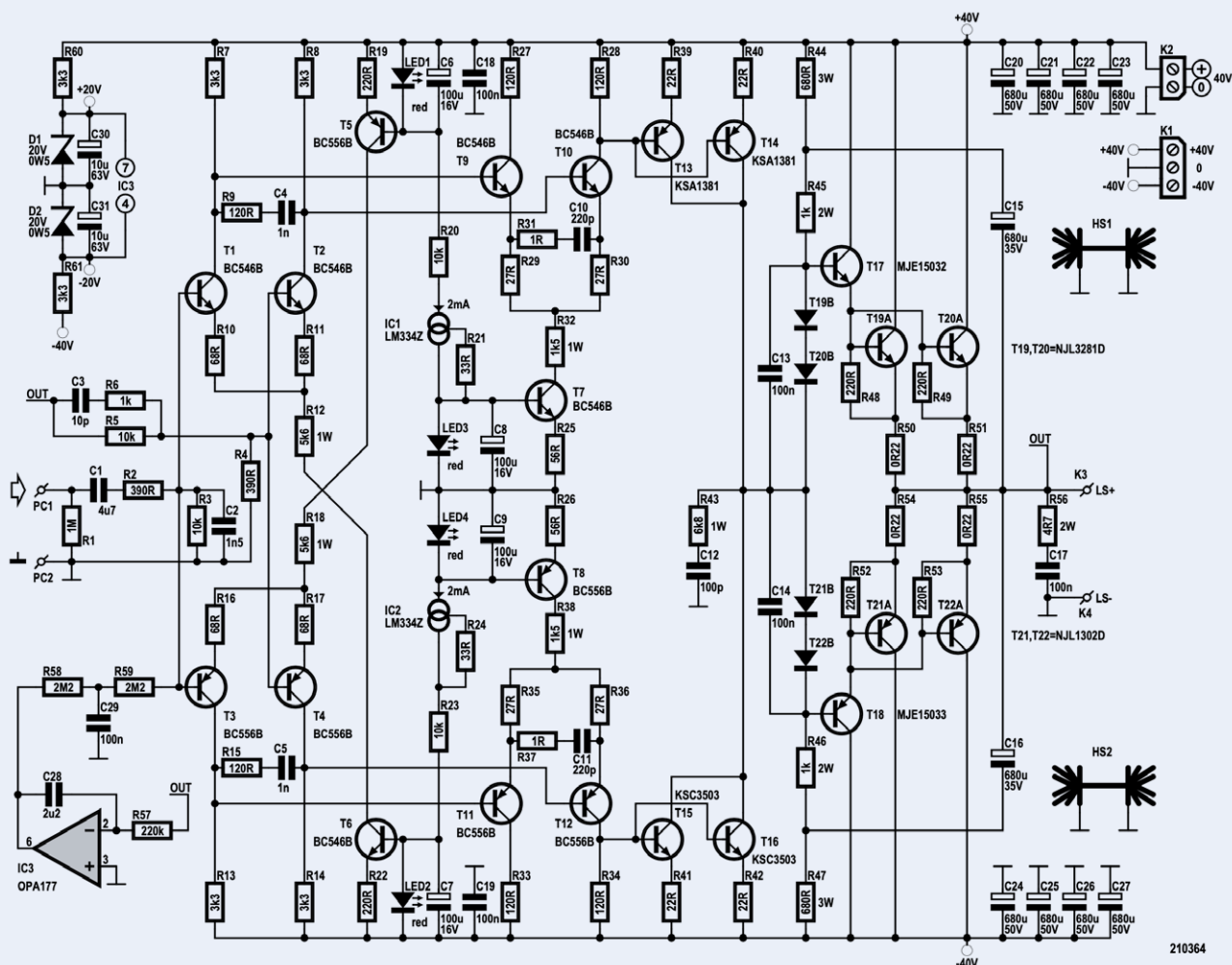
De basisschakeling van de versterker (figuur 3) kan in drie delen worden gesplitst. Als eerste de ingangstrap met symmetrische verschilversterkers, gevolgd door de push-pull trap, die op zijn beurt de uitgangstrap aanstuurt. Daarnaast hebben we nog de beveiligingsschakeling. Al dit komt hieronder in detail aan de orde.

### Verschilversterkers

De verschilversterkers rond T1/T2, T3/T4, T9/T10 en T11/T12 zijn opgebouwd met transistoren van het (bekende) type BC546B/BC556B. Deze hebben een hogere overgangsfrequentie dan latere types, zoals het KSC1845/KSA992-paar. Vervanging van de BC546B en BC556B door andere types kan problemen veroorzaken, aangezien hun eigenschappen de stabiliteit beïnvloeden, en in veel gevallen hebben andere types een andere pinning.

Dat maakt andere netwerkjes voor de frequentiecompensatie nodig, en eventueel een compleet andere layout. De rechthoekige rode LED's die dicht bij de afzonderlijke transistors zijn gemonteerd, leveren temperatuurgecompenseerde spanningen voor de stroombronnen van de verschilversterkers. Om de vermogensdissipatie van de stroombron-transistoren T5...T8 te beperken, zijn 1W-weerstanden (R12, R18, R32 en R38) in de collectoraansluitingen opgenomen. De twee geïntegreerde stroombronnen IC1 en IC2 stabiliseren, samen met weerstanden R21 en R24, de stroom door de LED's op 2 mA. Hoewel de maximaal toelaatbare spanning van de geïntegreerde stroombronnen net hoog genoeg is voor de hier gebruikte 40 V, zijn voor de zekerheid twee weerstanden van 10 kΩ (R20 en R23) in serie geschakeld om de aangelegde spanning tot minder dan de helft te reduceren. De totale versterking is op 26,6 ingesteld door het tegenkoppelnetwerk R4/R5. Door de kleine spanningsval over R2 wordt deze gereduceerd tot ongeveer 25,6. Condensator C2 dempt samen met weerstanden R2 en

Figuur 3. De schakeling van de Fortissimo-versterkermodule is volledig symmetrisch.



210364

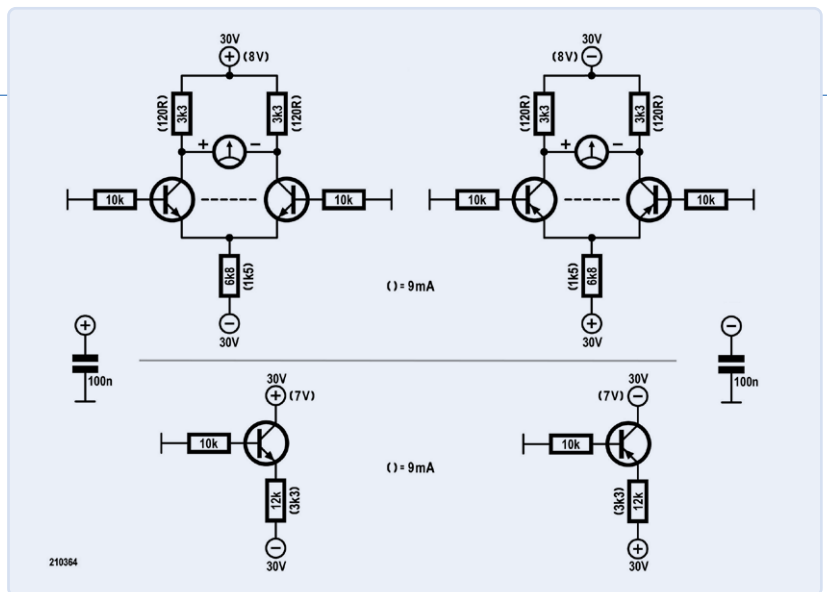
R3 hoogfrequente signalen die de versterker niet kan verwerken. De maximale ingangsspanning voor een niet geclipt uitgangssignaal ligt iets boven 1 V. C3 en R6 in de tegenkoppellus zorgen voor stabiliteit bij hoge frequenties. Eveneens om stabiliteitsredenen zijn RC-netwerken R9/C4 en R15/C5 opgenomen tussen de collectors van de eerste verschilversterkers die rond T1/T2 en T3/T4 zijn opgebouwd; deze zorgen voor frequentiecompensatie. De 'stroomafwaartse' verschilversterkers rond T9/T10 en T11/T12 zorgen voor een beetje extra versterking. Hun belangrijkste taak is de laagohmige aansturing van de eropvolgende push-pull versterkertrap die rond T13...T16 is opgebouwd. De netwerkjes R31/C10 en R37/C11 zorgen ook hier voor frequentiecompensatie.

Collectorweerstand R27 en R33 houden de collector/emitter-spanningen van de beide transistoren in de tweede verschilversterker gelijk. Het spanningsverschil tussen R27 en R28 en tussen R33 en R34 moet  $\leq 0,35$  V zijn (nog beter  $\leq 0,1$  V), omdat anders de  $U_{BE}$  en  $h_{FE}$  van de transistoren van de eerste verschilversterker niet dicht genoeg bij elkaar zouden liggen. Ondanks hun plaatsing dicht bij elkaar is de thermische koppeling van de transistorpaartjes niet zo goed als bij een dubbele transistor, omdat ze zich niet in dezelfde behuizing op hetzelfde halfgeleiderkristal bevinden. Bijgevolg kunnen er meetbare afwijkingen zijn.

Deze transistoren kunnen niet als gematchte paartjes worden gekocht. Dit betekent dat je eerst hun karakteristieken moet meten en dan zo gelijk mogelijke paartjes moet selecteren. Een simpele meting van de  $h_{FE}$ , bijvoorbeeld met een multimeter, is hier niet goed genoeg. De  $U_{BE}$ -waarden mogen niet meer dan 1 mV verschillen bij dezelfde collector/emitter-spanning en dezelfde collectorstroom. Als de  $U_{BE}$  van het NPN-paar niet dezelfde is als die van het PNP-paar, dan is dat geen probleem. Het kader **Transistorselectie** beschrijft de procedure voor het selecteren van *matched pairs* met behulp van de testschakeling van **figuur 4**. Merk op dat de metingen sterk afhankelijk zijn van de omgevingstemperatuur.

### Push-pull trap

T10 en T12 sturen een push-pull trap aan. Twee paar parallel geschakelde drivers – T13||T14 (PNP) en T15||T16 (NPN) in TO-126 of SOT-32 behuizing – houden de collectorstroom per transistor in het lineaire gebied, zelfs bij maximale uitsturing, en deze dubbele driverstroom verbetert de aansturing met betrekking tot de parasitaire capaciteit van de eindtrap. Hier gebruiken we complementaire types (KSC3503 en KSA1381) van ON Semiconductor (voorheen Fairchild Semiconductor). Deze zijn hiervoor zeer geschikt: met een  $V_{CEO}$  van 300 V kunnen zij niet alleen hoge spanningen aan, maar hebben ze ook een indrukwekkend geringe sperkapaciteit  $C_{re}$  van 1,8 pF (NPN) of 2,3 pF (PNP) en een lineaire versterking bij collectorstromen tot 50 mA (maximale collectorstroom 100 mA).



Deze transistoren zijn verkrijgbaar in de  $h_{FE}$ -klassen C, D, E en F. Helaas kan ON Semiconductor alleen het NPN-type KSC3503 leveren in klasse-D ( $h_{FE}$  60...120) en het PNP-type KSA1381 in klasse-E ( $h_{FE}$  100...200). De NPN- en PNP-types zouden idealiter dezelfde klasse moeten hebben, maar de emitterweerstand R39/R40 en R41/R42 compenseren de verschillende stroomversterking grotendeels. De stroom door elk van de vier transistoren is ingesteld op ongeveer 13 mA. Dit komt overeen met hun taak, en de overgangsfrequentie is bij deze stroom het hoogst.

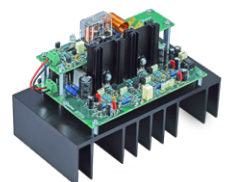
Zonder signaal bedraagt de vermogensdissipatie van elke transistor ongeveer 510 mW. Om de warmte af te voeren, wordt elk parallelpaar transistoren op een koellichaam gemonteerd. De koellichamen HS1 en HS2 zijn van het type SK104 van Fischer Elektronik, dat voorzien is van gaten voor de behuizingen TO-220, SOT-32 of TO-3P. De TO-126 behuizing past ook. De warmteweerstand van de 50,8 mm lange SK104 is 9 K/W, zodat de temperatuur ongeveer 10 K boven de omgevingstemperatuur zal liggen wanneer de twee transistoren erop zijn gemonteerd. Door de warmteweerstand van de behuizing (17,8 K/W) zal het silicium van de transistoren nog eens 9 K warmer worden. Hoewel de koellichamen aan massapotentiaal liggen, is geen extra isolatie nodig voor de transistoren. Een beetje warmtegeleidende pasta is voldoende, omdat ze elk een volledig kunststof behuizing hebben.

### Uitgangstrap

De eindtrap is opgebouwd rond de transistoren T17...T22A. Het is een complementaire Darlington-configuratie met klasse-AB instelling. In de meeste analoge eindversterkers, waaronder de eerder genoemde "power amp", wordt de ruststroom van de eindtransistoren geregeld door een transistor die op hetzelfde koellichaam is gemonteerd, in een configuratie die lijkt op een zenerdiode ( $U_{BE}$ -spanningsvermenigvuldiging) en die zorgt voor temperatuurstabilisatie.

De Fortissimo is anders: hier heeft elk van de vier eindtransistoren (T19...T22) een galvanisch geïsoleerde diode in zijn behuizing, in het schema aangegeven als T19B...T22B. Deze diodes voelen de junctietemperatuur van de

▲  
Figuur 4. De testschakeling voor het meten van de kleinsignaal-transistoren om zo goed mogelijk gematchte paartjes te vinden, kan op een breadboard worden opgebouwd.



eindtransistoren vrij direct, waardoor ze beter geschikt zijn om de ruststroom van deze eindtransistoren in te stellen. Met vier eindtransistoren zijn er vier diodes beschikbaar, en deze kunnen eenvoudig in serie worden geschakeld om te compenseren voor alle vier effectieve basis/emitter-spanningen van de eindtransistoren (T19A||T20A en T21A||T22A) en hun drivers (T17 en T18).

Hoewel deze methode beter is, is hij door de indirecte detectie van T17 en T18 niet perfect, zodat hij niet helemaal kan voorkomen dat de ruststroom een temperatuurafhankelijk verloop vertoont. Deze schakeling voorkomt echter wel een thermisch sneeuwbaaleffect. De stroom door de vier diodes wordt op ongeveer 23 mA ingesteld door de vier vermogensweerstand R44...R47. Deze weerstanden maken ook deel uit van een symmetrische bootstrap-schakeling met C15 en C16, waardoor de stroom door de diodes vrijwel onafhankelijk is van de spanningsamplitude. Bootstrapping maakt ook een hogere uitgangsamplitude mogelijk. Bij volle uitsturing worden de spanningsval over de weerstanden R39...R42 en de verzadigingsspanningen van T13...T16 grotendeels gecompenseerd door de spanningen over T19A...T22A. Belangrijk: de ruststroom van de eindtransistoren is afhankelijk van de stroom door de weerstanden R44...R47. Dit betekent dat de  $\pm 40\text{V}$ -voeding binnen een vrij klein bereik moet worden geregeld. Een voeding die alleen bestaat uit een transformator met een brugge-lijkrichter en bufferelco's is voor deze versterker beslist niet aan te bevelen. Bij een dergelijke opstelling zou de ruststroom een geringe rimpel vertonen en varieert de voedingsspanning met de belasting, het uitgangsvermogen en de netspanning, waardoor de eigenschappen van de versterker zouden verslechteren. Er zijn inmiddels uitstekende en speciaal voor audio-eindversterkers ontworpen schakelende voedingen beschikbaar, zoals het type SMPS800RE. Veel andere voedingen zijn ontworpen voor klasse-D versterkers en hebben een uitgangsspanning die varieert met de netspanning. Deze zijn beslist niet geschikt. Een geschikte schakelende voeding moet een stabiele symmetrische uitgangsspanning van  $\pm 40\text{ V}$  leveren die niet inzakt bij de piekstromen die in de schakeling optreden, zelfs niet bij een laagohmige belasting met (bijvoorbeeld)  $4\ \Omega$ .

De spanning over R45 en R46 is altijd een constante  $23,4\text{ V}$  en is vrijwel onafhankelijk van het uitgangssignaal. De vermogensdissipatie in elke weerstand is ongeveer  $550\text{ mW}$ . De gelijkspanning over R44 en R47 is ongeveer  $15,9\text{ V}$ , maar de wisselspanning van het uitgangssignaal wordt hierop gesuperponeerd door de bootstrap-condensatoren C15 en C16. De effectieve waarde van een sinusoidale spanning met een DC-offset kan worden berekend met deze formule:

$$U_{\text{eff}} = \sqrt{(U_{\text{DC}}^2 + U_{\text{ACpeak}}^2 / 2)}$$

Als de gelijkspanning  $U_{\text{DC}}$   $15,9\text{ V}$  bedraagt en de

piekwaarde van het sinusvormige signaal  $U_{\text{ACpeak}}$   $39\text{ V}$ , dan bedraagt de vermogensdissipatie over  $680\ \Omega$   $1,5\text{ W}$ . Bij maximale oversturing van de versterker met maximale clipping is de golfvorm een blok golf met topwaarden dicht bij de voedingsspanningen. In dat geval is de vermogensdissipatie over R44 en R47 elk  $2,6\text{ W}$ . Dit zou eigenlijk nooit mogen gebeuren, maar toch gebruiken we  $3\text{W}$ -types om te voorkomen dat de weerstanden in rook opgaan. Voor R45 en R46 zijn  $2\text{W}$ -types voldoende. De vermogensdissipatie in deze vermogensweerstand is ook afhankelijk van de omgevingstemperatuur.

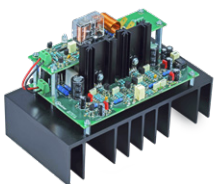
### DC-correctie

Idealiter hebben beide ingangs-transistorpaartjes dezelfde  $U_{\text{BE}}$ , zodat de basisstromen van T1 en T3 elkaar zouden compenseren. Maar zelfs als de  $h_{\text{FE}}$ -waarden van de twee transistorparen gelijk zijn, zouden de spanningsverliezen over LED1 en LED2 iets verschillen omdat LED's, net als transistoren en weerstanden, een zekere tolerantie hebben. Dit leidt tot verschillen in de DC-instelling, en zelfs kleine verschillen worden versterkt. Metingen toonden aan dat de versterking van een BC556B groter is dan die van een BC546B, maar zelfs dat is afhankelijk van de fabrikant. Een verschil in de basisstromen van de NPN- en PNP-transistoren veroorzaakt verschillende offsetspanningen over R3 en R4, aangezien de waarden daarvan zeer verschillend zijn ( $10\text{ k}\Omega$  en  $390\ \Omega$ ). De spanningsval over R4 kan worden genegeerd. De offset wordt vervolgens versterkt en moet dus worden gecompenseerd. Dit wordt gedaan door opamp IC3. Het gekozen type OPA177 heeft een zeer lage intrinsieke ingangs-offset. De opamp werkt als een integrator en meet via R57 de DC-component van de uitgangsspanning. De uitgangsspanning van de opamp voegt een zeer kleine negatieve tegenkoppelstroom toe aan R3 via R58/R59/C29, die de offset corrigeert tot bijna  $0\text{ V}$ . Condensator C29 filtert de resterende AC-spanningscomponenten van IC3. De offset die wordt veroorzaakt door de verschillende basis-emitterspanningen van de ingangstransistoren wordt ook gecompenseerd. Door alle toleranties zal de spanning op R3 hoogstwaarschijnlijk niet precies  $0\text{ V}$  zijn, ook al ligt de uitgangsspanning dicht bij  $0\text{ V}$ . In de praktijk zal er een kleine offset over R3 blijven. In het prototype bedroeg de offsetspanning over R3 ongeveer  $0,7\text{ mV}$ .

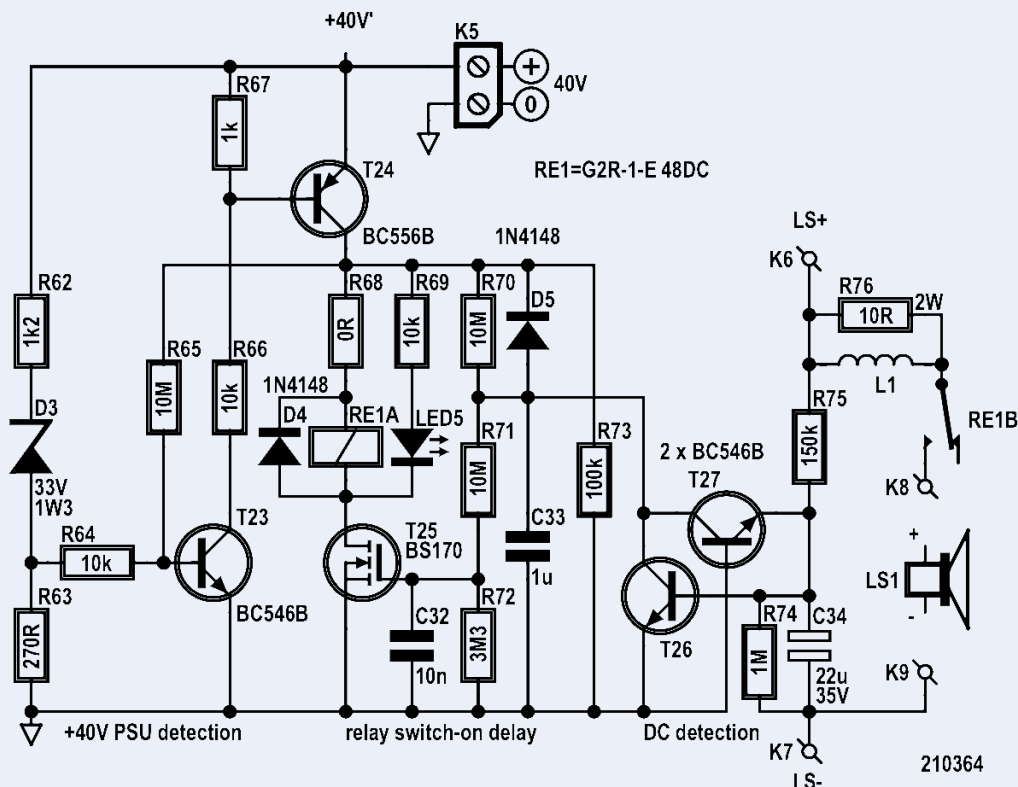
De symmetrische voedingsspanning ( $\pm 20\text{ V}$ ) voor de opamp worden afgeleid van de  $\pm 40\text{V}$ -voeding via weerstanden R60 en R61 en zenerdiodes D1 en D2.

### Beveiliging

In het geval dat er gelijkspanning op de uitgang staat of er zich andere storingen voordoen, is het een goed idee om de luidspreker los te koppelen. **Figuur 5** toont de beveiligingsschakeling. Transistoren T26 en T27 maken deel uit van de DC-detectieschakeling. Na een inschakelvertraging activeren T24 en T25 de luidspreker via een relais. Een relatief grote gelijkspanning over R75







genereert een collectorstroom in T26 die C33 ontladend. Vervolgens schakelt T25 het relais uit. Een overeenkomstige negatieve gelijkspanning over R75 genereert een emitterstroom in T27 die C33 ontladend. Dan schakelt T25 het relais uit. R75 en C34 vormen een laagdoorlaatfilter, zodat lage audiofrequenties niet worden verward met gelijkspanningen, zelfs niet bij maximaal uitgangssignaal. Om de luidspreker uit te schakelen wanneer de versterker wordt in- of uitgeschakeld, schakelt T23 het relais via T24 uit wanneer de voedingsspanning te laag is. R65 zorgt voor een kleine hysteresis. Inschakeling vindt plaats bij spanningen  $\geq 36,7$  V en uitschakeling bij spanningen  $\leq 36,5$  V. Deze spanningen worden vastgelegd door zenerdiode D3. De stroom door D3 wordt door R62 plus R63 ingesteld op ongeveer 5 mA bij 40 V. De spanning over R63 wordt geëvalueerd door de Schmitt-trigger bestaande uit T23, T24 en R64...R67. De hysteresis voorkomt het klapperen van het relais bij kleine storingen of geringe variaties in de voedingsspanning bij een groot uitgangsvermogen. MOSFET T25 zorgt in combinatie met het tijdconstante-netwerk gevormd door R70, R71, R72 en C33 voor een inschakelvertraging die het 'ploppen' van de luidspreker voorkomt, aangezien de luidspreker pas wordt ingeschakeld als de voedingsspanning hoog genoeg is en de versterker tot rust is gekomen. R73 en D5 ontladen C33 snel wanneer T24 wordt uitgeschakeld. Dit zorgt voor een gedefinieerde inschakelvertraging van het relais bij een volgende maal inschakelen of bij afwezigheid van een gelijkspanning aan de uitgang. De weerstanden aan de gate van T25 hebben een voldoende hoge weerstand dat een relatief lage waarde van C33 voldoende is voor een adequate tijdconstante. Hierdoor kan een kunststof-foliecondensator worden gebruikt,

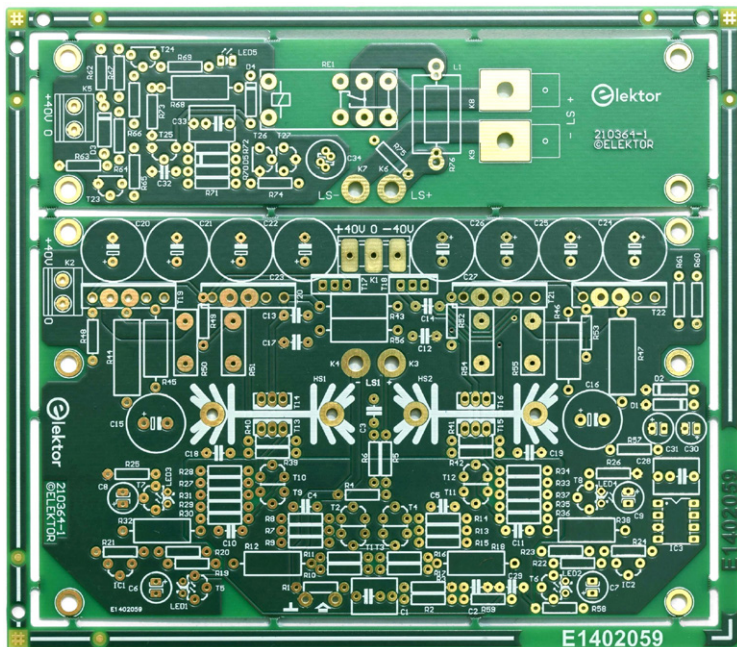
wat de voorkeur verdient, omdat elco's gewoonlijk een hoge lekstroom hebben en sneller verouderen. Met 1  $\mu\text{F}$  voor C33 bedraagt de vertraging ongeveer 3,5 seconden. Het relais van het type G2R-1-E DC48 heeft een bedrijfs-spanning van 48 V, en de contacten zijn berekend op maximaal 16 A. Volgens de datasheet kan het relais ongeveer 5 A schakelen bij 40 VDC. Het relais wordt ingeschakeld bij 70% van de nominale spoelspanning. Dit betekent dat 34 V voldoende is om het relais te activeren. In ieder geval is de beschikbare 40 V meer dan voldoende. Als een ander relais met een lagere spoelspanning (bijvoorbeeld 24 V) wordt gebruikt, moet de 0 $\Omega$ -weerstand R68 (of draadbrug) worden vervangen door een weerstand met een geschikte waarde. Het 24V-relais G2R-1-E DC24 heeft bijvoorbeeld een spoelweerstand van 1,1 k $\Omega$ . De waarde van R68 kan dan als volgt worden berekend:

$$R_{68} = (40 \text{ V} - 24 \text{ V}) / 24 \text{ V} \times 1,1 \text{ k}\Omega = 733 \text{ }\Omega$$

De dichtstbijgelegen lagere of hogere waarde uit de E12-reeks zou geschikt zijn. Bij  $680\ \Omega$  zou de spoelspanning 24,7 V bedragen en bij  $820\ \Omega$  ongeveer 23 V. De spanningsval over T23 en T24 kan hier worden verwaarloosd. De vermogensdissipatie van R68 is ongeveer 350 mW met een weerstand van  $680\ \Omega$ , zodat de print-layout is voorbereid voor de montage van een 1W-weerstand.

## Bouw

De montage van de vermogenstransistoren T17..T22 en de assemblage van de print is relatief eenvoudig gehouden. Het noodzakelijke mechanische werk bestaat uit het boren

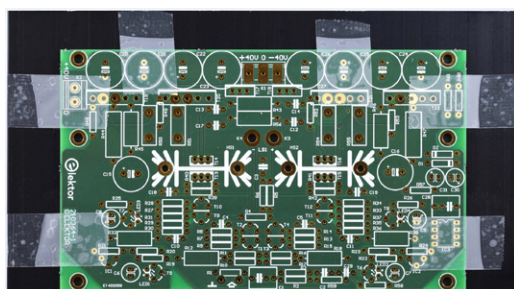


Figuur 6. De dubbelzijdige, doorgemetalliseerde print van het prototype. De PCB-layouts van de twee afzonderlijke printplaten kunnen worden gedownload [3].

Figuur 7. Achterkant van het grote koellichaam. De twaalf zwarte schroefkoppen zijn nauwelijks te zien.



Figuur 8. De met plakband gefixeerde versterkerprint fungeert als sjabloon voor het markeren van de te boren gaten.



Figuur 9. Het grote koellichaam met zes 10mm-afstandshouders voor de montage van de versterkerprint.



van twaalf 3mm-gaten voor de montage van de transistoren en de printen (**figuur 6**) aan de achterzijde van het koellichaam. Tussen de ribben van het SK53-100-SA koellichaam van Fischer Elektronik is voldoende plaats voor de koppen van de 3mm-schroeven. De print worden op het koellichaam bevestigd met zes metalen afstandshouders van 10 mm met M3-schroefdraad. Om een geringe thermische weerstand te bereiken, zijn de transistoren geïsoleerd met keramische isolatiepads (aluminiumoxide). In het laatste stadium van de bouw moet een zeer dun laagje warmtegeleidende pasta worden aangebracht op de achterkant van de transistoren en de onderkant van de pads die op het koellichaam rusten. Voorkom huidcontact met deze pasta; veel van deze pasta's zijn giftig.

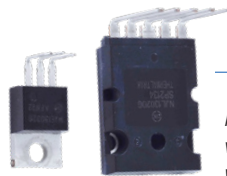
De in figuur 5 getekende beveiligingsschakeling zit zich op een tweede, kleinere print (bovenste deel van figuur 6), die boven de versterkerprint is gemonteerd met zes stuks 30mm-afstandshouders. De contacten K3 en K4 op de versterkerprint verbinden de versterkeruitgang via twee van deze afstandshouders met de contacten K6 en K7 op de beveiligingsprint. Van daaruit is K7 rechtstreeks verbonden met K9 of met uitgangsklem LS-. K6 daarentegen is via L1 verbonden met de relaiscontacten, en van daaruit met K8 of uitgangsklem LS+. Hier zijn de sporen aan beide zijden van de printplaat gelegd voor een geringe weerstand. Faston-connectoren K8 en K9 garanderen een lage overgangsweerstand naar de luidsprekerkabel en ondersteunen een hoge reële dempingsfactor. De afstandshouders hebben aan het ene uiteinde een inwendige schroefdraad en aan het andere uiteinde een draadeind. De inwendige schroefdraad wordt naar het koellichaam gericht, en de draadeinden gaan door de gaten van de beveiligingsprint. Alle schroefkoppen moeten zich aan de achterzijde van het koellichaam bevinden. Zwarte schroeven zijn relatief onopvallend aan de achterzijde van het koellichaam (zie **figuur 7**). In het prototype zijn zes M3x12 kruiskopschroeven gebruikt om de print te monteren. Voor de drivertransistoren in TO-220 behuizingen waren ook 12mm-schroeven bruikbaar, maar zwarte schroeven waren destijds alleen als M3x16 inbusschroeven bij Conrad verkrijgbaar. Die zijn vast ook ergens anders te vinden.

## Koellichaam

Leg eerst de print op het koellichaam zoals getoond in **figuur 8** en fixeer hem met plakband. De onderrand van de print (waar C1 zit) moet 1 mm van de rand van het koellichaam blijven, met de printplaat horizontaal in het midden. Op de foto is de print tijdelijk vastgezet met plakband om als sjabloon te dienen voor het markeren van de plaats van de gaten voor de zes metalen afstandshouders.

Met een boor van 3,5 mm kunnen de drie gaten aan elke kant (links en rechts) worden gemarkeerd. Draai de boor met de hand *linksom* in elk van de zes gaten, waarbij je enige druk uitoefent. Zo kan de print niet worden bescha-





Figuur 10. De pootjes van de vermogenstransistoren moeten op deze manier worden gebogen.

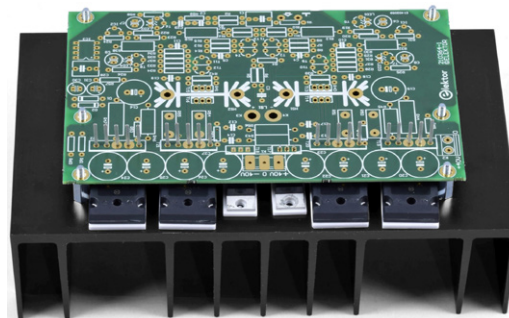
digd. Let er echter op dat K3 en K4 niet gemarkeerd zijn. De printplaat wordt zo gelegd dat de gaten zich tussen de koelribben van het koellichaam bevinden, met voldoende speling. Boor vervolgens de gaten met een 3,2mm-boor en schroef de zes 10mm-afstandshouders stevig vast. Het geheel moet er uitzien als in **figuur 9**. Als de print gemakkelijk over de zes draadeinden past, is alles in orde. Als dat niet het geval is, kunt u een of meer gaten uitvijlen om de plaats van de afstandshouders aan te passen.

Vóór de montage moeten alle pootjes van T17...T22 haaks naar boven worden gebogen (zoals in **figuur 10**). Om te voorkomen dat bij het buigen van de draden te veel kracht op de behuizingen van de grote vermogenstransistoren T19...T22 wordt uitgeoefend, klem je de draden dicht bij de behuizing in een bankschroef met een 2mm-boor tussen de bekken van de bankschroef. Met een geschikt stuk plaatmetaal kun je dan alle draden haaks ombuigen. De pinnen van de kleinere transistoren T17 en T18 kunnen met een tang worden gebogen, waarbij erop moet worden gelet dat ze 1 mm worden gebogen vanaf het punt waar ze (naar de behuizing toe) breder worden. Om de gaten voor de zes transistoren te markeren, leg je ze op de isolatiepads en steek je de pootjes in de soldeergaten van de print. De print moet daarbij op de zes draadeinden liggen. Na een beetje heen en weer schuiven moet het geheel er uitzien als in **figuur 11**. Tekens vervolgens de posities van de zes gaten af zoals voorheen, met een boor van 3 mm die je met de hand *linksom* draait. Bij het prototype zaten de vier gaten voor T19...T22 ongeveer 8,8 mm van de rand van het koellichaam, en die voor T17 en T18 ongeveer 11,5 mm. Dit hangt natuurlijk af van hoe nauwkeurig de pootjes van de transistoren omgebogen zijn, dus het kan bij jou iets anders zijn. **Figuur 12** toont de gemarkeerde plaatsen van de zes montagegaten voor de transistoren, en in **figuur 13** zijn ze geboord.

Schroef vervolgens de transistoren en keramische isolatiepads op hun plaats. Je moet de moeren niet te vast aandraaien. Controleer vervolgens of de aansluitdraden van de transistoren netjes in de gaten van de printplaat passen en of de printplaat daarbij op de zes draadeinden past. Indien nodig moet je de pootjes van de transistoren iets bijbuigen.

### Volbouwen van de print

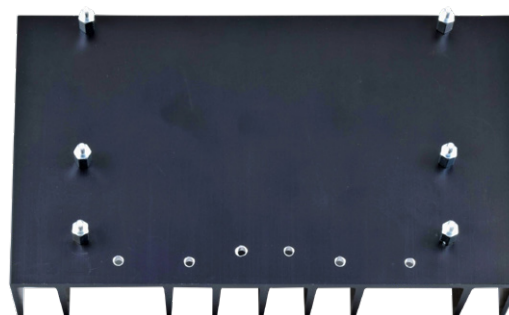
Na deze voorbereidingen kunnen bijna alle onderdelen op de print worden gemonteerd. Zoals gebruikelijk is de montagevolgorde gebaseerd op de hoogte van de componenten. Begin met de kleine weerstanden en de diodes D1...D5 (zie **figuur 14**). Monteer vervolgens de vermogensweerstand en het voetje voor IC3. Daarna komen de kleinere condensatoren, gesorteerd naar grootte: C3, C10, C11, C32, C4, C5, C12, C2, C13, C14, C18, C19, C29, C17, C33 en C28. Na het monteren van de grotere condensatoren (C6...C9, C30, C31 en C34) bevestig je K5 en tenslotte C1.



Figuur 11. Markeren van de gaten voor de eindtransistoren. Om de nauwkeurigheid te vergroten, worden de transistoren op keramische isolatiepads gelegd.

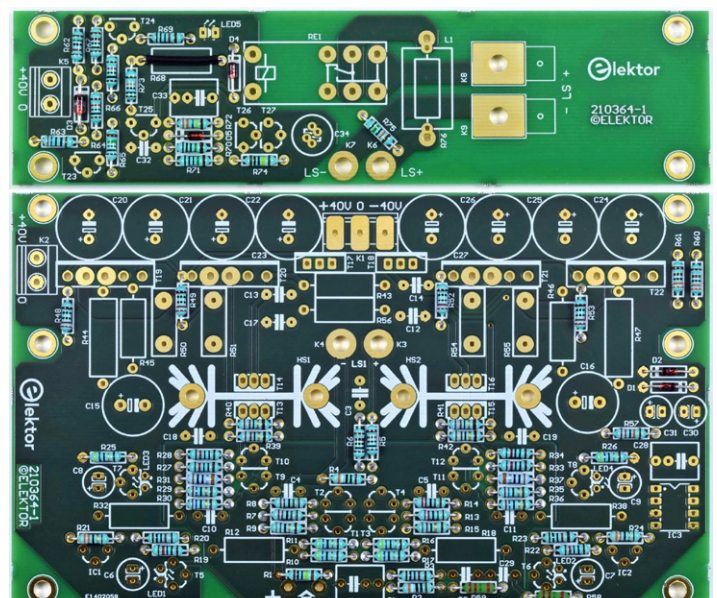


Figuur 12. De boorgaten voor de bevestiging van de eindtransistoren zijn gemarkeerd.

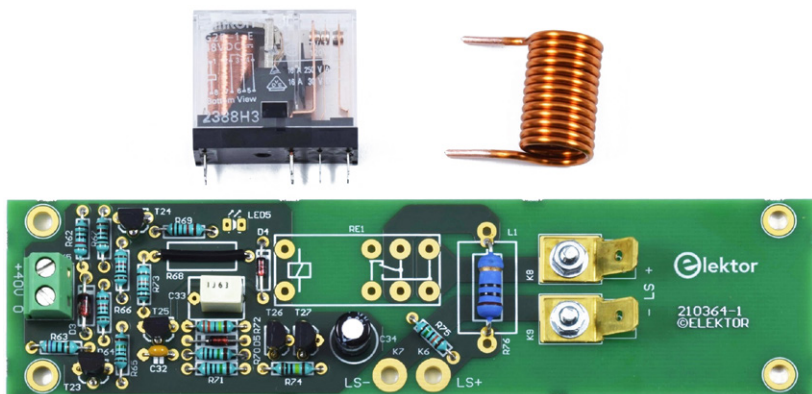


Figuur 13. De gaten voor de montage van de eindtransistoren zijn geboord.

Figuur 14. De 'lage' componenten, zoals weerstanden en diodes, worden eerst op de print gemonteerd.

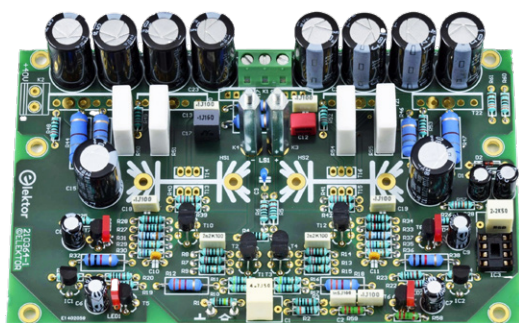






Figuur 15. De bijna volledig gemonteerde beveiligingsschakeling. Alleen het relais en de zelfgemaakte spoel van koperlakdraad moeten nog op hun plaats worden gesoldeerd.

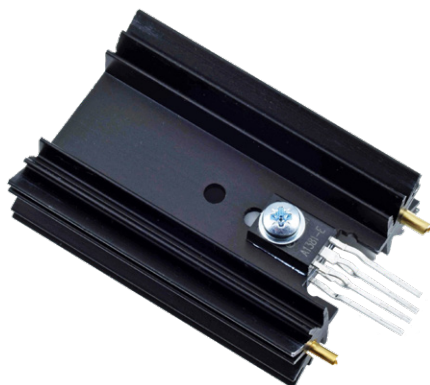
Figuur 16. De twee metalen afstandshouders van K3 naar K6 en van K4 naar K7 bevinden zich in het midden van de versterkerprint, naast elkaar.



Figuur 17. Om spanningen door thermische uitzetting te voorkomen, worden de aansluitdraden van de drivertransistoren iets gebogen. Dit gaat heel gemakkelijk met de hier afgebeelde speciale tang, maar het kan ook met een rondbektang.



Figuur 18. Een klein koellichaam met twee aan weerszijden gemonteerde drivertransistoren. Vergeet de sluitringen niet.



Bouw vervolgens de beveiligingsprint vol door de transistoren T23..T27, de twee faston-connectoren K8 en K9 (vastgezet met M3x8-schroeven en moeren met sluitringen), spoel L1 (13 windingen van 1,5 mm koperlakdraad met een binnendiameter van 10 mm) en tenslotte relais RE1 aan te brengen. Een 10mm-boortje is perfect als wikkelvorm voor L1. De draden van de spoel moeten lang genoeg zijn om hem boven R76 te monteren. Gebruik een hobbymes of zoiets om de lak aan de uiteinden van de draden weg te krabben. **Figuur 15** toont de bijna volledig gemonteerde print. Als je wilt, kun je LED5 later op de voorkant van de versterkerkast monteren en aansluiten met dunne montagedraad.

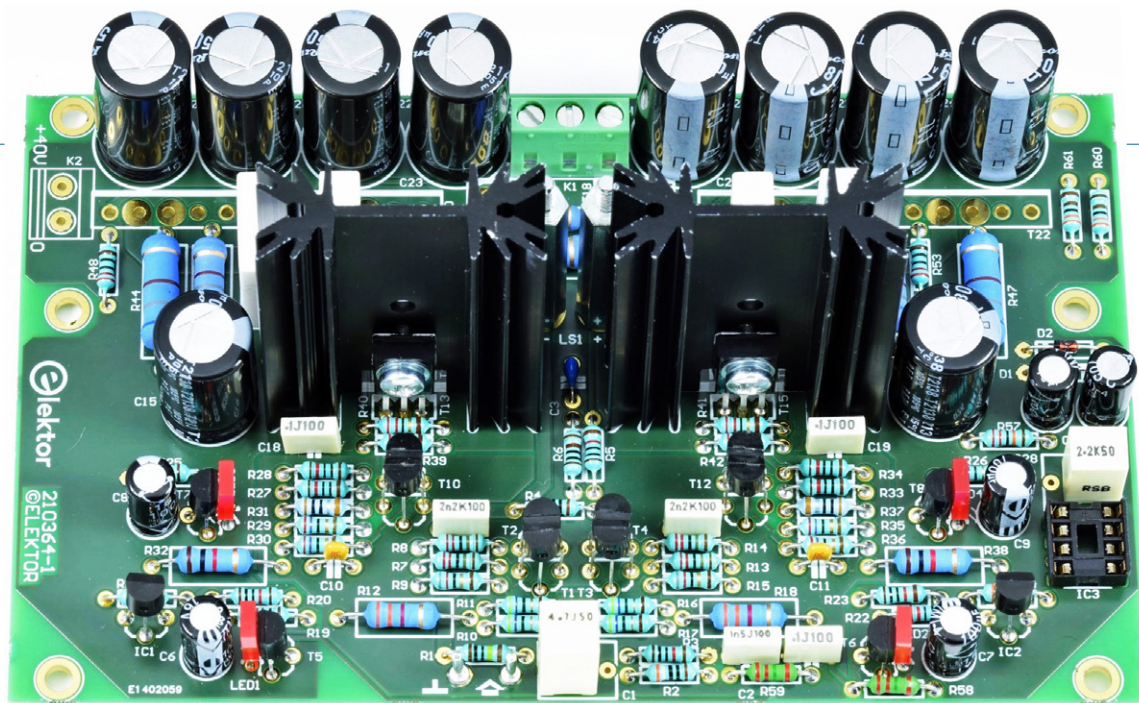
Terug naar de versterkerprint: nu zijn T5..T8 en LED1... LED4 aan de beurt. De in de LED's zichtbare chips moeten op halve hoogte van de behuizing van de aangrenzende transistoren komen. Buig de transistoren en LED's tegen elkaar na het solderen, of – beter – tijdens het solderen, om een goede thermische koppeling te krijgen.

Na het eerder beschreven 'matchen' van transistorpaartjes T1/T2, T3/T4, T9/T10 en T11/T12 voor dezelfde  $U_{BE}$  en  $h_{FE}$ , kunnen ze nu op de print worden gemonteerd. Let er bij het solderen van de transistorpaartjes op dat de platte kanten elkaar over het gehele oppervlak raken voor een goede thermische koppeling. Monteer vervolgens de vermogensweerstand R50, R51, R54 en R55, daarna de condensatoren C15 en C16, en tenslotte de condensatoren C20..C27.

Nu komt nog wat mechanisch werk. Bevestig de twee afstandshouders die de uitgangen van de print bij K3 en K4 vormen, aan de bovenzijde van de versterkerprint met M3x8-schroeven die van onderaf worden ingebracht. **Figuur 16** toont het resultaat.

### Montage van de transistoren

De volgende stap is het monteren van transistoren T13... T16 op de twee kleine koellichamen HS1 en HS2. Om mechanische spanningen ten gevolge van temperatuurschommelingen te verminderen, moeten de pootjes van de transistors een klein bochtje krijgen. **Figuur 17** toont een speciale tang en een transistor met gebogen aansluitdraden, en **figuur 18** toont twee transistoren die op een koellichaam zijn geschroefd met een beetje warmtegeleidende pasta. De bochtjes moeten dicht genoeg bij de behuizing zitten om de transistorpootjes door de print te laten passen. Breng een sluitring aan onder de schroefkop om de transistoren te beschermen. Draai de moeren nog niet helemaal vast. De schroefkop moet aan de kant van T13 respectievelijk T15 zitten, omdat je er anders later met een schroevendraaier niet meer bij komt. Plaats nu de koellichamen en transistors op de print, waarbij je eerst beide metalen pennen van de koellichamen soldeert. Gebruik dan een kleine platbektang om de M3 moeren aan de achterkant vast te houden (tegenover de dikke condensatoren) en draai de schroeven vanaf de voorkant vast met een passende schroevendraaier.



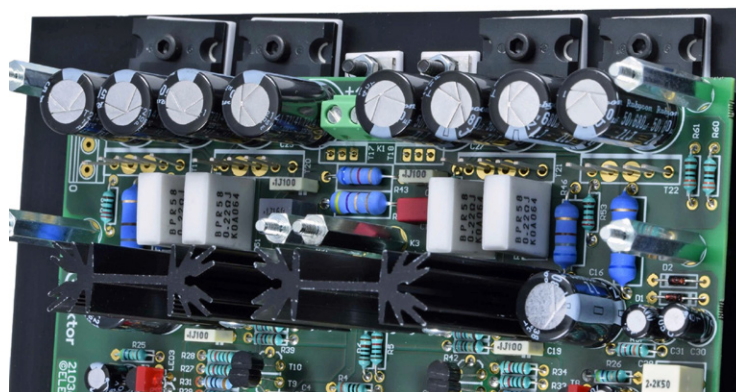
Figuur 19. De twee koellichamen met T13||T14 en T15||T16 zijn op de versterkerprint gesoldeerd.

Soldeer tenslotte de pootjes van de vier transistoren. De print moet er nu uitzien als op de foto van **figuur 19**. In **figuur 20** zijn transistoren T17...T22 provisorisch met schroeven en moeren op het koellichaam bevestigd, zodat ze op de juiste posities kunnen worden gesoldeerd. Monteer hiervoor ook tijdelijk de print op het koellichaam met behulp van de 10mm-afstandshouders, waarbij de print met moertjes op zijn plaats wordt gehouden (of met de 30mm-afstandshouders, zoals op de foto). Natuurlijk moeten de keramische isolatiepads ook onder de transistors komen, zodat alles later past. Voor T17 en T18 moeten kleine isolatiebusjes op de schroeven worden geschoven om een nauwkeurige plaatsing te verzekeren. Soldeer nu tenminste de twee buitenste pootjes van elke transistor aan de bovenzijde van de print. Let hierbij goed op dat je de condensatoren in de buurt niet beschadigt met de soldeerbout. Bij voorkeur soldeer je alle pootjes aan de bovenkant meteen vast. Een lange, dunne soldeerstift is handig.

Verwijder vervolgens alle schroeven van de transistoren en de moeren die de print vasthouden. Let er bij het verwijderen van de printplaat op dat je geen transistorpootjes verbuigt. Draai nu de printplaat om en soldeer ook de transistorpootjes aan de achterkant vast. De tweepolige printkroonsteen K2 is nog niet gemonteerd, om beter bij de aansluitingen van T19 te kunnen. Dat moet nu gebeuren.

Breng vervolgens een uiterst dun laagje warmtegeleidende pasta aan op de achterkant van de zes transistoren en op die zijde van elk keramisch isolatiepad die op het koellichaam komt. Zet vervolgens het koellichaam rechtop, zodat de gaten voor de transistoren bovenaan zitten. Steek de zes M3-schroeven voor de transistoren half door de gaten vanaf de achterkant. Zo kun je alle zes keramische pads (met de gecoate zijde naar het koellichaam) één voor één over de schroeven schuiven (zie **figuur 21**).

Plaats nu de print voorzichtig op de afstandshouders en zorg er daarbij voor dat de schroeven door de gaten van de transistors gaan. Zet de print vervolgens vast met de



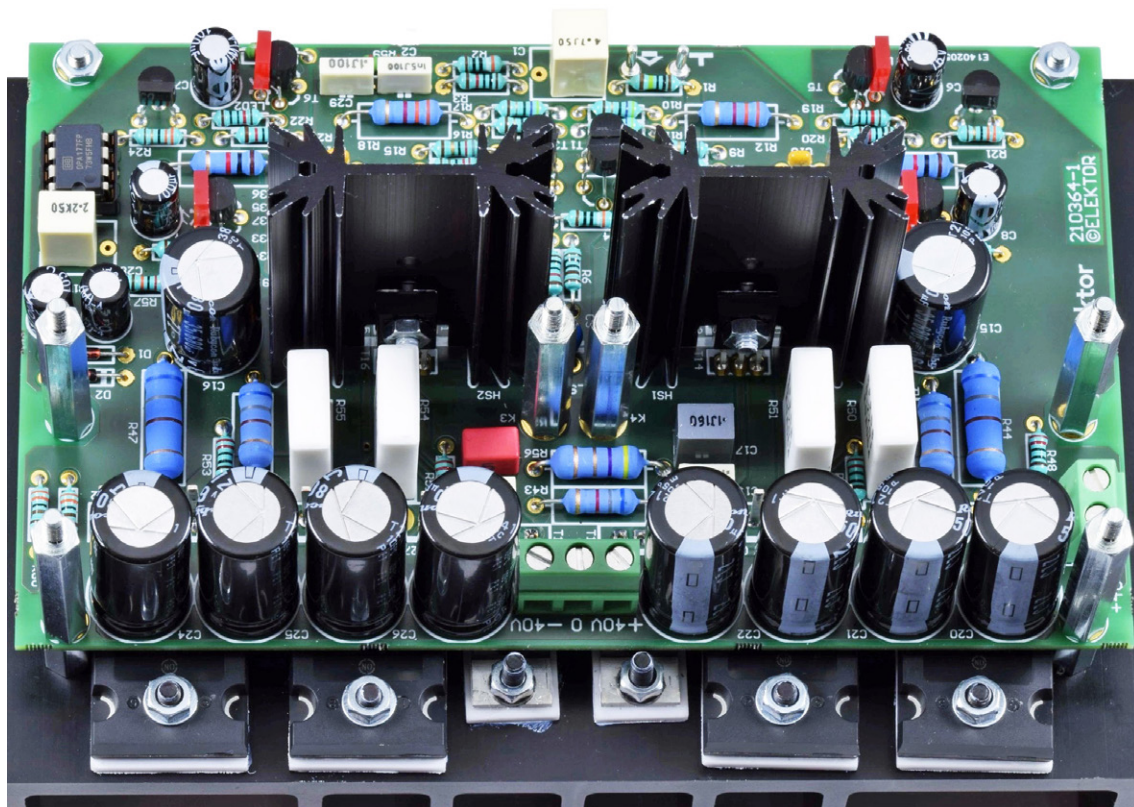
Figuur 20. Transistoren T17...T22 tijdelijk met kreamische isolatiepads gemonteerd op het koellichaam. Na de voorlopige montage van de printplaat worden de pootjes van T17...T22 aan de bovenzijde van de print gesoldeerd.



Figuur 21. De keramische isolatiepads worden aan één zijde bestreken met een dun laagje warmtegeleidende pasta en over de half ingestoken schroeven geschoven. Het koellichaam moet hiervoor rechtop staan.



Figuur 22. Nu wordt de print met de transistoren op het koellichaam geplaatst en worden de transistoren stevig vastgeschroefd, zoals hier te zien.



vier 30mm-afstandshouders (bij de transistoren), draai M3-moeren op de andere twee draadeinden, en draai ze vast. Breng aan de bovenzijde van de vier eindtransistoren (T19...T22) M3-ringen aan om de behuizingen te beschermen. Monteer ook de isolatiebussen voor T17 en T18. Draai tenslotte alle schroeven vast. **Figuur 22** toont de volledig gemonteerde eindtrap.

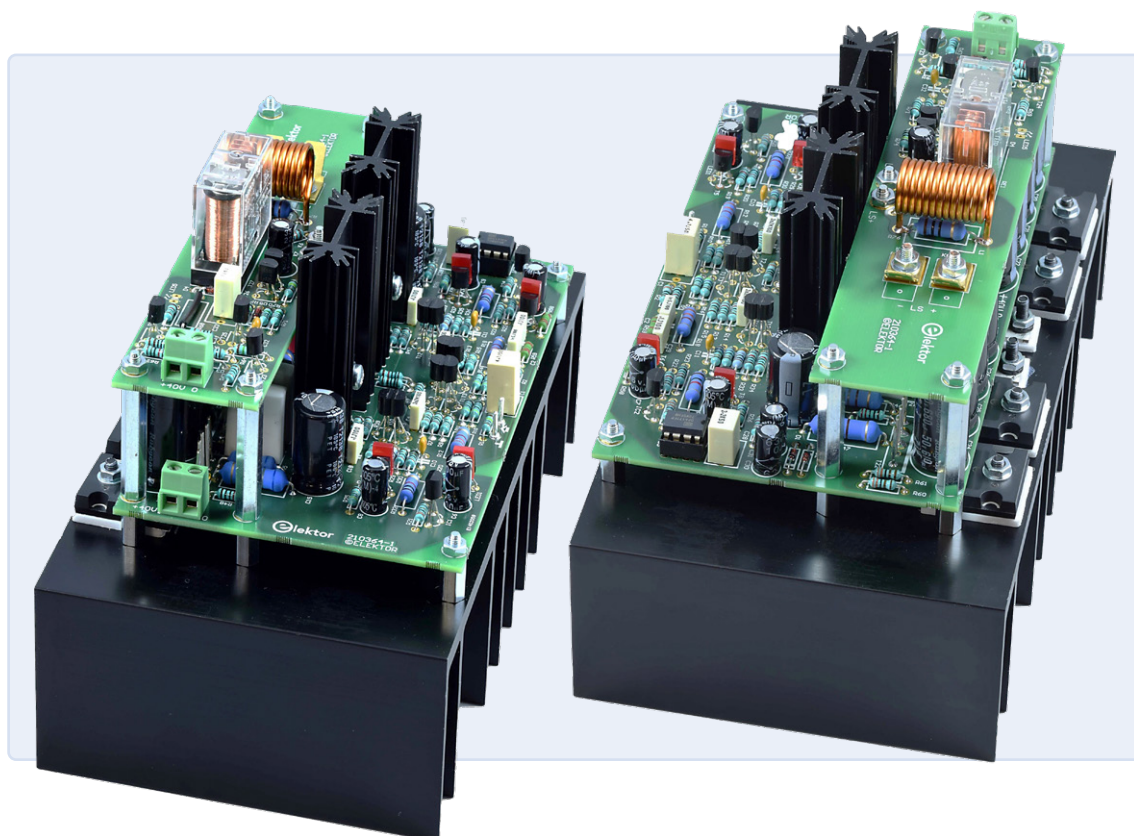
30mm-afstandshouders en zet de print vast met zes M3-moeren. **Figuur 23** toont het linker en rechter zijaanzicht van de vrijwel complete versterkermodule vóór aansluiting op de voeding. Op dit moment is LED5 nog niet op de beveiligingsprint aangesloten. Je kunt nu gaan testen.

### Eindmontage

Monteer de volgebouwde beveiligingsprint op de zes

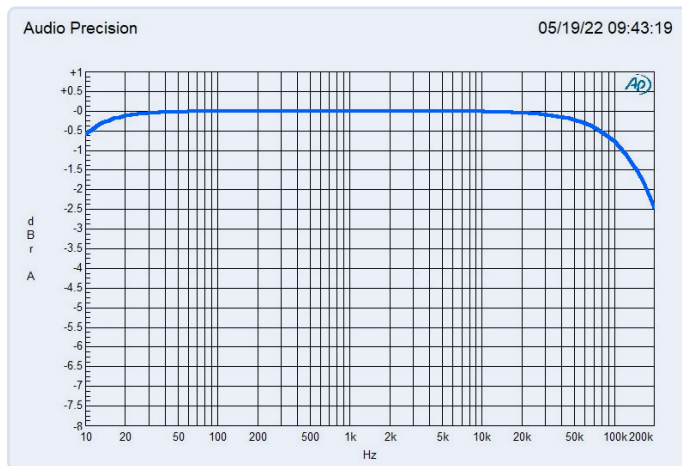
### Metingen

Hieronder beschrijven we verschillende relevante grafieken op basis van metingen aan het prototype.

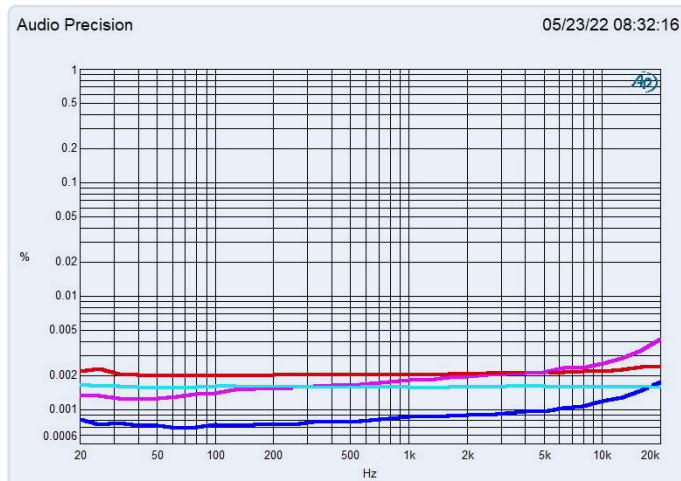


Figuur 23. Met de beveiligingsprint bovenop de versterkerprint is het resultaat een compacte module – hier het linker en rechter zijaanzicht.

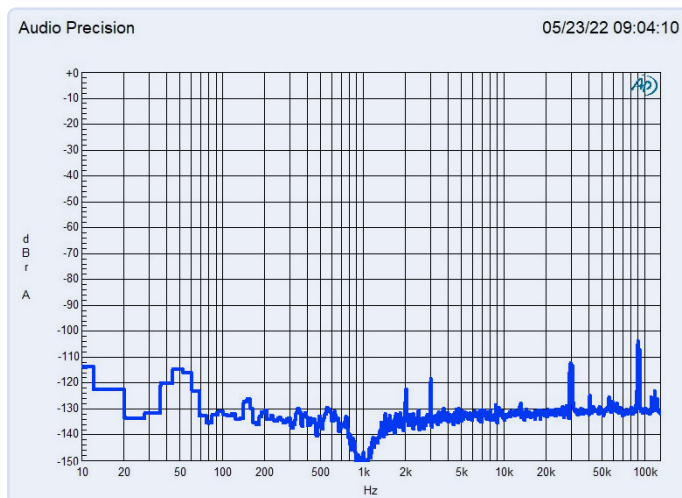




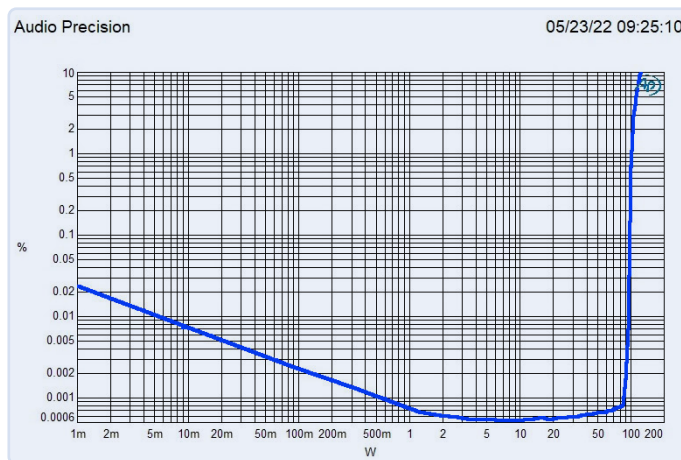
Figuur 24. De gemeten frequentierespons: de  $-0,5\text{dB}$ -bandbreedte loopt van 10,8 Hz tot 78 kHz.



Figuur 25. THD versus frequentie met  $4\Omega$ - en  $8\Omega$ -belasting en verschillende vermogensniveaus: cyaan: 1 W in  $8\Omega$ ; rood: 1 W in  $4\Omega$ ; blauw: 50 W in  $8\Omega$ ; magenta: 100 W in  $4\Omega$ .



Figuur 26. Het harmonische spectrum bij aansturing van de versterker met een 1kHz-sinus en een vermogen van 1 W in  $8\Omega$ . De in theorie hoorbare pieken bij 2 kHz en 3 kHz zijn minimaal.



Figuur 27. THD + ruis versus uitgangsniveau bij aansturing van de versterker met een 1kHz-sinus; de belasting is  $8\Omega$  en de bandbreedte 22 kHz.

## Frequentierespons

Figuur 24 toont de frequentierespons, ofwel de amplitude in dB versus de frequentie. De  $-3\text{dB}$ -bandbreedte van de Fortissimo is 3,3 Hz tot 237 kHz – een groter bereik dan de generator van onze Audio Precision-analyzer kan produceren. De smallere  $-0,5\text{dB}$ -bandbreedte loopt van 10,8 Hz tot 78 kHz.

## THD+N versus frequentie

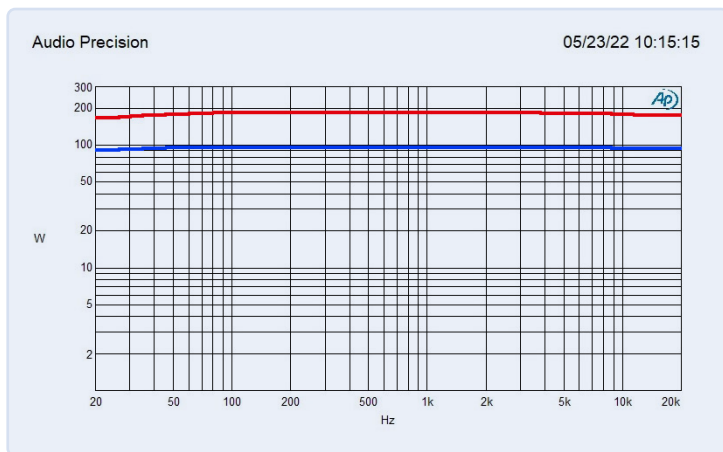
De grafiek van **figuur 25** toont de THD plus ruis versus frequentie bij belastingen van  $4\Omega$  en  $8\Omega$ , in beide gevallen bij 1 W en 50 W uitgangsvermogen en een bandbreedte van 80 kHz. De curve voor 1 W in  $8\Omega$  (cyaan) bestaat voornamelijk uit ruis. Bij 1 W in  $4\Omega$  (rood) is de uitgangsspanning lager en het relatieve ruisniveau hoger. De invloed van harmonischen is ook te zien bij hogere frequenties. De curve voor 50 W in  $8\Omega$  (blauw) is extreem laag beneden 1 kHz, met minder dan 0,0008%. Zelfs bij 20 kHz stijgt het niveau tot slechts 0,0018%. Met  $4\Omega$  en dezelfde uitgangsspanning (100 W, magenta) is de THD hoger, maar nog steeds uitstekend: 0,0023% bij 1 kHz en 0,0042% bij 20 kHz.

## Spectrum

Figuur 26 toont het frequentiespectrum met de versterker bij aansturing met een 1kHz-sinus en een vermogen van 1 W in  $8\Omega$ . Er zijn twee harmonischen zichtbaar in het hoorbare bereik, bij 2 kHz en 3 kHz. De eerste heeft een niveau van slechts  $-122,6\text{ dB}$ , en de tweede piek haalt  $-118,5\text{ dB}$ . De resulterende THD is dus slechts 0,00015% – een ongelooflijke 1,5 ppm. De pieken bij 30 kHz en 90 kHz zijn afkomstig van de restrimpel van de hier gebruikte labvoeding, wat verklaart waarom de THD bij een bandbreedte van 22 kHz kleiner is dan bij een bandbreedte van 80 kHz. Bij hogere uitgangsniveaus zijn de artefacten van de voeding niet langer zichtbaar.

## THD+N versus vermogen

De curven in **figuur 27** tonen de THD + ruis als functie van het uitgangsniveau, bij aansturing met een 1kHz-sinus en een  $8\Omega$ -belasting, gemeten met een bandbreedte van 22 kHz. Bij 10 W is de THD slechts 0,00052%. De THD loopt op tot 0,0008% bij ongeveer 85 W en neemt sterk toe bij hogere vermogens.



▲  
Figuur 28. Vermogen versus frequentie bij 0,1% THD. De blauwe curve is gemeten bij 8 Ω en de rode bij 4 Ω.

### Vermogensbandbreedte

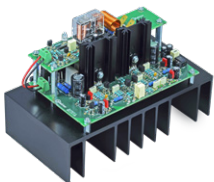
**Figuur 28** toont het maximale uitgangsvermogen versus frequentie bij 0,1% THD. De blauwe curve vertegenwoordigt een 8Ω-belasting, terwijl de rode 4 Ω representeert. In een 8Ω-belasting is het uitgangsvermogen bij verschillende frequenties: 20 Hz – 89,5 W; 1 kHz – 94 W; 20 kHz – 92,4 W. In een belasting van 4 Ω zijn de cijfers: 20 Hz – 163 W; 1 kHz – 181 W; 20 kHz – 171 W. De exacte waarden zijn afhankelijk van de voedingsspanning. Elk spanningsverlies over de bedrading van de versterkervoeding is merkbaar. Daarom zijn in de testopstelling twee elco's van 10.000 µF bij printkroonsteen K1 geplaatst. Bij 181 W in 4 Ω bedraagt de piekstroom van het sinussignaal 9,5 A, dus voor een maximaal vermogen in 4 Ω moet de voeding ten minste 10 A DC kunnen leveren.

### Je zult versteld staan

De Fortissimo-versterker bewijst op indrukwekkende manier dat de tijd niet heeft stilgestaan op het gebied van analoge audioversterkers. Met een geoptimaliseerde schakeling en (deels) betere halfgeleidercomponenten kan de kwaliteit ten opzichte van de oorspronkelijke Power Amp worden verbeterd, en dat tegen een acceptabele prijs. De bouw van deze versterker is waarschijnlijk niet aan te bevelen voor beginners, maar de afzonderlijke fasen zijn zo gedetailleerd beschreven dat vrijwel iedere elektronica-hobbyist met een redelijke mate van ervaring in staat zou moeten zijn om de versterker met succes na te bouwen. Een ander voordeel is dat er absoluut geen afregeling nodig is.

Als je niet helemaal zeker van je zaak bent, kun je de versterker beschermen door een gloeilamp van 100 W in serie met elke voedingsaansluiting te schakelen voor een eerste test, ervan uitgaande dat je nog gloeilampen kunt vinden (halogeenlampen zijn ook geschikt). Die lampen hebben een koude weerstand van ongeveer 10 Ω. Als ze merkbaar warm worden of licht opglowen in het donker, is er iets mis. Voordat de versterker zonder deze vorm van serieweerstanden wordt gebruikt, kun je de gelijkspanningen over diverse componenten controleren (zie de tabel **Gelijkspanningen**) om te zien of er montagefouten zijn. De spanningen moeten ongeveer binnen ±20% van de bij het prototype gemeten waarden liggen.

Als alles goed is, hoop ik dat je geniet van de eerste luistertest. Je zult versteld staan! ◀



### Tabel. Gelijkspanningen

|       |                                                              |
|-------|--------------------------------------------------------------|
| R7    | 7,90 V                                                       |
| R8    | 7,85 V                                                       |
| R13   | 7,90 V                                                       |
| R14   | 7,96 V                                                       |
| R19   | 1,06 V                                                       |
| R22   | 1,05 V                                                       |
| R27   | 1,20 V                                                       |
| R28   | 0,90 V                                                       |
| R33   | 1,20 V                                                       |
| R34   | 0,95 V                                                       |
| R25   | 1,006 V                                                      |
| R26   | 1,007 V                                                      |
| R39   | 0,28 V                                                       |
| R40   | 0,28 V                                                       |
| R41   | 0,28 V                                                       |
| R42   | 0,28 V                                                       |
| R55   | 18,7 mV (koud)<br>28,3 mV (opgewarmd, geen uitgangsvermogen) |
| LED's | 1,675 V (gemiddeld)                                          |



### Vragen of opmerkingen?

Hebt u technische vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar de redactie van Elektor via [redactie@elektor.com](mailto:redactie@elektor.com).

### De Fortissimo-100 Kit

De Fortissimo-100 is in juli 2022 door Elektor als een Jumpstarter-project gelanceerd. Zie de Fortissimo-100 poster in dit nummer voor meer details. Ga naar [www.elektor.nl/20273](http://www.elektor.nl/20273) om een kit te bestellen.



### GERELATEERDE PRODUCTEN

- ▶ **Elektor Fortissimo-100 Power Amplifier Kit**  
[www.elektor.nl/20273](http://www.elektor.nl/20273)
- ▶ **OWON AG1022F 2-ch Arbitrary Waveform Generator with Counter (25 MHz) (SKU 18781)**  
[www.elektor.nl/18781](http://www.elektor.nl/18781)
- ▶ **PeakTech 1404 2-ch Oscilloscope (100 MHz) (SKU 20229)**  
[www.elektor.nl/20229](http://www.elektor.nl/20229)
- ▶ **PeakTech 6227 DC Switching Power Supply (0-60 V, 0-6 A) with color LCD & 2x USB (SKU 19323)**  
[www.elektor.nl/19323](http://www.elektor.nl/19323)

210364-03



## Transistorselectie

Voor de selectie van de transistoren voor de differentiële ingangstrappen kunnen eenvoudige schakelingen zoals die in **figuur 4** op een breadboard worden gebouwd. De twee transistoren moeten dicht bij elkaar worden geplaatst en stevig tegen elkaar worden geklemd. Het verschil tussen de 3,3k $\Omega$ -weerstanden moet zo gering mogelijk zijn. Over de weerstanden van 10 k $\Omega$  worden de basisstromen gemeten. Hoewel de  $h_{FE}$ -waarden van het NPN- en PNP-paar enigszins mogen verschillen, zijn ze in het ideale geval gelijk.

De transistoren zijn niet duur, dus je moet er meer kopen dan je nodig hebt en verschillende transistoren uitproberen tot je exemplaren hebt gevonden met de kleinste offset gemeten tussen de collectorweerstanden. Deze manier van meten is slechts in geringe mate temperatuurafhankelijk. In de twee bovenste meetopstellingen is de collectorstroom 2,16 mA per transistor met de 6,8k $\Omega$ -weerstand in het emittercircuit. Als je nauwkeurig wilt meten met 2,42 mA zoals in de schakeling van figuur 3, hoeft je slechts de negatieve rail op -33,4 V in te stellen.

Voor de tweede verschiltrap moeten een paar dingen worden aangepast. De stroom moet worden vergroot tot ongeveer 9 mA per transistor. Gebruik hiervoor de weerstandswaarden en spanningen tussen haakjes.

Een eenvoudiger methode is om  $U_{BE}$  en  $h_{FE}$  voor elke transistor afzonderlijk te meten en de resulterende tabel met meetwaarden te gebruiken om de beste overeenkomsten te bepalen. Door het ontbreken van thermische koppeling is deze methode echter veel sterker afhankelijk van de temperatuur.

## SPECIFICATIES

De metingen zijn verricht met een laboratoriumvoeding van  $\pm 40$  V. De voedingsspanningen werden gebufferd door twee elektrolytische condensatoren van 10.000  $\mu$ F (werkspanning  $\geq 50$  V) dicht bij connector K1.

### Ingangse gevoeligheid:

1,076 V voor 94 W in 8  $\Omega$  bij 0,1% THD

### Ingangsimpedantie:

10 k $\Omega$

### Continu vermogen (1 kHz):

94 W in 8  $\Omega$  bij 0,1% THD

98 W in 8  $\Omega$  bij 1% THD

181 W in 4  $\Omega$  bij 0,1% THD

188 W in 4  $\Omega$  bij 1% THD

### Belastingimpedantie:

$\geq 3$   $\Omega$

### Bandbreedte:

3,3 Hz – 237 kHz; -3 dB bij 1 W in 8  $\Omega$

10,8 Hz – 78 kHz; -0,5 dB bij 50 W in 8  $\Omega$

generatorimpedantie 20  $\Omega$

### Bandbreedte zonder tegenkoppeling:

$\approx 20$  kHz

### Open-lus versterking:

$\approx 140.000$  in 8  $\Omega$

### Stijgsnelheid:

45 V/ $\mu$ s

### Stijgtijd:

1,5  $\mu$ s

### SNR:

103 dB met B = 22 Hz...22 kHz

106 dBA bij 1 W in 8  $\Omega$

### THD+N:

0,0008% bij 1 kHz; 1 W in 8  $\Omega$ ; B = 22 kHz

0,0016% bij 1 kHz; 1 W in 8  $\Omega$ ; B = 80 kHz

0,0016% bij 20 kHz; 1 W in 8  $\Omega$ ; B = 80 kHz

0,0008% bij 1 kHz; 50 W in 8  $\Omega$ ; B = 22 kHz

0,0008% bij 1 kHz; 50 W in 8  $\Omega$ ; B = 80 kHz

0,0020% bij 20 kHz; 50 W in 8  $\Omega$ ; B = 80 kHz

0,0012% bij 1 kHz; 1 W in 4  $\Omega$ ; B = 22 kHz

0,0020% bij 1 kHz; 1 W in 4  $\Omega$ ; B = 80 kHz

0,0025% bij 20 kHz; 1 W in 4  $\Omega$ ; B = 80 kHz

0,0023% bij 1 kHz; 100 W in 4  $\Omega$ ; B = 22 kHz

0,0023% bij 1 kHz; 100 W in 4  $\Omega$ ; B = 80 kHz

0,0042% bij 20 kHz; 100 W in 4  $\Omega$ ; B = 80 kHz

### Intermodulatievervalsing

(50 Hz:7 kHz, 4:1):

0,0012% bij 1 W in 8  $\Omega$

0,0015% bij 50 W in 8  $\Omega$

0,0024% bij 1 W in 4  $\Omega$

0,0041% bij 100 W in 4  $\Omega$

### Dynamische IMD (3,15kHz-blokgolf

met 15kHz-sinus):

0,0016% bij 1 W in 8  $\Omega$

0,0010% bij 50 W in 8  $\Omega$

0,0019% bij 1 W in 4  $\Omega$

0,0021% bij 100 W in 4  $\Omega$

### Dempingsfactor (bij K8/K9):

570 bij 1 kHz in 8  $\Omega$

315 bij 20 kHz in 8  $\Omega$

### Voedingsspanningsdetectie

(alleen positieve rail):

$\leq 36,5$  V = uit (licht temperatuurafhankelijk)

$\geq 36,7$  V = aan (licht temperatuuraafhankelijk)

### DC-beveiliging:

+0,54 V en -0,89 V

### Inschakelvertraging (relais):

3,5 s

## WEBLINKS

[1] T. Giffard, "The power amp", Elektor oktober 1990: <https://www.elektormagazine.nl/magazine/elektor-199010/37422>

[2] Datasheet NJL3281D/NJL1302D: <https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/njl3281d-d.pdf>

[3] Download print-layout: <https://www.elektormagazine.com/labs/fortissimo-100>



## ONDERDELENLIJST

### Weerstanden:

(tenzij anders vermeld: metaalfilm, 1%, 0,6 W)

R1,R74 = 1 M

R2,R4 = 390 Ω

R3,R5,R20,R23,R64,R66,R69 = 10 k

R6,R67 = 1 k

R7,R8,R13,R14,R60,R61 = 3k3

R9,R15,R27,R28,R33,R34 = 120 Ω

R10,R11,R16,R17 = 68 Ω

R12,R18 = 5k6 5%, 1 W, metaalfilm of metaaloxide, max. 5 × 12 mm

R19,R22,R48,R49,R52,R53 = 220 Ω

R21,R24 = 33 Ω

R25,R26 = 56 Ω

R29,R30,R35,R36 = 27 Ω

R31,R37 = 1 Ω

R32,R38 = 1k5 5%, 1 W, metaalfilm of metaaloxide, max. 5 × 12 mm

R39,R40,R41,R42 = 22 Ω

R43 = 6k8 5%, 1 W, metaalfilm of metaaloxide, max. 5 × 12 mm

R44,R47 = 680 Ω 5%, 3 W, metaalfilm of metaaloxide, max. 5,5 × 16 mm

R45,R46 = 1 k 5%, 2 W, metaalfilm of metaaloxide, max. 5 × 12 mm

R50,R51,R54,R55 = 0,22 Ω 5%, 5 W, metaalfilm, radiaal, steek 9 mm, max. 5 × 14 mm, Koa BPR58CR22J

R56 = 4,7 Ω 5%, 2 W, metaalfilm of metaaloxide, max. 5 × 12 mm

R57 = 220 k

R58,R59 = 2M2

R62 = 1k2

R63 = 270 Ω

R65,R70,R71 = 10 M

R68 = 0 Ω (draadbrug)

R72 = 3M3

R73 = 100 k

R75 = 150 k

R76 = 10 Ω 5%, 2 W, metaalfilm of metaaloxide, max. 5 × 12 mm

### Condensatoren:

C1 = 4μ7 50 V 5%, steek 5 / 7,5 mm, PET, max. 7,6 × 9,7 mm

C2 = 1n5 100 V 5%, steek 5 mm, max. 2,5 × 7,2mm

C3 = 10 p ±0,5 p 100 V, steek 5 mm, C0G/NP0 (TDK FG28C0G2A100DNT00)

C4,C5 = 1 n 63 V 5%, steek 5 mm, PET, max. 2,5 × 7,2 mm

C6...C9 = 100 μ 16 V 20%, diameter 6,3 mm, bij voorkeur 105 °C

C10,C11 = 220 p 100 V 5%, steek 5 mm, C0G/NP0, max. 2,5 × 7,2 mm

C12 = 100 p 100 V 5%, steek 5 mm, PP, max. 4,5 × 7,2mm

C13,C14,C18,C19,C29 = 100 n 100 V 5%, steek 5 mm, PET, max. 2,5 × 7,2 mm

C15...C16 = 680 μ 35 V 20%, diameter 12,5 mm, steek 5 mm, 5000 h bij 105 °C (Rubycon 35ZL680MEFC12,5X20)

C17 = 100 n 160 VDC 5%, steek 5 mm, PP, max. 5 × 7,2 mm (Kemet R79GC3100Z340J)

C20...C27 = 680 μ 50 V 20%, diameter 13,5 mm, steek 5 mm, 10.000 u bij 105 °C (Rubycon 50ZLJ680M12,5X25)

C28 = 2μ2 50 V 10%, steek 5 / 7,5 mm, PET, max. 7,6 × 9,7 mm

C30,C31 = 10 μ 63 V 20%, diameter 6,3 mm, steek 2,5 mm, bij voorkeur 105 °C

C32 = 10 n 50 V 10%, steek 5 mm, X7R, max. 2,5 × 7,2 mm

C33 = 1 μ 63 V 5%, steek 5 / 7,5 mm, PET, max. 7,6 × 9,7 mm

C34 = 22 μ 35 V 20%, bipolair, diameter 8 mm, steek 2,5 / 3,5 mm

### Spoelen:

L1 = 1,5 mm koperlakdraad, ca. 60 cm, 13 windingen, ID 10 mm

### Halfgeleiders:

D1,D2 = zenerdiode 20 V 5%, 0,4 W, DO-35 (Nexperia BZX79-C20,113)

D3 = zenerdiode 33 V 5%, 1,3 W, DO-41 (Nexperia BZV85-C33,113)

D4,D5 = 1N4148, DO-35

LED1...LED4 = LED rood, 2 × 5 mm rechthoekig (Multicomp Pro MCL453MD)

LED5 = LED groen, 5 mm

T1,T2,T6,T7,T9,T10,T23,T26,T27 = BC546B, TO-92

T3...T5,T8,T11,T12,T24 = BC556B, TO-92

T13,T14 = KSA1381, TO-126

T15,T16 = KSC3503, TO-126

T17 = MJE15032, TO-220

T18 = MJE15033, TO-220

T19,T20 = NJL3281D, TO-264, 5 aansluitingen

T21,T22 = NJL1302D, TO-264, 5 aansluitingen

T25 = BS170, TO-92

IC1,IC2 = LM334Z, TO-92

IC3 = OPA177FP, DIP-8

### Overig:

K1 = 3-polige printkroonsteen, steek 0,2" (Phoenix Contact 1729131 of MKDSN 1,5/3-5,08)

K2,K5 = 2-polige printkroonsteen, steek 0,2" (Phoenix Contact 1729128 of MKDSN 1,5/2-5,08)

2× soldeerpen 1,3 mm voor ingang (Ettinger 13.14.419)

6× metalen afstandhouder, 10 mm, M3 M/F

6× metalen afstandhouder, 30 mm, M3 M/F

K8,K9 = faston-connector, printmontage, gat 3,3 mm, contact 6,35 × 0,81 mm (Amp/TE Connectivity 42822-2 of soortgelijk)

RE1 = relais 16 A/250 VAC/30 VDC (Omron G2R-1-E 48DC)

4x M3×8 kolomschroef (voor standoffs bij K3/K4 en mesklemmen bij K8/K9)

8x M3 × 12 kolomschroef, zwart (voor print-afstandhouders en T17/T18 op koellichaam, TR Fastenings M312 PRSTMCB100-)

4x M3×16 kolomschroef, zwart (voor T19/T20/T21/T22 op koellichaam, Toolcraft 839672)

18× M3-moer

8 × M3-sluitring, glad, staal

HS1,HS2 = koellichaam, 9 K/W, lengte 50,8 mm (Fischer Elektronik SK 104 50,8 ST)

Koellichaam, 0,6 K/W, 100 × 180 × 48 mm (Fischer Elektronik SK53-100-SA)

4× keramisch isolatiepad voor T19...T22, 23 × 20 × 2 mm (Silfox SL-012-AL20)

2× keramisch isolatiepad voor T17/T18, 18 × 12 × 1,5 mm (Silfox SL-019-AL15)

2× isolatiebus voor T17/T18, TO-220 (Fischer Elektronik IB 6)

1× IC-voet, DIP-8, voor IC3

print 210364-1 v1.1



## Controleer de frequentie van afgestemde kringen en kristallen

Lyle Russell Williams (USA)

Een afgestemde kring wordt gevormd door de parallelschakeling van een spoel en een condensator, en resoneert bij een bepaalde fundamentele frequentie. Een kwartskristal simuleert een afgestemde kring en heeft een zeer hoge Q. Afgestemde kringen en kristallen zijn onmisbare onderdelen van ontvangers en andere RF-apparaten. In dit artikel beschrijven we de bouw van een oscillator waarin een onbekende afgestemde kring of kristal wordt opgenomen om de oscillatiefrequentie ervan te bepalen.

Hieronder gebruiken we een oscilloscoop om de oscillatiefrequentie te bepalen. Als je oscilloscoop geen ingebouwde frequentieteller heeft, kan een goedkope stand-alone frequentieteller parallel over de oscillator worden aangesloten. Ik gebruik een tweekanaals digitale geheugenoscilloscoop van € 250 met een bandbreedte van 50 MHz. Stand-alone frequentietellers zijn veel goedkoper, sommige kits zijn al verkrijgbaar voor minder dan € 10.

### Benodigd: een geschikte oscillator

We hebben een oscillator nodig die over een groot frequentiebereik werkt en vrij is van storende artefacten. Voor dit en andere projecten heb ik een oscillator met een NAND-poort (**figuur 1**) en met een inverter (**figuur 2**) geëvalueerd. Mijn implementaties van deze oscillatoren hadden echter te lijden onder de volgende problemen: verscheidene frequentiepieken vóór de fundamentele frequentie, jitter, ruis, smal frequentiebereik, werken alleen met kristallen en oscilleren bij de verkeerde frequentie. Deze problemen maken de digitale oscillatoren met logische poorten ongeschikt voor ons doel.

### De dual-gate oscillator

Enkele jaren geleden heb ik de schakeling van **figuur 3** gebouwd. Deze schakeling blijkt voor onze doeleinden prima geschikt. Hij produ-

ceert zeer weinig ruis. Het frequentiebereik loopt van 839 kHz tot 38 MHz. Eigenlijk zijn nog hogere frequenties mogelijk, maar ik heb hem niet tot in het VHF-bereik uitgeprobeerd. Het is een eenvoudige schakeling die gemakkelijk opgebouwd kan worden (**figuur 4**). Met een potmeter kan de voorspanning voor een optimale oscillatie worden ingesteld. De print wordt via korte draden met kleine krokodillenklampen verbonden met de afgestemde kring of het te testen kristal.

Voor de dual-gate MOSFET T1 kunnen verschillende types worden gebruikt: 40673, NTE222, 3N200, 3N202, 3N211 en andere. Raadpleeg de datasheet van het door jou gebruikte exemplaar voor de aansluitingen. Een print-layout kan samen met een onderdelenlijst worden gedownload van [1].

We zullen deze schakeling vanaf hier de "dual-gate schakeling" noemen.

### De JFET-schakeling

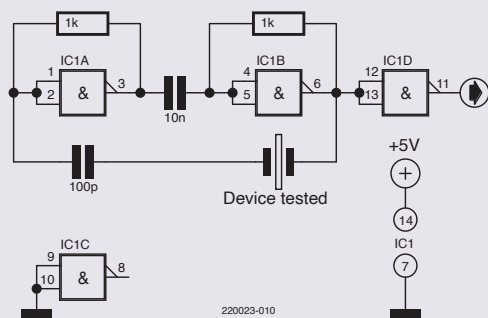
Probleem opgelost dus? Nou nee, niet helemaal. Alle bovengenoemde dual-gate MOSFET's zijn moeilijk te vinden en als ze al te vinden zijn, zijn ze duur. Daarom besloot ik een schakeling te ontwerpen zonder dual-gate MOSFET. Deze schakeling gebruikt twee JFET's in serie in plaats van de MOSFET; het schema is getekend in **figuur 5**. De spoel kan met de hand worden gewikkeld op een

ferriet-ringkern, zie [1]. Net bij de dual-gate schakeling kan de voorspanning worden ingesteld; de onbekende afgestemde kring wordt met korte draden en kleine krokodillenklampen aangesloten. De schakeling heeft dezelfde minimumfrequentie van 839 kHz, maar het uurgangssignaal bij die frequentie is veel groter. De maximum-frequentie is groter dan 38 MHz, net als bij de dual-gate schakeling. **Figuur 6** toont de opgebouwde schakeling, die we voortaan "JFET-schakeling" zullen noemen.

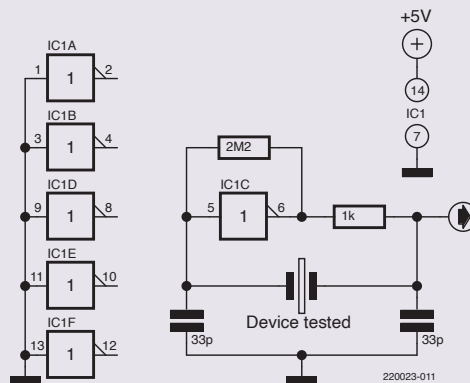
Het gebruik van deze beide schakelingen is eenvoudig. Sluit de kleine krokodillenklampen aan op de onbekende schakeling of het kristal. Sluit de probe van een oscilloscoop aan op de aansluitingen op de print. Schakel in en verdraai de potmeter tot de oscillatie maximaal is. Lees de frequentie af op de oscilloscoop.

### Hoe zit het met schakelingen met een kleine Q?

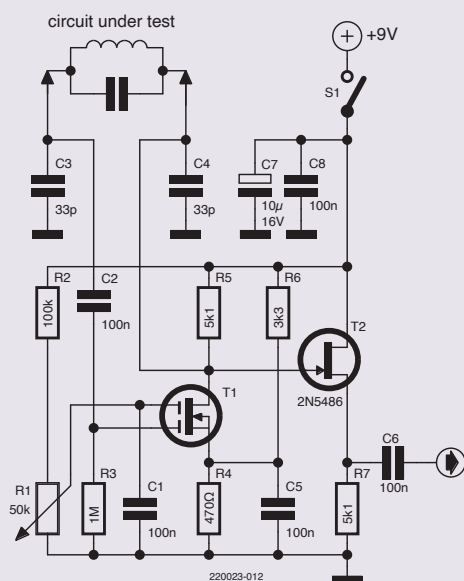
De dual-gate schakeling en de JFET-schakeling werken goed met onbekende kringen/kristallen met een redelijk hoge Q-factor. Maar wat als de Q-factor laag is? **Figuur 7** laat zien hoe onbekende kringen met een lage Q-factor (geen kristallen), zoals raamantennes, gemeten kunnen worden. Deze methode kan ook worden gebruikt om afgestemde kringen te meten met frequenties lager dan 839 kHz. De onbekende schakeling wordt op de versterker aangesloten die we verderop beschrijven. We gebruiken een RF-generator om hetingangssignaal voor de versterker te leveren. De probe van de oscilloscoop wordt op de onbekende schakeling aangesloten. De generator wordt zo ingesteld dat de amplitude van het signaal over de onbekende schakeling maximaal is. De frequentie wordt afgelezen op de oscilloscoop. Met een tweekanaals oscilloscoop kunnen zowel hetingangssignaal als



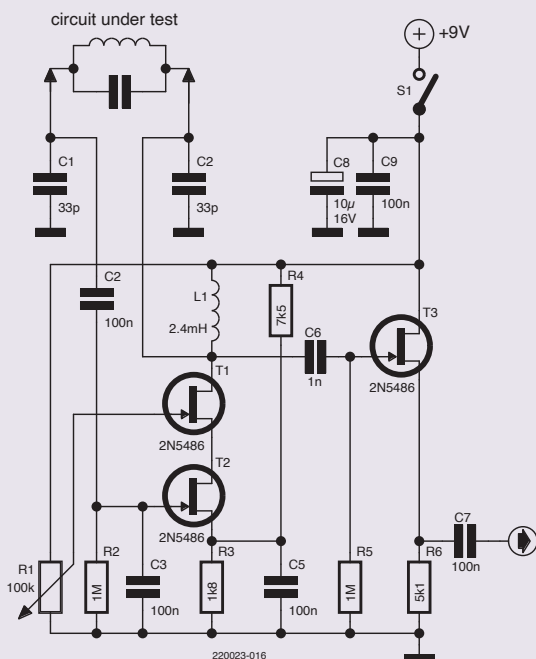
Figuur 1. NAND-gate oscillator met een 74LS00.



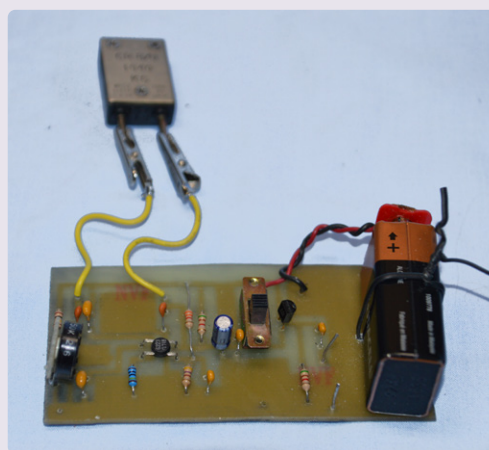
Figuur 2. Een oscillator met 74HC04-inverters.



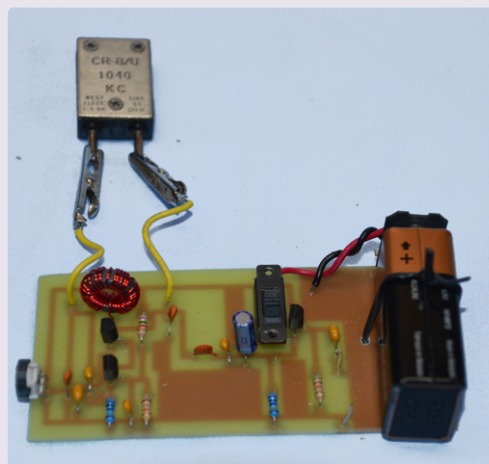
Figuur 3. Deze oscillator met een dual-gate MOSFET heeft een frequentiebereik van 839 kHz tot 38 MHz.



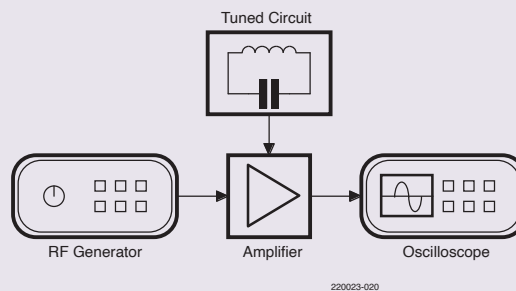
Figuur 5. Voor de JFET-oscillator zijn geen moeilijk te vinden dual-gate MOSFET's nodig.



Figuur 4. De opgebouwde dual-gate oscillator [1].



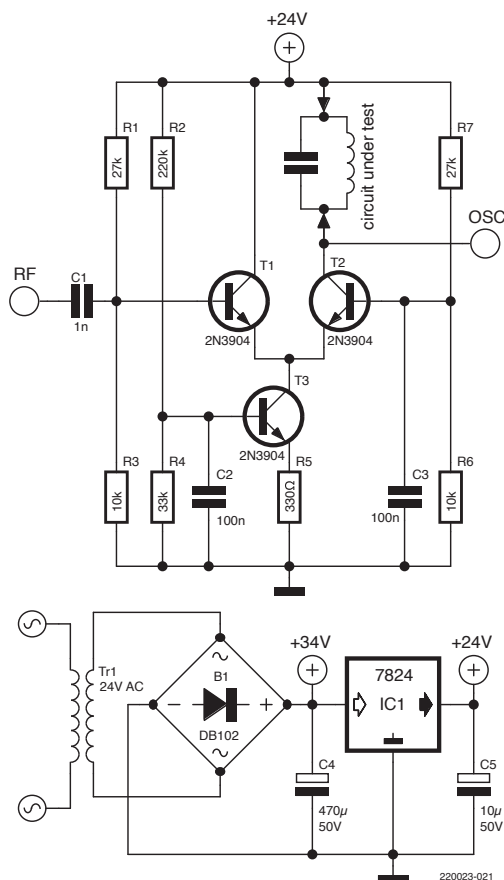
Figuur 6- De JFET-oscillator is hier aangesloten op een onbekende afgestemde kring.



Figuur 7. Zo worden kringen met een lage Q gemeten.

# Developer's zone

tips & trucs, vakkunstigheden en andere nuttige informatie



Figuur 8. De schakeling van de lage-Q versterker lijkt op een modulator.

het uitgangssignaal van de versterker worden weergegeven. Wanneer beide signalen in fase zijn, is de amplitude van de uitgang maximaal. Net als bij de eerdergenoemde schakelingen kan een stand-alone frequentieteller parallel aan de oscilloscoop-probe worden aangesloten als je 'scoop geen teller heeft. We noemen dit de "lage-Q schakeling".

## De lage-Q versterker

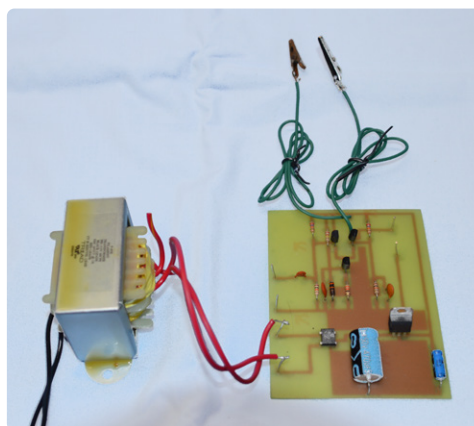
Het schema van de versterker voor de lage-Q meting is getekend in **figuur 8**. Je ziet dat deze schakeling aan een modulator doet denken. Hij is oorspronkelijk voor dat doel ontwikkeld, maar het blijkt dat hij ook goed werkt voor de hier beschreven toepassing. Alle onderdelen zijn gemakkelijk te verkrijgen. Hij wordt uit het lichtnet gevoed, zodat er zijn geen batterijen nodig zijn.

De uitgangstransistor krijgt zijn DC-voeding via de onbekende schakeling, zodat deze een vrij lage DC-weerstand moet hebben. Dit is de weerstand van de spoel in de afgestemde kring. Dit sluit kristallen uit, aangezien die

geen gelijkstroom doorlaten. Aansluiting van een kristal op deze versterker zal het kristal waarschijnlijk beschadigen.

Net als bij de dual-gate en de JFET-schakeling worden geïsoleerde draden met kleine krokodillenklampen gebruikt voor de aansluiting van de te meten schakeling. Ik heb gemerkt dat het handig is de aansluitdraden ongeveer een meter lang te maken (**figuur 9**).

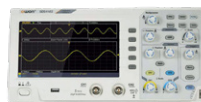
**Figuur 10** toont de opstelling om de frequentie te meten van de raamantenne voor een antieke radio. De lusantenne bestaat uit twee draadwindingen die aan de achterkant van de houten kast zijn vastgeniet. Met een parallel geschakelde condensator kan de antenne worden afgestemd op resonantie bij



Figuur 9. De meetsnoeren van de lage-Q versterker zijn ongeveer een meter lang.



Figuur 10. Hier wordt de lage-Q versterker gebruikt om de resonantiefrequentie te meten van een raamantenne voor een antieke radio.



## GERELATEERDE PRODUCTEN

- > OWON SDS1102 2-ch Oscilloscope (100 MHz) (SKU 18782)  
[www.elektor.nl/18782](http://www.elektor.nl/18782)
- > Joy-IT LCR-T7 Multi-function Component Tester (SKU 19709)  
[www.elektor.nl/19709](http://www.elektor.nl/19709)

een frequentie binnen de AM-omroepband. Ik heb de lus afgestemd op de frequentie van een low-power zender die passende ('vintage') muziek uitzendt. De print-layouts en onderdelenlijsten voor de dual-gate en JFET-schakelingen en de lage-Q versterker kunnen worden gedownload van [1].

220023-03

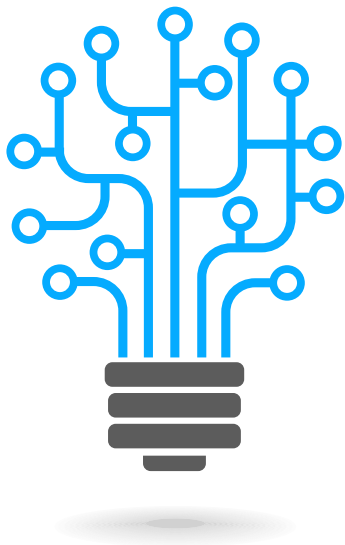
## Vragen of opmerkingen?

Hebt u technische vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar de auteur via [lyle0009@gmail.com](mailto:lyle0009@gmail.com) of naar de redactie van Elektor via [redactie@elektor.com](mailto:redactie@elektor.com).

## WEBLINK

[1] Downloads voor dit artikel: [www.elektormagazine.nl/220023-03](http://www.elektormagazine.nl/220023-03)





# Printen ontwerpen tips en trucs

**Burkhard Kainka (Duitsland)**

Je zou kunnen zeggen dat een elektronica-project pas echt af is als het een eigen print krijgt. Pas dan kun je het concept volledig testen en aan eventuele massaproductie denken. Maar de weg naar de productie van een eigen print is vaak lang en kronkelig en niet zonder valkuilen.

Afhankelijk van je perspectief, werkstijl en opgedane ervaring, zou je kunnen denken dat een print op maat voor een project direct aan het begin van het ontwikkelingsproces moet worden besteld. Je krijgt een idee, tekent een schema, tekent de print, bestelt hem (of etst hem zelf) en monteert dan de componenten. Maar vaak blijkt dat je, ook al is de print op zich perfect, een probleem op een heel ander niveau over het hoofd hebt gezien. Dan moet je een andere print ontwerpen en bestellen, gevolgd door een derde of zelfs een vierde. Elke iteratie neemt een hap uit het projectbudget en brengt de deadline dichterbij. Om dit te vermijden, wacht ik meestal zo lang mogelijk met de eerste echte print.

## **Maak eerst een prototyp!**

De schakeling zelf moet op de een of andere manier worden gecontroleerd en getest. Je eerste testopstelling ziet er misschien 'wild' uit, maar hij verschaft wel essentiële inzichten in de vraag of alles werkt zoals het zou moeten. Een opstelling op standaard breadboard is vaak voldoende. Als alternatief zou je stripboard kunnen gebruiken, en af en toe geef ik soms de voorkeur aan een 'zwevende' constructie op een blinken deksel (**figuur 1**). Dit vormt een fatsoenlijk aardvlak, en de

gesoldeerde verbindingen betekenen dat je geen last hebt van sporadische storingen door versleten insteekcontacten. De waarden van de componenten kunnen gemakkelijk worden veranderd tot alles optimaal werkt. Als de schakeling instabiel blijkt te zijn, kun je uitzoeken waar je de voeding het beste kunt ontkoppelen, of kleine condensatoren naar massa langs de signaalweg kunt monteren. Wanneer je project een microcontroller heeft, begin je gewoonlijk met een kant-en-klaar ontwikkelboard. In dat geval kun je externe componenten aansluiten om de algemene werking voorlopig te testen en de firmware te ontwikkelen. Vaak blijkt a snel of je voorzorgsmaatregelen moet nemen tegen de storingsgevoeligheid. EMC-problemen openbaren zich via stoorsignalen die je op een radio kunt horen. Misschien heb je al gemerkt dat de schakeling zich misdraagt als er storingsbronnen in de buurt zijn. Dit betekent dat bij de layout van de print speciale aandacht moet worden besteed aan de storingsimmunititeit. In veel gevallen monteer ik de componenten op gaatjesprint om een beter idee te krijgen van de uiteindelijke afmetingen van de print en een mogelijke plaatsing van de componenten en eventuele bedieningselementen, alsmede aansluitingen voor voeding en signalen.

Hieruit kan zich een handig prototype ontwikkelen (**figuur 2**). Een klant kan het zelfs gebruiken om de eerste tests uit te voeren en wijzigingen voor te stellen die dan eenvoudig kunnen worden getest. Als de schakeling eenmaal klaar is, kan de aandacht op de print worden gericht. Tot nu toe werden waarschijnlijk through-hole componenten gebruikt om de schakeling te bouwen, maar op de uiteindelijke print zullen waarschijnlijk SMD's komen. De gaatjesprint-layout is waarschijnlijk niet EMC-optimaal omdat er geen massavlak is, maar we weten in elk geval wat er nog verbeterd moet worden.

## **Componenten en het bedradingsschema**

Je hebt waarschijnlijk al enkele schema's geschetst. Maar bij alle PCB-ontwerptools moet eerst het volledige schema worden ingevoerd. Elke component moet zeer precies gespecificeerd worden. "10kΩ-weerstand" is niet voldoende, je moet de behuizing specificeren, bijvoorbeeld een SMD-weerstand van formaat 0805. Het kiezen van de juiste componenten is vaak zeer tijdrovend omdat er zoveel gelijksoortige componenten zijn. Dit geldt vooral voor connectoren, schakelaars, potentiometers en dergelijke.

Ook moet worden nagegaan of de gekozen component werkelijk leverbaar is en of de footprint ervan op de print correct is. Het is ongelooflijk frustrerend om te moeten vaststellen dat je mooie, maagdelijke printplaat de verkeerde uitsparingen heeft en dat de USB-connector niet op de print past. Wees uiterst voorzichtig bij het kiezen van de componenten.

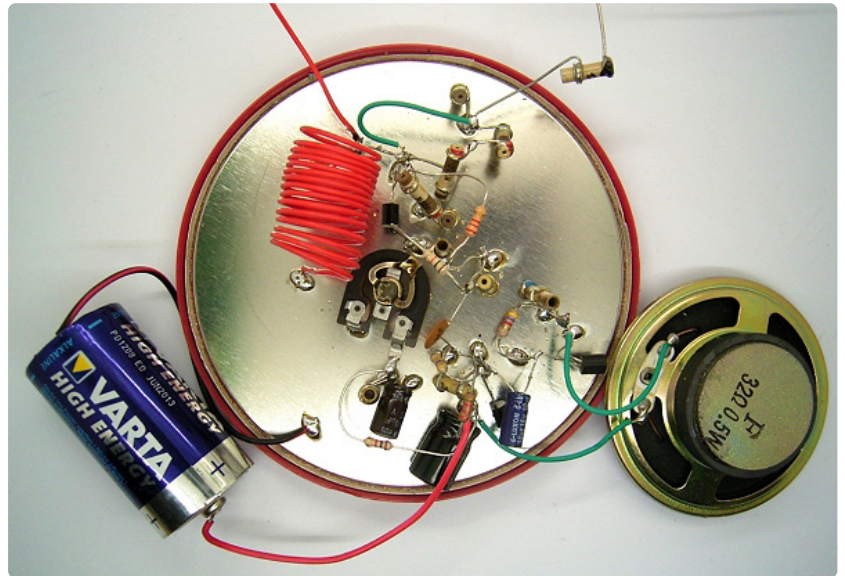
Eén ding heb ik gemerkt bij het werken met SMD-weerstanden en -condensatoren: ze zien er op het scherm zo groot en hanteerbaar uit, dat het gemakkelijk is de werkelijke grootte verkeerd in te schatten. Dit kan een probleem zijn als je van plan bent om de print met de hand te bestukken. De kleinste componenten zijn problematisch, althans wanneer je ze met de hand soldeert. Je zou een paar voorbeelden van de onderdelen op je bureau moeten hebben om een snelle realiteitscheck uit te voeren. Persoonlijk vind ik het 0805-formaat het makkelijkst te solderen. Ik herinner me een project met componenten in 0402-formaat om ruimte te besparen. Het bleek extreem moeilijk om de componenten te solderen en een prototype te bouwen, maar dit probleem kan natuurlijk worden vermeden als de print compleet geassembleerd wordt geleverd.

Als alle componenten gekozen zijn, kan het schema getekend worden met alle aansluitingen. Overigens, als er later bij het tekenen van de print een fout optreedt, moet je altijd eerst teruggaan naar het schema en daar de wijzigingen aanbrengen. De layout-software zorgt er altijd voor dat de layout van de printsporen spoort met het schema.

## De print-layout

Dan nu de printplaat. Eerst moet je nagaan in welke behuizing de print moet passen, om te bepalen wat de afmetingen zijn en of een dubbelzijdige print nodig is. Je kunt nu kenmerken definiëren zoals afgeronde hoeken en speciale contouren. Je kunt deze later nog wijzigen, maar het is gemakkelijker als je de afmetingen vanaf het begin goed hebt.

Dubbelzijdige printen zijn meestal standaard. Een enkelzijdige print heeft nauwelijks kostenvoordelen, maar het kan het proces wel vereenvoudigen als je van plan bent hem zelf te etsen. In de meeste gevallen bestel ik in het eerste stadium gewoon vijf of tien exemplaren bij een PCB-service om mezelf de moeite te besparen. Sommige leveranciers bieden



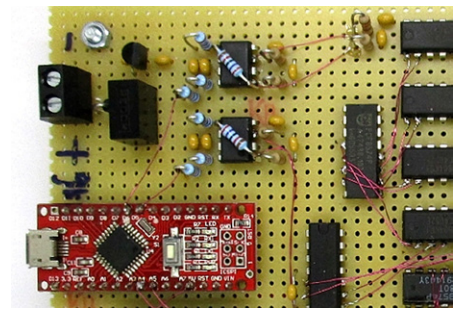
Figuur 1. Testopstelling op een blinkende deksel.

ook aan om prototypes te assembleren. Zorg er in dat geval voor dat je van tevoren weet welke componenten gebruikt moeten worden en houd daar rekening mee bij het tekenen van het schema.

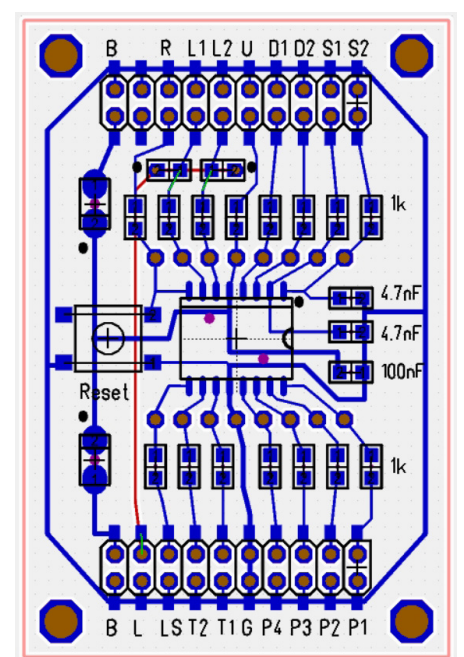
Zodra de omtrek gedefinieerd is, kun je alle componenten uit het schema importeren; zet ze eerst op het scherm naast de print. Daarna kun je ze een voor een op de print schuiven en de juiste positie zoeken die de kortste en meest directe printsporen oplevert. Hier is het een voordeel als je alles van tevoren al op een breadboard hebt gebouwd. Je hebt dan al een idee hoe je de componenten moet plaatsen met een minimum aantal kruisende sporen zodat via's naar de andere kant van de print vermeden worden.

Wanneer alle componenten zijn geplaatst, kun je de autorouter starten. De software probeert dan alle componenten aan te sluiten conform het schema. Het kan dan echter gemakkelijk gebeuren dat de routing van de aansluitingen in andere opzichten suboptimaal is. Er kunnen te lange en kronkelige aardverbindingen zijn, of de 'kortste' weg tussen VCC en GND via een bypass-condensator wordt te lang en vormt in de praktijk een lus-antenne. EMC-problemen zijn dan onvermijdelijk.

Je moet in ieder geval zelf eerst de massaan voedingsbanen leggen en pas daarna de autorouter starten. Ik ga nog een stap verder en geef er de voorkeur aan alle verbindingen met de hand te maken. Vooral zeer eenvoudige schakelingen hebben meestal een duidelijke structuur (figuur 3) en hebben een eenvoudige layout.

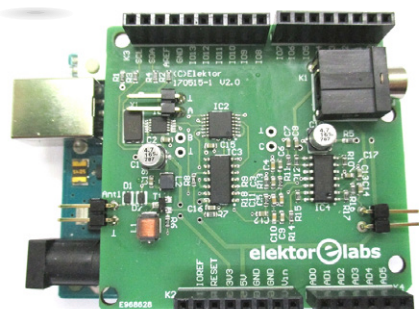
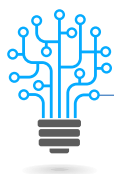


Figuur 2. Testopstelling op gaatjesprint.

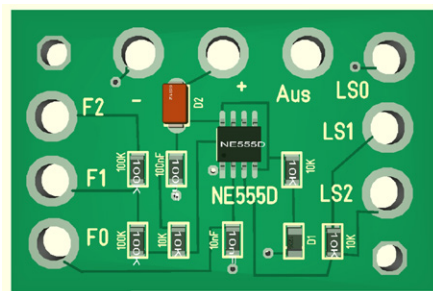


Figuur 3. Een masaspoor langs de omtrek van de print.

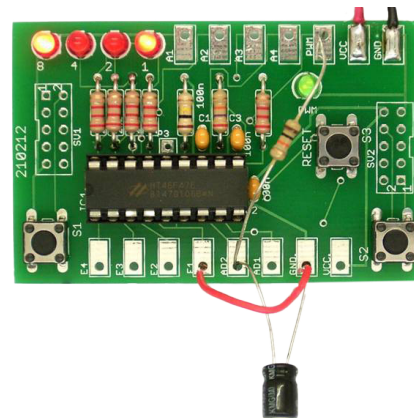




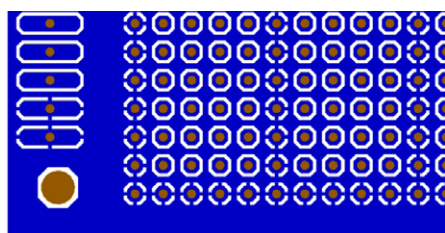
Figuur 4. Het SDR-shield.



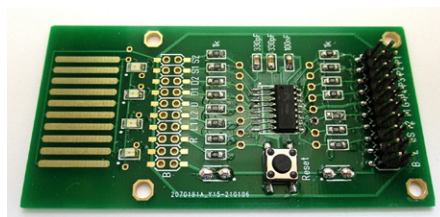
Figuur 5. Vier-millimeter-testpunten.



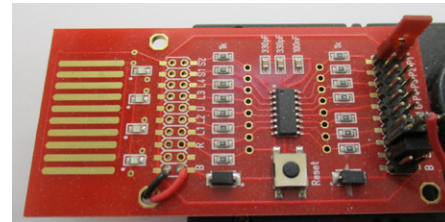
Figuur 6. Experimentele aansluitpunten.



Figuur 7. Matrix-prototype-print met massavlak.



Figuur 8. Jesses! Verkeerde behuizing...



Figuur 9. ... is gecorrigeerd.

## Massavlakken

Doorlopende massavlakken zijn een grote hulp. Hiervoor kun je aan de onderzijde van de printplaat een doorlopend kopervlak maken dat met GND (massa) is verbonden. Alle signaalvoerende sporen blijven zoveel mogelijk aan de bovenzijde. Waar het onvermijdelijk is dat twee sporen elkaar kruisen, eindigt het ene spoor in een eilandje met een doorgemetalliseerd gat (via) dat het signaal naar de andere kant voert naar een kort spoor dat dan op een ander punt weer naar boven gaat. Het is zinvol een layout-systeem te volgen waarbij bijvoorbeeld alle voedingsbanen horizontaal lopen en de signaalvoerende sporen zoveel mogelijk verticaal. Elke onderbreking in het aardvlak moet zo kort mogelijk zijn om spanningsverliezen te minimaliseren. Uiteindelijk helpt een ononderbroken koper-vlak om overal de kortst mogelijke verbinding naar massa te bereiken; een through-hole verbinding is alles wat je nodig hebt als een aansluiting aan massa moet liggen. Massavlakken kunnen wonderen verrichten, zoals is gebleken bij het Elektor SDR-shield (figuur 4). Dit is een gevoelige kortegolfontvanger, dus het is belangrijk om elke storing te vermijden die de prestaties in gevaar zou kunnen brengen. Het shield wordt rechtstreeks op een Arduino Uno aangesloten. Aanvankelijk was ik bang dat montage zo dicht bij een microcontroller problemen zou geven, maar het is allemaal goed gekomen, met een

probleemloze ontvangst. Een massavlak aan de onderzijde fungeert als afscherming voor signalen van onderaf, en stoorvelden van bovenaf hebben minder effect, omdat de meeste veldlijnen direct bij massa eindigen en maar heel weinig op de dunne signaalvoerende sporen.

## Connectoren

De meeste printen hebben een verbinding met de buitenwereld nodig. Vaak worden pinheaders of busstrips gebruikt langs de rand van de print, zoals bij de Arduino, of andere gestandaardiseerde plug-in systemen. Wanneer het gaat om experimentele projecten of printen voor onderwijsdoeleinden, zijn grotere aansluitpunten vaak handiger. Ronde doorgemetalliseerde gaten van 4 mm zijn geschikt voor zowel banaanstekkers als krokodillenklemmen (figuur 5).

Ik geef de voorkeur aan dubbelzijdige, rechtehoekige aansluitpunten met doorgemetalliseerde gaten met een tussenafstand van 5,08 mm. Deze aansluitpunten brengen geen extra kosten met zich mee en kunnen zeer flexibel worden gebruikt; je kunt er draden aan solderen, krokodillenklemmen gebruiken of een printkroonsteen monteren. Voor zeer eenvoudige experimenten kunnen componenten zelfs gewoon rechtstreeks in de contactgaten worden gestoken (figuur 6). Er zijn ook printplaten die alleen uit aansluitpunten bestaan. Dan heb je geen schema

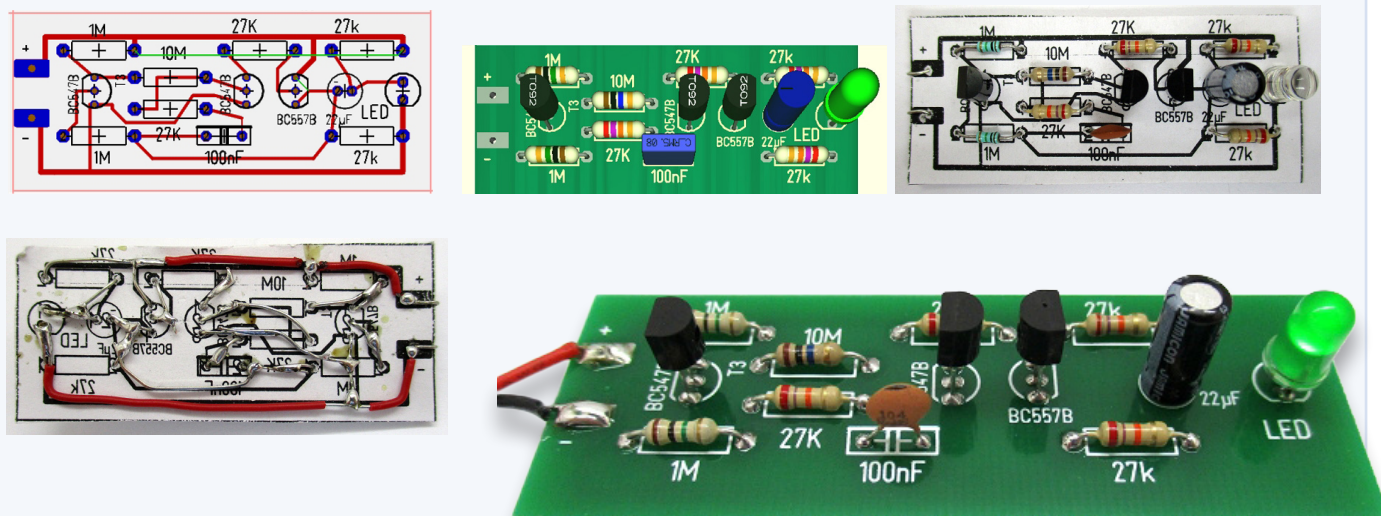
nodig en kun je meteen aan de slag met de print. Voor een breadboard dan voor HF geschikt is, heb ik aan beide zijden een doorlopend massavlak gemaakt. De meeste contactpunten liggen op geïsoleerde eilandjes. Maar de eilandjes langs de rand alsmede enkele doorlopende rijen zijn met massa verbonden (figuur 7). Op deze manier is de massa overal gemakkelijk bereikbaar via een korte verbinding en heb je een relatief goed massavlak als afscherming.

## Controleren van de layout

Software die gebruikt wordt om printen te ontwerpen, voert automatisch tests uit om ontbrekende verbindingen, kortsluitingen en te dicht naast elkaar liggende sporen te vinden. Er zijn echter nog andere fouten op een heel ander niveau en die je alleen zelf zult kunnen achterhalen. Het is de bedoeling dat de eerste print die je bestelt foutloos is, maar zoals je weet geldt ook hier de Wet van Murphy. Terugkijkend schat ik dat elke tweede printplaat die ik heb ontvangen minstens één fout heeft gehad. Last minute-wijzigingen zijn hier vaak de boosdoener omdat ze een nieuwe onvoorziene bug kunnen introduceren. En er kunnen ook fouten bij de start van het project zijn gemaakt die op de een of andere manier onopgemerkt zijn gebleven.

Om een print te bestellen, moet je de informatie omzetten in Gerber-bestanden. De software maakt individuele bestanden aan





Figuur 10. Ontwerp, testopstelling en afgewerkte print.

voor de verschillende lagen van de print en voor de boorgaten. Op het web zijn verschillende Gerber-viewers te vinden, waarmee je het resultaat kunt bekijken. Je kunt dan tussen lagen schakelen en het ontwerp op een andere manier bekijken. Dit is een andere belangrijke fase in het verificatieproces dat heeft al menig gemiste bug aan het licht heeft gebracht; zelfs in dit stadium bestaat er nog enige onzekerheid of alles uiteindelijk goed zal werken.

Een andere tip die kan helpen om fouten op te sporen is de layout uit te printen en de componenten op hun omtrek te leggen. Bij een project waar ik mee bezig was dacht ik dat ik dat wel kon overslaan omdat de print zo mooi simpel en duidelijk gestructureerd was. Met de net uitgekakte printplaat op de werkbank en de soldeerbout op temperatuur, merkte ik: verkeerde SO-omtrek van de behuizing van de microcontroller! Deze component is verkrijgbaar in een smalle of brede uitvoering. In dit geval heb ik de print toch maar in elkaar gezet door alle pinnen van de controller aan één kant te verlengen met stukjes draadjes (figuur 8). Frustrerend natuurlijk; maar meestal kan ik als troost andere aanpassingen vinden die de layout ten goede komen (in dit geval betere labels), zodat een nieuwe PCB-iteratie niet helemaal voor niets is (figuur 9).

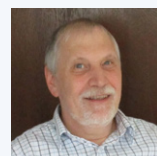
Bij zeer eenvoudige printen met through-hole componenten, bijvoorbeeld voor onderwijsdoeleinden, kunnen we nog een stap verder gaan en op voorhand een versie van de print-

plaat maken: plak een papieren kopie van de print op een stuk karton en prik gaatjes voor de aansluitingen van de componenten. De componenten kunnen dan door het karton worden gestoken en aan de onderkant worden gesoldeerd. In plaats van de printbanen worden dan korte stukjes draad gebruikt. Dit geeft je een goede kans om eventuele fouten te ontdekken. Bovendien heb je dan een bruikbaar prototype om te testen voordat je de uiteindelijke print-layout vastlegt (figuur 10). Veel van deze strategieën voor het ontwerpen van eenvoudige printplaten werken heel goed bij kleine, beheersbare, experimentele projecten, maar natuurlijk niet zo goed bij grotere ontwerpen. Het hoofd van een grote onderneming kan wel eens onbegrip hebben en minachtend doen over kartonnen layouts, omdat hij ze amateuristisch en tijdverspilling vindt en de mening is toegedaan dat elke competente professionele ingenieur het in één keer goed kan doen. In principe is dat waar, maar geloof me – vergissingen en fouten zijn onvermijdelijk en er zijn vaak meerdere ontwerpen nodig, waardoor de kosten oplopen en de termijnen van het project in gevaar komen. Ik kan alleen maar zeggen dat de hier beschreven techniek voor mij goed heeft gewerkt; de nadruk moet liggen op het vooraf uitproberen en testen, zodat er minder verschillende versies van de print hoeven te worden besteld. ◀

220226-03 (vertaling: Jelle Aarnoudse)

### Vragen of opmerkingen?

Hebt u technische vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar de auteur via [b.kainka@t-online.de](mailto:b.kainka@t-online.de) of naar de redactie van Elektor via [redactie@elektor.com](mailto:redactie@elektor.com).



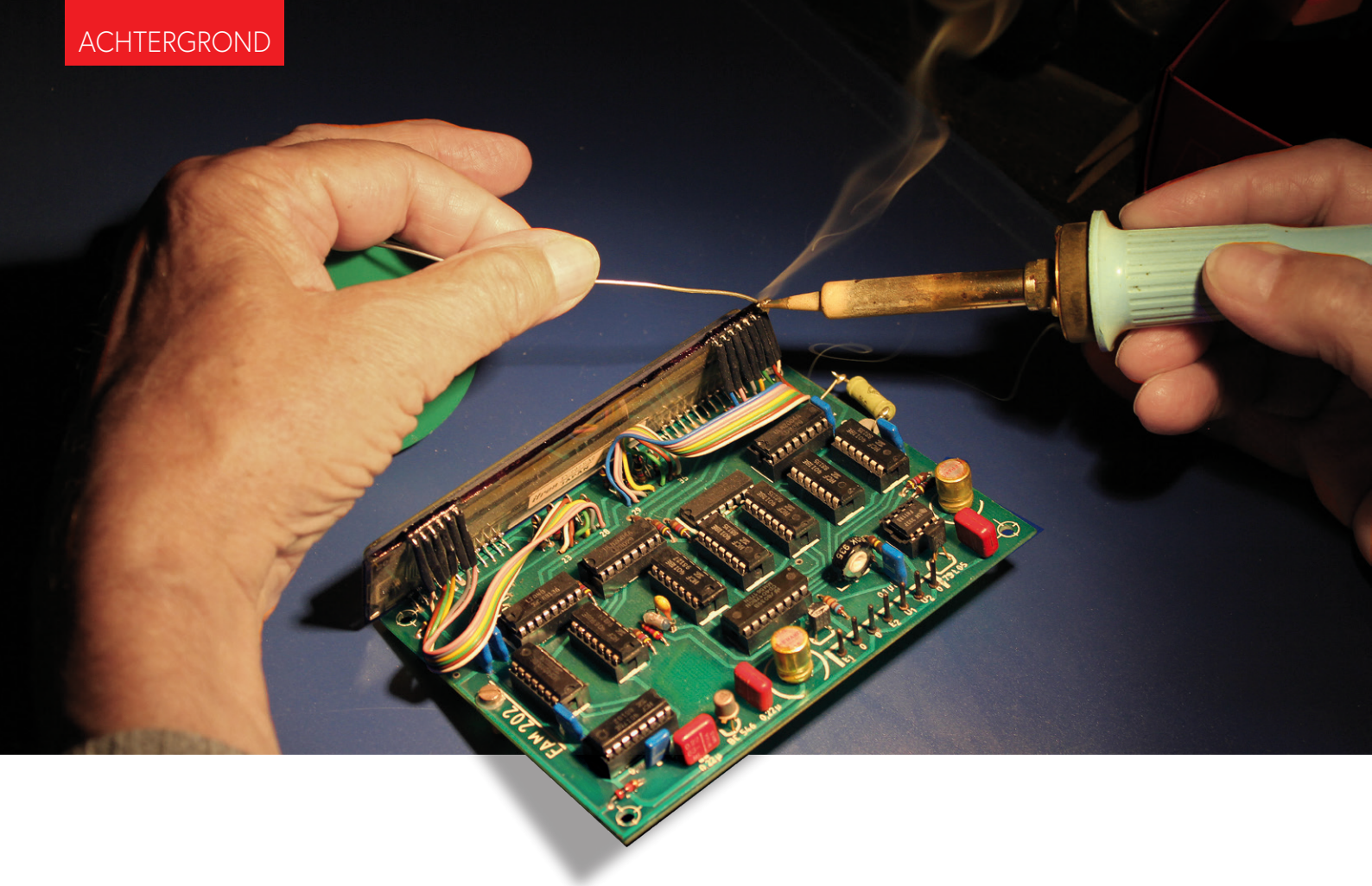
### Over de auteur

Burkhard Kainka werkte vele jaren als leraar natuurkunde voordat hij in 1996 voor een zelfstandig bestaan koos als ontwikkelaar en auteur op het gebied van elektronica en microcontrollers. Hij beheert de websites [www.elektronik-labor.de](http://www.elektronik-labor.de) en [www.b-kainka.de](http://www.b-kainka.de) waar je vele interessante kleine en grote projecten kunt vinden, samen met informatie over de basisbeginselen van de elektronica. Burkhard is een fervent radioamateur met als call sign DK7JD.



### Gerelateerde producten

- Elektor SDR Shield 2.0, kale print (SKU 18560)  
[www.elektor.nl/18560](http://www.elektor.nl/18560)



# Solderen – *nou en?*

moderne soldeertechnologie nader bekeken

Peter Beil (Duitsland)

De meeste mensen beseffen niet dat het solderen van elektronische onderdelen een uiterst complexe aangelegenheid is met ingewikkelde thermische en chemische processen die zich in een zeer klein volume afspelen. Als je je echter aan enkele basisregels houdt, zul je niet in de problemen komen.

Soldeerverbindingen moeten meer doen dan alleen goed elektrisch contact maken – ze moeten ook mechanisch sterk zijn en mogen niet oxideren. Bovendien moeten ze vrij zijn van chemisch residu, zoals vloeimiddel, aangezien vloeimiddel zowel metalen oppervlakken als kunststoffen in de directe omgeving kan aantasten. Soldeer wordt over het algemeen onderverdeeld in drie categorieën: consumenten, industrie en high-end. Die laatste wordt gebruikt in bijvoorbeeld de automobiellindustrie of in omgevingen waar het leven of de gezondheid op het spel staat. Als makers zijn wij

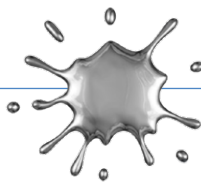
vooral geïnteresseerd in handmatig solderen voor DHZ bouwen en ontwikkelen.

## Het goede oude loodsoldeer

Loodsoldeer was gedurende vele jaren de standaard. Het heeft goede bevochtigings- en vloeieigenschappen en een relatief laag smeltpunt van ongeveer 183 °C. Volgens de vuistregel dat de werkt temperatuur aan de punt van de soldeerstift is gelijk aan het smeltpunt van de legering plus 120 °C, betekent dat soldeertemperatuur van ongeveer 300 °C.

Het vloeimiddel in de soldeerdraad is bedoeld om oxiden op de soldeerverbinding op te lossen. Het tin in het soldeer versmelt met het koper (of een andere metaallaag), zodat een intermetallische diffusiezone ontstaat die bestaat uit een legering van de twee metalen. Dit resulteert normaliter in een goed gevormde soldeerverbinding, duurzaam en met een goede mechanische sterkte. Helaas is dit niet altijd het geval – soms krijg je een koude soldeerverbinding (**figuur 1**). Koude soldeerverbindingen worden veroorzaakt door sterk geoxideerde metaallagen, vuil, een verkeerde temperatuur of een te vroege stolling tijdens het smeltproces. Koude soldeerverbindingen hebben een te hoge verbindingsweerstand en





kunnen zelfs leiden tot het losraken van componenten. De elektronenmicroscopiefoto's in **figuur 2** tonen de defecten bij een koude soldeerverbinding in vergelijking met een goede soldeerverbinding. In de dagen van het loodsoldeer waren koude soldeerverbindingen duidelijk herkenbaar aan hun doffe matte oppervlak, in tegenstelling tot het glanzende oppervlak van een goede soldeerverbinding. Helaas is dit niet langer het geval met loodvrije soldeerverbindingen. Met de nieuwe legeringen hebben soldeerverbindingen meestal een mat oppervlak, afhankelijk van de specifieke samenstelling, of ze nu koud of goed zijn (zie **figuur 3**).

### Loodvrij in het nieuwe millennium

De invoering van loodvrij soldeer in 2006 heeft het met de hand solderen een beetje moeilijker gemaakt. Het nieuwe soldeer is RoHS-conform, wat betekent dat het voldoet aan de EU-richtlijn die de beperking van het gebruik van bepaalde gevaarlijke stoffen betreft [1].

Loodvrij soldeer mag niet meer dan 0,1% lood bevatten. Dit is vooral bedoeld om het inademen van giftige dampen te voorkomen, maar het risico daarop was eigenlijk vrij klein omdat er geschikte afzuigsystemen beschikbaar waren (ervan uitgaande dat die werden gebruikt).

Lange tijd was men zich niet bewust van de gevaren van het werken met lood. Vroeger zou een professionele letterzetter bijvoorbeeld binnen enkele jaren al zijn tanden verliezen door het lood.

### Soldeerstiften zijn nu heter

Wie voor het eerst met loodvrij soldeer werkt, merkt meteen dat het nieuwe soldeer een beduidend hogere temperatuur nodig heeft en andere vloeieigenschappen heeft. Veel componenten houden niet van zulke hoge temperaturen, dus zijn er pogingen ondernomen om die tegen te gaan met behulp van innovatieve vloeimiddelen en kortere soldeertijden. Dit alles maakt loodvrij soldeerdraad duurder (zie verderop).

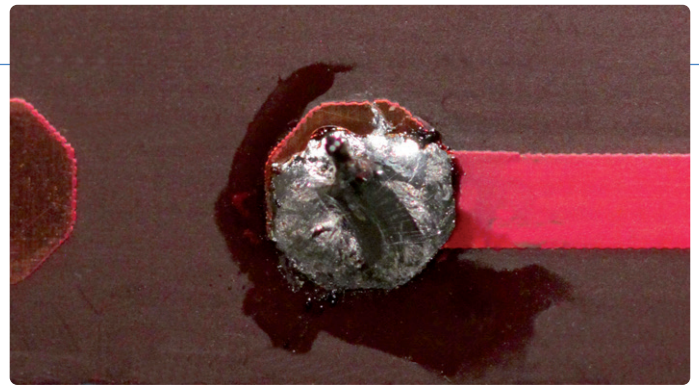
Dit betekent ook dat je op je hoede moet zijn voor vooral goedkoop loodvrij soldeerdraad, dat vaak niet is wat het beweert te zijn. Als je met een te hoge temperatuur werkt, kun je gemakkelijk een gevoelig onderdeel beschadigen of, wat erger is, een soldeerpad van de printplaat losmaken voordat je er erg in hebt.

Elektronica-hobbyisten en makers mogen nog steeds loodsoldeer gebruiken, zolang zij hun producten niet op commerciële basis distribueren. Dit betekent dat het verkopen van relatief grote aantallen van dingen die je in je thuislab maakt niet is toegestaan.

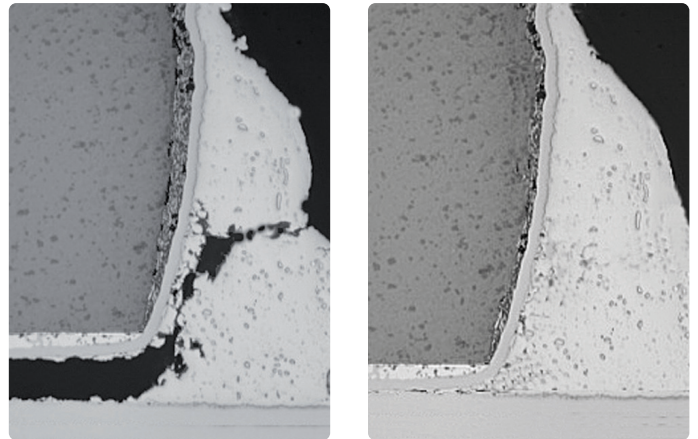
**Figuur 4** laat zien dat 'makers' naast RoHS-conform soldeer ook nog steeds loodsoldeer gebruiken.

### Wat zit er in soldeer?

De meeste loodvrije legeringen die nu algemeen worden gebruikt, hebben een aanzienlijk hoger tingehalte. Vroeger was dat ongeveer 63%, maar nu is dat ongeveer 95%, afhankelijk van de fabrikant. Hierdoor stijgt het smeltpunt van de legering tot 217 ... 227 °C. Vroeger was het tin in het soldeer de component die de intermetallische zone vormde en kon versmelten met de soldeerbare metaaloppervlakken.



Figuur 1. Slecht nieuws: een koude soldeerlas.



Figuur 2. Elektronenmicroscop-foto's van een koude soldeerlas (links) en een goede soldeerlas (rechts) met goed contact (bron: Infineon).

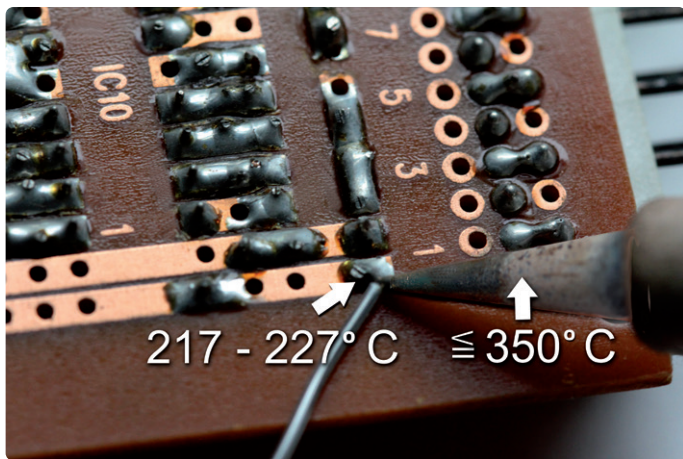


Figuur 3. Ziet er anders uit: een loodvrije soldeerverbinding (links) en een conventionele loodsoldeerverbinding (rechts).



Figuur 4. Loodhoudend en loodvrij soldeerdraad.





Figuur 5. *Some like it hot: temperatuur van de soldeerbout bij loodvrij solderen.*

Lood was altijd het inactieve bestanddeel van de legering, met het voordeel dat het de soldeerdraad goedkoper maakte en het smeltpunt van de tin verlaagde van 232 °C tot 183 °C. Met meer tin in het huidige soldeer, samen met een hogere soldeertemperatuur, moet je een beetje meer aandacht besteden aan je gereedschap en aan het metalliseren van componenten. Het soldeertin versmelt niet alleen sneller met koperoppervlakken, maar verwijdert ook sneller koper van het oppervlak.

### Waarom is loodvrij duurder?

Met standaard loodvrije legeringen kan de eerder genoemde smelttemperatuur van 217 °C, een van de laagst mogelijke smelttemperaturen, in de gebruikelijke samenstelling alleen worden bereikt met een legering bestaande uit 95,5% tin, 0,7% koper en ongeveer 3,8% zilver. Deze legering heeft het voordeel van een relatief laag smeltpunt, maar het nadeel is dat het zilveragehalte van iets minder dan 4% de soldeerdraad gemakkelijk twee keer zo duur kan maken. Deze zilverhoudende legering kan in principe economischer worden gefabriceerd door het zilveragehalte te verlagen tot 3%. De legering zal dan een smelttemperatuur hebben van 217...223 °C, wat niet werkelijk merkbaar is bij het solderen of bij de verwachte levensduur van de soldeerverbinding.

Goedkopere legeringen bestaan bijvoorbeeld uit 99,3% tin en 0,7% koper, wat een gedefinieerd smeltpunt oplevert van 227 °C. Hiervoor is het niet per se noodzakelijk de temperatuur van de soldeerstift met 10 °C te verhogen, vergeleken met een zilverhoudende legering (figuur 5).

### Temperatuurgrenzen moeten in acht worden genomen

In theorie zou de temperatuur van de soldeerbout op 350 °C moeten worden ingesteld voor het laatstgenoemde loodvrije soldeer. Als je 10...20 °C meer nodig hebt om in korte tijd een bepaalde hoeveelheid warmte toe te voeren, is dat zeker mogelijk, maar temperaturen boven 380 °C beschadigen de print en de componenten meestal



Figuur 6. *Verskillende soldeerstiften.*

meer dan dat ze helpen bij het solderen. De flux in de kern van de soldeerdraad verbrandt ook aanzienlijk sneller en kan maar een bepaalde tijd bij een bepaalde temperatuur zijn werk doen. Elke 10 °C temperatuurverhoging halveert de levensduur van het vloeimiddel; de tijd die beschikbaar is om de oxiden te verwijderen wordt korter, en op een gegeven moment is die tijd domweg te kort. Bovengenoemde legeringen verschillen uiteraard van fabrikant tot fabrikant, en ze kunnen zeker nog andere componenten bevatten. Om octrooiredenen maken de fabrikanten de samenstelling gewoonlijk niet bekend.

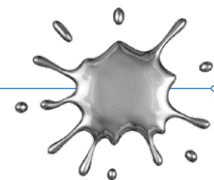
Bij zachtsolderen moet altijd de vereiste hoeveelheid energie worden toegevoerd en een bepaalde minimumtemperatuur worden bereikt. Het soldeer moet vloeibaar zijn en een bepaalde temperatuur boven het smeltpunt hebben. Dit maakt de samensmelting van de metaallagen tot een sterke soldeerverbinding mogelijk. Alle eerder genoemde loodvrije legeringen zijn voldoende duurzaam. Heel ruwweg gezegd zijn zilverhoudende soldeerverbindingen beter geschikt voor toepassingen met sterkere temperatuurschommelingen, die vaak gepaard gaan met continue mechanische belasting of trillingen. Dit geldt in het bijzonder voor de eerdergenoemde high-tech toepassingen in auto-elektronica of medische apparatuur.

### Het soldeer moet goed vloeien

Soldeerdraad bestaat niet alleen uit een legering, maar ook uit het eerder genoemde vloeimiddel. In de begintijd bestond er nog geen soldeerdraad met een fluxkern, zodat men zich moest behelpen met soldeerpasta's of zelfs met zelfgemaakte flux. Een veelgebruikt recept bestond uit trichloorethyleen vermengd met hars, dat de naam 'soldeerhoning' kreeg.

De taak van een vloeimiddel is de oxiden te verwijderen van de te solderen onderdelen: het onderdeel, de print en, uiteraard, het vloeibare soldeer. Dit moet zo lang mogelijk duren, om een zo lang mogelijk soldeer-'tijdvenster' te verkrijgen.

Er wordt een onderscheid gemaakt tussen halogeenhoudende en niet-halogeenhoudende flux. Beide types verwijderen oxiden



door middel van een zuur/metaaloxide-reactie. Bij loodvrij soldeer moet deze reactie bij hogere temperaturen verlopen, en bij hogere soldeertemperaturen langer aanhouden. Het vloeimiddel moet in staat zijn om in voldoende hoeveelheid voor het soldeer uit te vloeien, de oxiden te verwijderen, de ontstane zouten weg te voeren van het soldeer en voor het vloeibare soldeer een mooi schoon en zuiver metalen oppervlak achter te laten. Anderzijds mag er niet te veel vloeimiddel aanwezig zijn, zodat achteraf niet te veel resten moeten worden verwijderd. Gestold vloeimiddel ziet er niet alleen lelijk uit, maar blijft (in tegenstelling tot wat vaak wordt gedacht) meestal ook chemisch actief, dus je moet in ieder geval voorzichtig zijn.

### Loodvrij soldeer heeft iets meer energie nodig

Voor een loodvrije soldeerverbinding is meer energie nodig dan voor een conventionele loodsoldeerverbinding. Aangezien de vereiste hoeveelheid energie hoger is, moet je de warmteoverdracht naar de soldeerverbinding beschouwen als een belangrijk aspect van het solderen. Elke soldeerkus vereist een soldeerstift met een geschikt oppervlak om de warmte over te dragen, zodat de hogere energie die nodig is om het loodvrije soldeer te smelten niet uitsluitend hoeft worden bereikt door verhoging van de werktemperatuur. De keuze van de juiste soldeerstift (**figuur 6**) is daarom een belangrijke overweging, evenals het voortdurend reinigen van de stift, aangezien deze onder hoge hittebelasting ook oxideert en met een aanslag bedekt raakt. Het contactoppervlak van een soldeerstift heeft ook de neiging om na langdurig gebruik uitgehold te raken. Dit vermindert de effectieve warmteoverdracht aanzienlijk. Studies hebben aangetoond dat bij gebruik van loodvrije legeringen, het verhogen van de temperatuur (bijvoorbeeld van 360 °C naar 410 °C) een bijna exponentieel effect heeft op de slijtage van de soldeerstift en de levensduur van de soldeerstift dus aanzienlijk verkort. Daarom is het in het algemeen aan te bevelen een iets langere soldeertijd of contacttijd te gebruiken in plaats van de werktemperatuur te verhogen. Een soldeerstation met een vermogen van 80 W of meer zou de juiste keuze zijn.

### Conclusie

Loodvrij solderen is niet moeilijker, het is gewoon anders. Allereerst moet je vertrouwd raken met de verschillende spreidings- en bevochtigingseigenschappen van loodvrij soldeer. Je hebt ook een iets langere soldeertijd nodig, om de soldeertemperatuur niet onnodig te hoeven verhogen. Eigenlijk is er niet zo veel veranderd. Het is raadzaam om een aantal verschillende soorten soldeer uit te proberen om die soort te vinden die je het beste bevalt. In het algemeen verdient soldeer met een relatief hoog zilvergehalte de voorkeur, ook al kost het meer.

Nu ademen we geen looddampen meer in; de damp komt van het

vloeimiddel, en niemand weet precies wat daar in zit. Een soldeerdamp-afzuigunit (zelfs een kleintje) is daarom nog steeds een goede investering. ◀

210653-03

### Aanbevolen literatuur

De bekende fabrikanten van soldeerproducten bieden een verbaazingwekkende hoeveelheid algemene informatie over de onderwerpen loodhoudend en loodvrij soldeerdraad, vloeimiddel, soldeerstiften, handleidingen en praktische tips, en nog veel meer, allemaal gratis te downloaden.

[www.felder.de/downloads/allgemeine-informationen.html](http://www.felder.de/downloads/allgemeine-informationen.html)

[Duitstalig]

[www.stannol.de/en/downloads.html](http://www.stannol.de/en/downloads.html)

[www.almit.de/index.php#Goodtoknow](http://www.almit.de/index.php#Goodtoknow)

[www.almit.de/soldering-tips-and-working-life](http://www.almit.de/soldering-tips-and-working-life)

### Vragen of opmerkingen?

Hebt u technische vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar de redactie van Elektor via [redactie@elektor.com](mailto:redactie@elektor.com).



### GERELATEERDE PRODUCTEN

- ▶ **Voltera Solder Wire (Sn42 Bi57 Ag1) (SKU 19882)**  
[www.elektor.nl/19882](http://www.elektor.nl/19882)
- ▶ **Velleman Solder Wire (Sn60 Pb40) (SKU 19860)**  
[www.elektor.nl/19860](http://www.elektor.nl/19860)
- ▶ **Soldering Stations in the Elektor Store**  
[www.elektor.nl/catalogsearch/result/?q=soldering station](http://www.elektor.nl/catalogsearch/result/?q=soldering+station)

### WEBLINK

[1] RoHS-richtlijn: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32002L0095>

# Bluetooth-garagedeurbediening met geringe latentie

met korte BLE-berichten vanaf een smartphone

Stephan Lück (Duitsland)

Vaak wil ik de garagedeur openen, maar heb de 433MHz afstandsbediening vergeten. Daarom heb ik een kleine Bluetooth Low Energy-ontvanger (BLE) gebouwd die wordt bediend met een Android-app op mijn smartphone.

Een bijzonderheid van dit project is dat BLE advertising Protocol Data Units (PDU's) worden gebruikt, waardoor vertraging bij het opzetten van de verbinding wordt vermeden. Het systeem reageert dus even snel op een commando van een afstandsbediening als een klassieke hardware-zender/ontvangercombinatie zou doen. Er is uitsluitend éénrichtingscommunicatie, van de smartphone naar de ontvanger, en die is beveiligd met HMAC [1]. Het idee was om alles eenvoudig te houden, zowel de hardware als de software. Ik deel dit project in de hoop dat u het nuttig vindt of als basis kunt gebruiken voor soort-

gelijke projecten. De broncode is beschikbaar op GitHub [2].

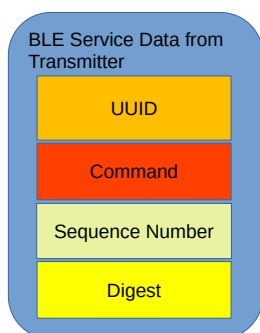
## Het protocol

Voor het verzenden van een opdracht worden BLE advertising PDU's gebruikt, die worden beschreven in Volume 6, Part B, Section 2.3 van de Bluetooth-specificatie [3]. Om compatibiliteitsredenen worden de korte (legacy) advertising PDU's gebruikt die een *AdvData*-veld van ten hoogste 31 bytes bevatten. Het *AdvData*-veld bestaat uit een opeenvolging van AD-elementen (Advertising Data) [4] (zie Volume 3, Part C, Section 11 van de

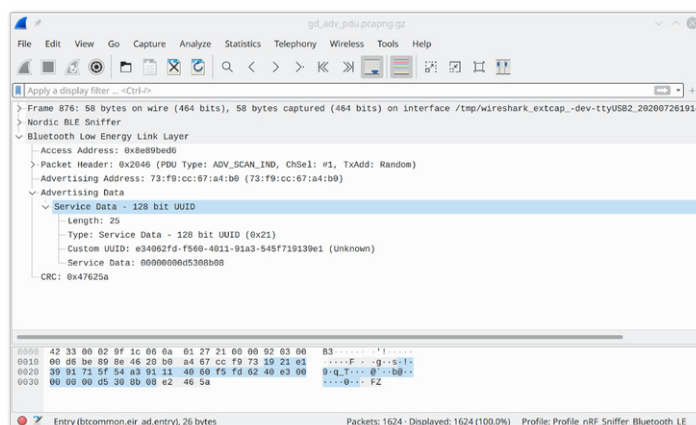
Bluetooth-specificatie). Een mogelijk AD-element is het *Service Data* AD-element (zie Bluetooth Core Specification Supplement, Part A, Section 1). Het *Service Data* AD-element bevat een *Service UUID* gevolgd door een willekeurig aantal bytes.

Deze *Service Data* AD-structuur wordt gebruikt om een afstandsbedienings-commando te verzenden. De *Service Universal Unique Identifier (UUID)* van 128 bits correspondeert met een unieke zender-ID. Met andere woorden, elke zender definieert een specifieke BLE-service. De na de UUID volgende data zijn volgt gestructureerd, en zijn vereenvoudigd voorgesteld in **figuur 1**:

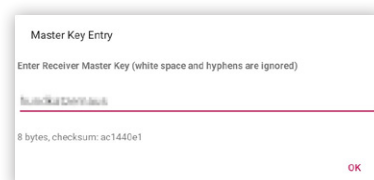
```
typedef struct {
    uint8_t cmd; /* command (currently always 0) */
    uint8_t seq_no[3]; /* sequence number (big endian) */
    uint8_t digest[4]; /* first four octets of HMAC-SHA256 */
} gd_message_t;
```



Figuur 1. Vereenvoudigde datastructuur.



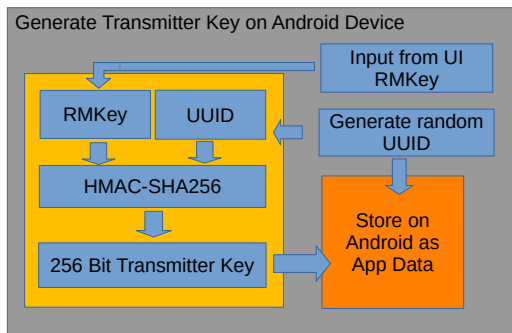
Figuur 2. PDU in Wireshark.



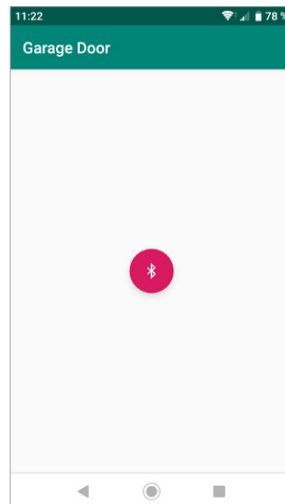
Figuur 3. Start van de app, en genereren van de sleutel.



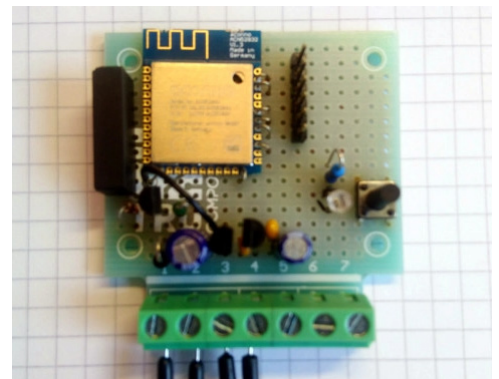




Figuur 4. Stroomdiagram voor de berekening van de zendersleutel.



Figuur 5. De app is klaar voor gebruik.



Figuur 6. Het opgebouwde prototype.

De "digest" authenticceert het bericht. Het volgnummer maakt het mogelijk duplicaten van PDU's te detecteren en voorkomt replay-attacks. Aangezien BLE advertising PDU's niet versleuteld zijn, is het mogelijk dat anderen zowel de UUID als de erop volgende data ontvangen. De digest wordt berekend op basis van een zendersleutel. De zendersleutel wordt afgeleid van een hoofdsleutel voor de ontvanger (RMkey) die in de ontvanger is opgeslagen, op basis van de UUID van de zender.

`transmitter_key = HMAC-SHA256(RMkey, transmitter_UUID)`

Een voorbeeld van een advertising PDU is te zien in het Wireshark-screenshot (figuur 2).

## De zender

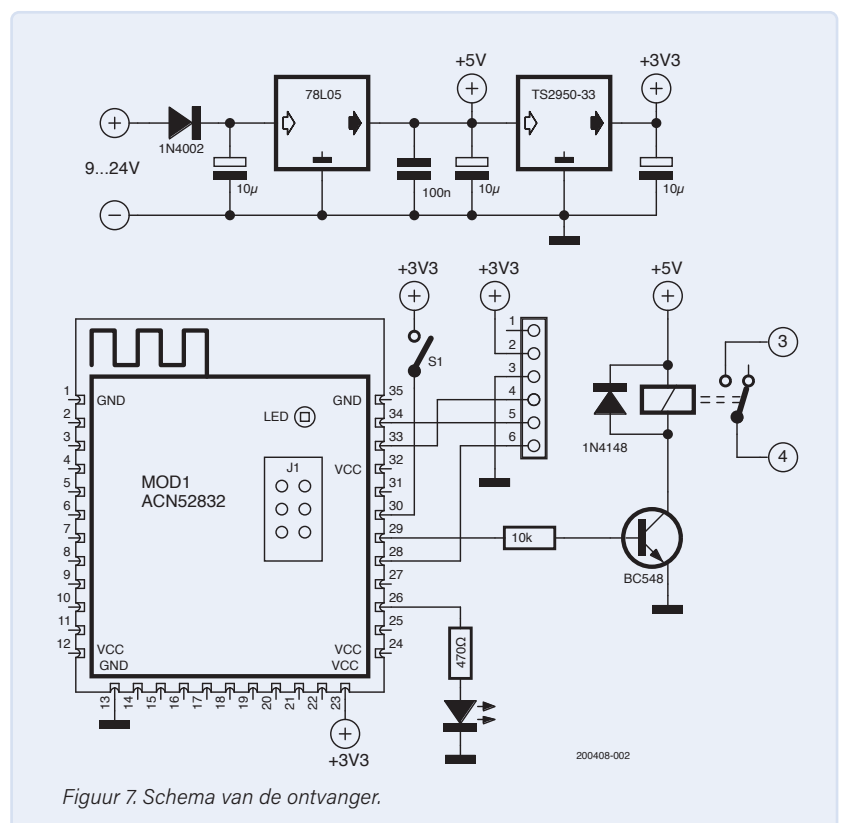
De zender is een eenvoudige Android-app die API niveau 21 vereist (overeenkomend met Android 5 "Lollipop"). Bij de eerste keer opstarten berekent de app een willekeurige UUID en toont een setup-dialoog om de RMkey in te voeren als een base32 gecodeerde string (zie figuur 3). Het setup-venster toont de lengte van de sleutel en een CRC32-checksum om de gebruiker te helpen typefouten te voorkomen bij het invoeren van de sleutel. De app berekent de zendersleutel uit de UUID en de RMkey en gooit dan de RMkey weg. De tuple (UUID, zendersleutel), die overeenkomt met een zender-identiteit, wordt dan blijvend opgeslagen. De zender-identiteit gaat verloren wanneer de app wordt gewist of wanneer applicatiegegevens handmatig worden gewist. De berekeningswijze is te zien in figuur 4. Na de setup toont de app een rode knop (zie figuur 5). Wanneer de knop wordt aange-

klikt, wordt een BLE advertising procedure geconfigureerd om de hierboven beschreven Service Data AD-structuur meerdere malen uit te zenden gedurende een periode van enkele seconden.

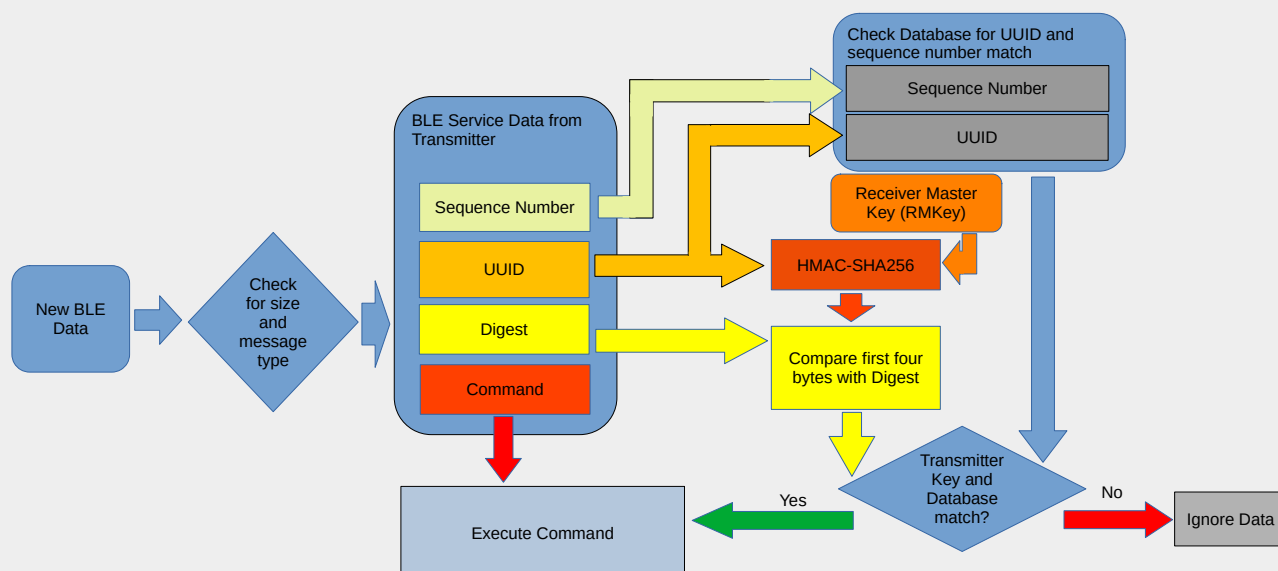
## De ontvanger

De ontvanger is op gaatjesprint opgebouwd op een prototyping board rond de aconno ACN52832 BLE-module [5] (figuur 6). Deze module bevat een Nordic Semiconductor

NRF52382-microcontroller, een drukknop, een LED en een relais dat moet worden aangesloten op de motor van de garagedeur. De ontvanger heeft een 9...24 VDC-voeding nodig. Eventueel kan de voedingsspanning van de garagedeur-aandrijving worden afgetakt, maar anders kan ook een eenvoudige netadapter worden gebruikt. Het schema is te zien in figuur 7. Bij het bouwen van de software voor de microcontroller, maakt een Python-script het bestand `rxm_key.bin` aan dat de 20 byte grote



Figuur 7. Schema van de ontvanger.



Figuur 8. Stroomdiagram voor het ontvangen van BLE-data.

RMkey bevat. Bovendien wordt een tekstuele representatie van de sleutel gegenereerd en opgeslagen in `_build/rxm_key.txt`. Dit laatste bevat de informatie die moet worden ingevoerd in de zender-app bij de eerste start. De ontvanger houdt een database bij van UUID's en volgnummers van zenders. Om een nieuwe zender toe te voegen, moet de knop worden ingedrukt en vervolgens moet de toe te voegen zender worden geactiveerd. Wanneer de knop langer dan vijf seconden wordt ingedrukt, wordt de database gewist en zal de ontvanger op geen enkele zender meer reageren.

Wanneer de ontvanger een advertising PDU ontvangt die de hierboven beschreven *Service Data* AD-structuur bevat, controleert hij de "digest" of hij de UUID van de zender kent en of het volgnummer juist is (figuur 8). Indien alle controles slagen, wordt het relais gedurende één seconde geactiveerd. ◀

200408-01

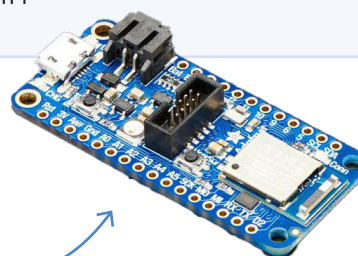
### Vragen of opmerkingen?

Hebt u technische vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Neem contact op met de auteur via GitHub [2] of stuur een e-mail naar de redactie van Elektor via [redactie@elektor.com](mailto:redactie@elektor.com).



### GERELATEERDE PRODUCTEN

- > **Adafruit CLUE - nRF52840 Express with Bluetooth LE (SKU 19512)**  
[www.elektor.nl/19512](http://www.elektor.nl/19512)
- > **Dogan Ibrahim, Android App Development for Electronics Designers (SKU 18687)**  
[www.elektor.nl/18687](http://www.elektor.nl/18687)
- > **makerdiary nRF52840 MDK USB Dongle with Case (SKU 19252)**  
[www.elektor.nl/19252](http://www.elektor.nl/19252)
- > **Adafruit Feather nRF52840 Express (SKU 20114)**  
[www.elektor.nl/20114](http://www.elektor.nl/20114)



### WEBLINKS

- [1] HMAC (Wikipedia): <https://en.wikipedia.org/wiki/HMAC>
- [2] GitHub-repository: <https://github.com/kiffie/ble-garage-door>
- [3] Bluetooth SIG: [www.bluetooth.com/](http://www.bluetooth.com/)
- [4] Bluetooth Advertising Data Basics, Silicon Labs:  
<https://bit.ly/silabs-bluetooth-ad>
- [5] ACN52832 van aconno: <https://aconno.de/products/acn52832/>

# Ideale diode-controller

diodeschakelingen met geringe vermogensdissipatie

Rainer Schuster (Duitsland)

Vermindering van de vermogensdissipatie van diodes is essentieel in alle situaties waarin grote stromen vloeien bij relatief lage spanningen (bijvoorbeeld wanneer zonnepanelen of Li-Ion-accu's parallel zijn geschakeld). Er zijn ideale diode-controllers ontwikkeld om de vermogensdissipatie in zulke gevallen te minimaliseren.

Een typische toepassing van diodes is geschetst in **figuur 1**. De diodes zijn hier nodig om te voorkomen dat er stroom van de ene accu (of zonnepaneel) in de andere accu (of zonnepaneel) vloeit. Maar als je naar de vermogensdissipatie van siliciumdiodes zoals 1N5404 kijkt, blijkt uit de datasheet dat de doorlaatspanning 1 V is bij 3 A (**figuur 2**). Dat betekent dat de vermogensdissipatie bij 3 A maar liefst 3 W bedraagt.

De situatie is iets beter als je een Schottky-diode gebruikt, zoals de 1N5822 die ook 3 A aan kan. Bij deze stroom bedraagt de spanningsval over de diode slechts 0,45 V, wat overeenkomt met een vermogensdissipatie van 1,35 W, zoals geïllustreerd in **figuur 3**.

Maar als je diodes wilt gebruiken bij grotere stromen, zoals 100 A of meer (wat zeker realistisch is met Li-Ion-accu's), stijgt de vermogensdissipatie tot een onaanvaardbaar niveau van 50 W of meer, zelfs als je Schottky-diodes gebruikt.

## De ideale diode

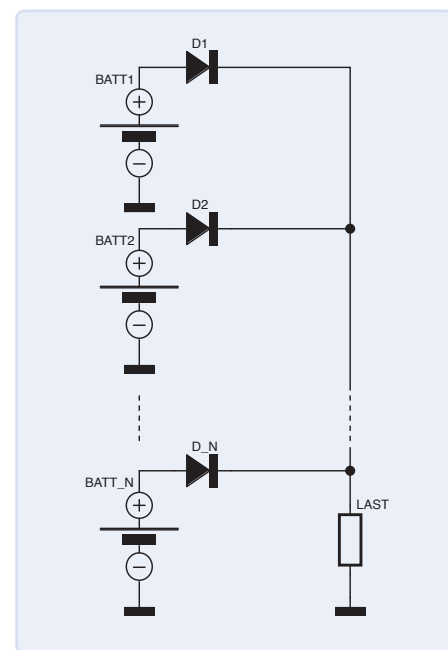
Om deze vermogensdissipatie te verminderen, heeft Linear Technology ideale diode-controllers ontwikkeld, zoals de LTC4357. Deze controller heeft een ingang (anode), een uitgang (kathode) en een massa-aansluiting. Door de controller te combineren met een N-kanaal MOSFET, zoals in de schakeling van **figuur 4**,

ontstaat een 'ideale' diode, waarbij de LTC4357 een nominale maximumspanning van 80 V heeft. Uiteraard moet de maximale nominale drain/source-spanning van de MOSFET ten minste gelijk zijn aan de spanning tussen de ingang en de uitgang. De maximale diodestroom hangt alleen af van de maximale nominale drainstroom van de MOSFET, en de vermogensdissipatie hangt alleen af van de drain/source-weerstand van de MOSFET in aan-toestand.

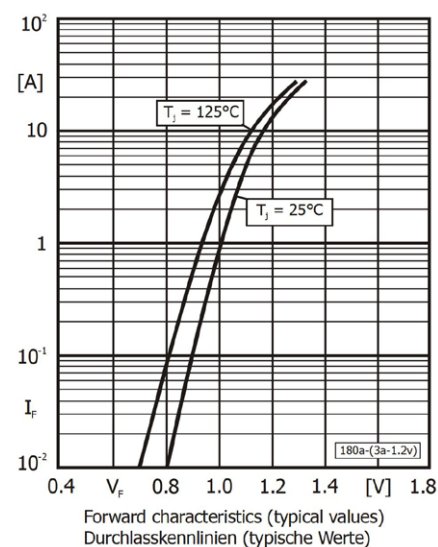
In de typische toepassing van **figuur 4** werkt de LTC4357 in principe als een comparator. Wanneer de ingangsspanning hoger is dan de uitgangsspanning, wordt Q1 ingeschakeld, en anders wordt Q1 uitgeschakeld om te voorkomen dat er stroom vloeit van de kathode (drain) naar de anode (source).

Als je naar **figuur 4** kijkt, vraag je je misschien af hoe de schakeling kan werken als de voeding van de LTC4357 (VDD) aangesloten op de uitgang (kathode). Het antwoord is dat wanneer de LTC4357 wordt ingeschakeld, hij zijn voedingsspanning krijgt via de diode van de MOSFET als er geen spanning van een andere bron aanwezig is op de kathode. Bovendien wordt de MOSFET uitgeschakeld als er een kortsluiting is tussen de kathode en massa.

In de geïllustreerde toepassing wordt een MOSFET van het type IRF2805 gebruikt. Volgens de datasheet bedraagt de drain/source-weerstand slechts 4,7 mΩ. Bij een stroom van 3 A is de spanningsval over de

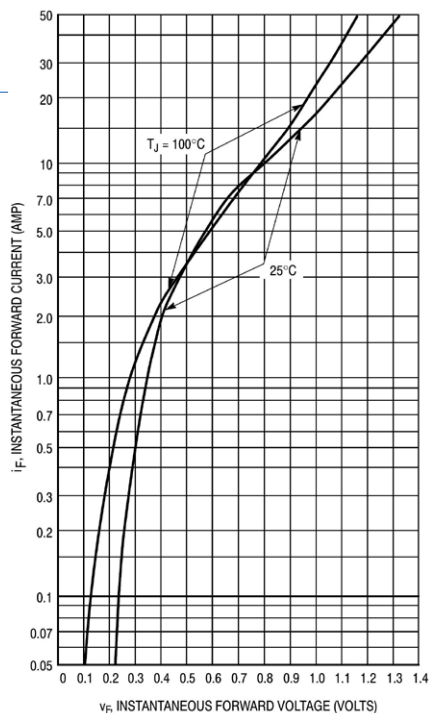


*Figuur 1. Een geringe vermogensdissipatie is belangrijk wanneer zonnepanelen of accu's parallel worden geschakeld.*

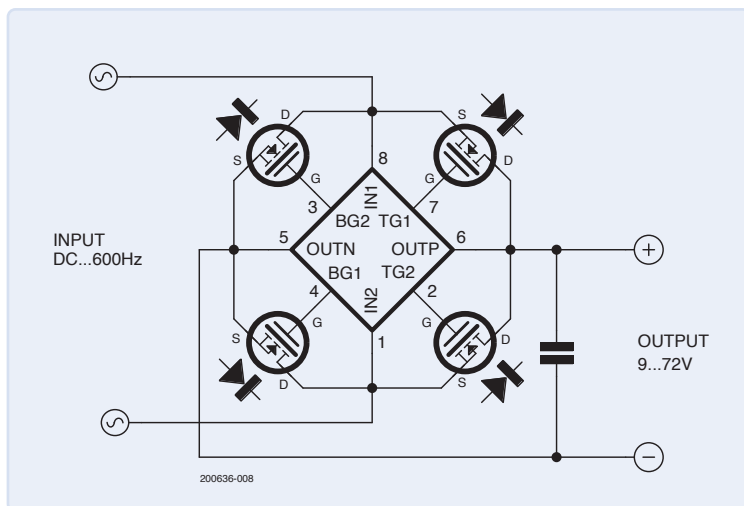


*Figuur 2. Doorlaatspanning versus stroom bij een 1N5404 (bron: datasheet Diotec Semiconductor).*





Figuur 3. Doorlaatspanning versus stroom bij een 1N5822 (bron: datasheet Onsemi).



Figuur 5. Een gelijkrichter met de LT4320.

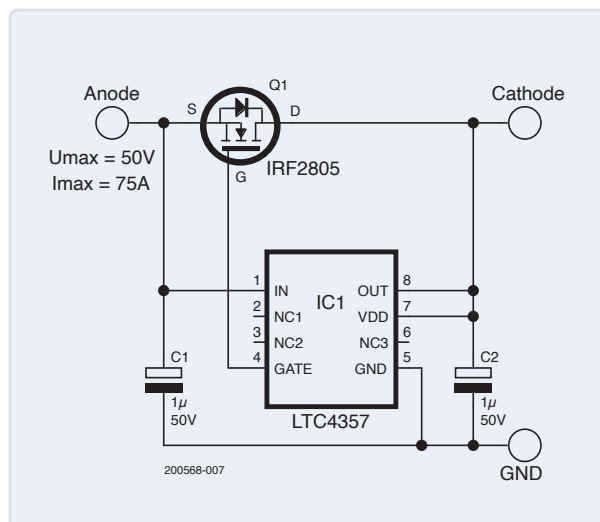
MOSFET zodoende slechts 14,1 mV, zodat de vermogensdissipatie slechts een bescheiden 42 mW bedraagt. In de onderstaande tabel is de MOSFET vergeleken met een diode van het type IXYS DSEI 120 bij een stroom van 75 A.

| Component | Spannings-verlies | Vermogens-dissipatie |
|-----------|-------------------|----------------------|
| IRF2805   | 350 mV            | 26 W                 |
| DSEI 120  | 1,5 V             | 112,5 W              |

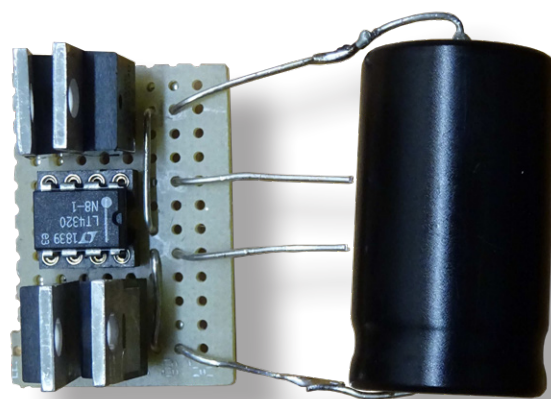
### Hoe zit het met AC?

De LTC4357 heeft een tekortkoming: hij is niet geschikt voor gelijkrichting van

wisselspanningen. Om dit te ondervangen heeft Linear Technology de LT4320 in de aanbieding, waarmee een bruggelijkrichter kan worden gemaakt. De typische toepassing van **figuur 5** is overgenomen uit de datasheet van Linear Technologies. Op deze manier kunnen bruggelijkrichters voor spanningen van 9 tot 70 V worden gerealiseerd. Het frequentiebereik loopt van DC tot 60 Hz met de LT4320, of DC tot 600 Hz met de LT4320-1. Ook hier zijn de maximale stroom en vermogensdissipatie van de gelijkrichter afhankelijk van de gebruikte MOSFET's. De Eagle-bestanden voor het schema en de layout (voor SMD- en THT-versies) van deze gelijkrichterschake-



Figuur 4. De standaard-applicatie bestaat uit een ideale diode-controller en een MOSFET.



Figuur 6. Gelijkrichter-prototype op gaatjesprint.

ling zijn ook beschikbaar op [1]. De layout is zo opgezet dat de opgebouwde schakeling conventionele bruggelijkrichters van het type BxxCyyy kan vervangen. **Figuur 6** toont een gelijkrichterschakeling die op gaatjesprint is opgebouwd.

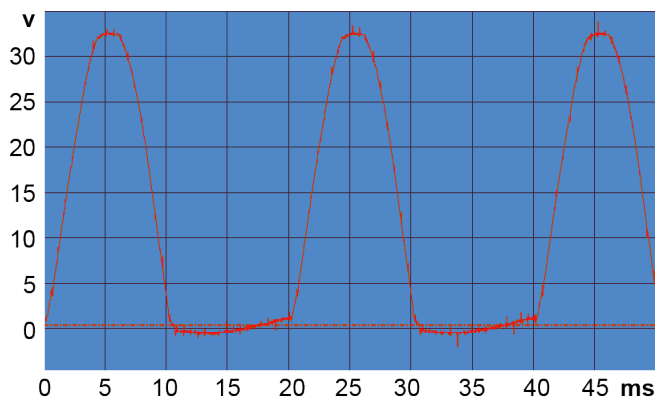
### Conclusie

Met de ideale diode-controllers van Linear Technology kan de vermogensdissipatie van diodes en gelijkrichters drastisch worden gereduceerd. De grotere complexiteit van de schakeling (en de extra kosten) zijn volkomen aanvaardbaar in schakelingen die met grote stromen werken. Natuurlijk zijn de ideale diode-controllers van Linear Technology niet perfect ideaal, zoals moge blijken uit de spanningsvorm van de 'ideale-diode'-gelijkrichter (**figuur 7**), aangezien de parasitaire parameters van reële componenten altijd een rol zullen blijven spelen. Niettemin is de combinatie van controller en MOSFET de

beste manier om de vermogensdissipatie van een diode te verminderen.

De Eagle-bestanden voor het schema en de print-layout voor deze toepassing zijn beschikbaar op [1]. Schema's voor simulatie met LTSpice voor de LT4357 en LT4320 zijn beschikbaar op [1]. Een video over dit onderwerp kan worden bekeken op [2].

200568-03



Figuur 7. Golfvorm van de uitgangsspanning van de gelijkrichter.

### Vragen of opmerkingen?

Hebt u technische vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar de redactie van Elektor via [redactie@elektor.com](mailto:redactie@elektor.com).



### GERELATEERDE PRODUCTEN

> **M. A. Shustov and A.M. Shustov,**  
**Electronic Circuits For All (SKU 18333)**  
[www.elektor.nl/18333](http://www.elektor.nl/18333)

### WEBLINKS

[1] Projectpagina op Elektor Labs: <https://bit.ly/3PDZVz5>

[2] R. Schuster, "Ideal Diode Controller", YouTube, november 2020: [www.youtube.com/watch?v=nd1zTrDmi0w](https://www.youtube.com/watch?v=nd1zTrDmi0w)

Advertentie



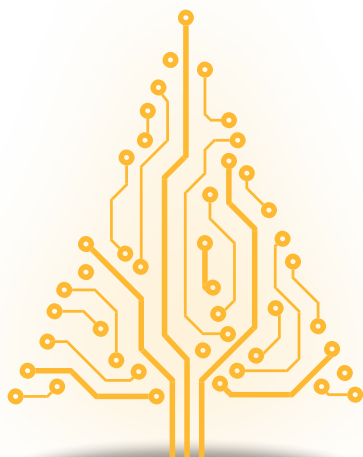
ynvisible

SCAN EN ONTDEK MEER!

## Ynvisible's gedrukte E-Paper Displays zuinig met energie en met geld.

Ynvisible toont zijn ultrazuinige en kosteneffectieve e-paper display op electronica 2022.

**Bezoek hal B5, stand 118**

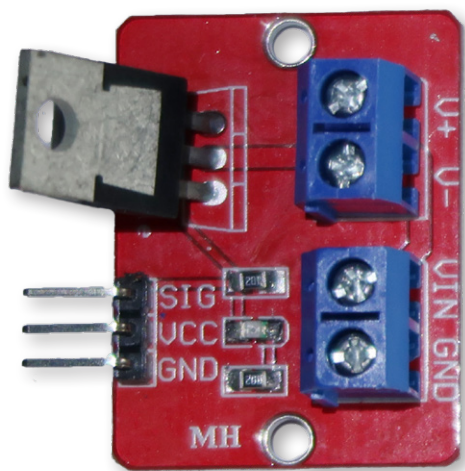


# LED-slingers met ESP32 en FreeRTOS

knipperen dat het een lieve lust is

Serge Sussel

Voor de feestdagen kunnen 24-VDC LED-slingers die knipperen en variëren in helderheid een lust voor het oog zijn. Je hebt niet meer dan een ESP32 nodig om een heel systeem met 13 verschillende parameters aan te sturen. Met FreeRTOS kunnen meerdere programmataken tegelijk worden uitgevoerd.



Figuur 1. FET-module.

Voor de bekende feestelijkheden aan het eind van het jaar wilde ik de kerstboom versieren en verlichten. Ik had nog een heel oude kerst-slinger liggen, met gloeilampjes in serie die elk in kleine gekleurde plastic lantaantjes waren gemonteerd. En om deze slinger tot leven te brengen, was een primitieve thermische schakelaar tussen de in serie geschakelde lampjes en het stopcontact opgenomen. Bovendien was het snoer vrij kort, zodat de versiermogelijkheden tamelijk beperkt waren.

Dus zocht ik op het web naar slingers met LED's, die minder stroom verbruiken en niet zo warm worden. Ik vond er een (Lumitronix) en bestelde twee veel langere gekleurde LED-slingers met passende transformator. Het is een 24V-systeem met een gelijkrichter dat meerdere LED-strings van stroom kan voorzien. De gekleurde slingers blijven echter de hele tijd ingeschakeld zonder enig lichteffect – voor een kerstslinger een beetje triest.

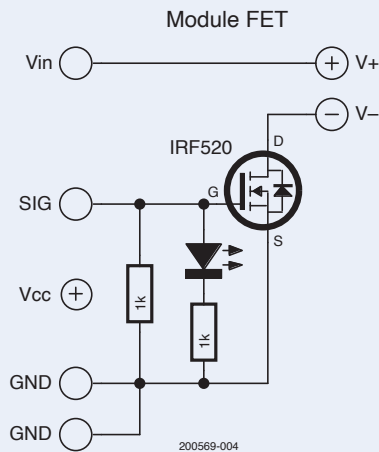
Ik heb ook mijn oude slinger gemoderniseerd door de gloeilampen te verwijderen en te vervangen door LED's met dezelfde kleur als het plastic lantaantje, en de bedrading tussen de LED's verlengd; de voedingsspanning is nu 24 V, waarbij de LED's een serieweerstand voor de stroombeperking in de connector hebben. Ik had nu drie kerstslingers ter beschikking.

Om het geheel wat leven in te blazen, wilde ik een microcontroller programmeren en via een MOSFET-interface de slingers zo aansturen dat ze zouden knipperen of de helderheid variëren. Daartoe heb ik boeken over C/C++ en over de Arduino gelezen – want het is altijd spannend iets nieuws te leren.

Als eerste vroeg ik me af hoe ik meerdere PWM-uitgangen tegelijk zou kunnen gebruiken, maar dan wel asynchroon, om zo voor elke slinger een andere effect te hebben. Ik heb overwogen om hiervoor een finite-state machine te ontwikkelen, maar dat vond ik een beetje te ingewikkeld.

Daarom begon ik het project met een Arduino Nano en een eenvoudig programma dat een enkele PWM-uitgang aanstuurde waarop de MOSFET-interface was aangesloten. Daarna heb ik dit gedupliceerd om twee slingers aan te sturen.





Figuur 2. Schema van de FET-module.

Omdat ik drie strings had, vertoonde de derde dezelfde effecten als een van de andere twee. Tijdens het testen van het project heb ik ook verschillende keren de animatie-instellingen van het programma aangepast om de visuele esthetiek te verbeteren.

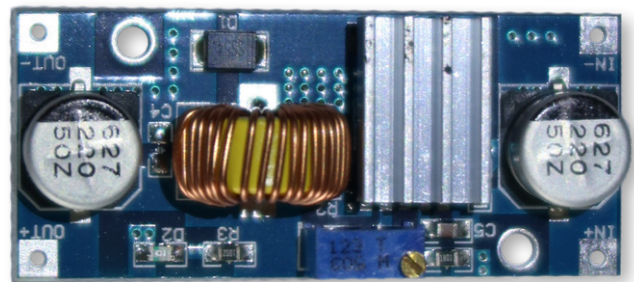
### Het ESP32-project

Tijdens het ontdekken en lezen van de artikelen van Warren Gay over FreeRTOS in Elektor [1], en ook na de aanschaf van zijn boek over dit onderwerp (zie kader **Gerelateerde producten**), probeerde ik FreeRTOS aan te passen aan de Arduino Nano, maar ik ontdekte al snel de beperkingen ervan. Na diverse pogingen kon ik niet meer dan één RTOS-taak tegelijk uitvoeren op de Nano. Dat moest beter kunnen. Dus zocht ik mijn toevlucht bij de ESP32 om mijn project naar dit platform te porten, en om FreeRTOS en onafhankelijke asynchrone taken te implementeren. Ik begon met het schrijven van één taak, en ontdekte daarbij de verschillen tussen deze microcontroller (ESP32) en de Arduino Nano bij het programmeren in C/C++.

Na een aantal programmeer- en debugsessies had ik geen compilatiefouten meer, en de taak werkte. Met mijn oscilloscoop op de PWM-uitgang zag ik de signalen die ik wilde. Met FreeRTOS is elke taak onafhankelijk van andere taken, als we geen wacht-en-synchroniseer mechanisme gebruiken. En dat is precies wat ik wilde hebben. Elke slinger kan dus zijn eigen (willekeurige) effect hebben; twee identieke effecten op hetzelfde moment zal niet vaak voorkomen, en zelfs als dat gebeurt, zullen ze niet op hetzelfde moment beginnen door vertragingen in eerdere effecten.

Ik kon het vermogen van de ESP32 meten en na verschillende proeven en tests lukte het me om twee, dan drie, en tenslotte vier taken te schrijven die gelijktijdig draaiden. Dus gebruikte ik FreeRTOS op de ESP32 om vier uitgangen aan te sturen via vier taken. De ESP32 kan echter nog meer PWM-uitgangen aansturen.

Ik gebruik de PWM-uitgangen zodat ik de helderheid van de LED-slingers geleidelijk kan variëren, en ze ook in en uit kan schakelen – naast andere effecten. Ik heb mijn project op gaatjesprint opgebouwd en het geheel in een plastic doos ondergebracht. Ik heb dit project ook



Figuur 3. DC/DC-converter met 5V-uitgangsspanning.

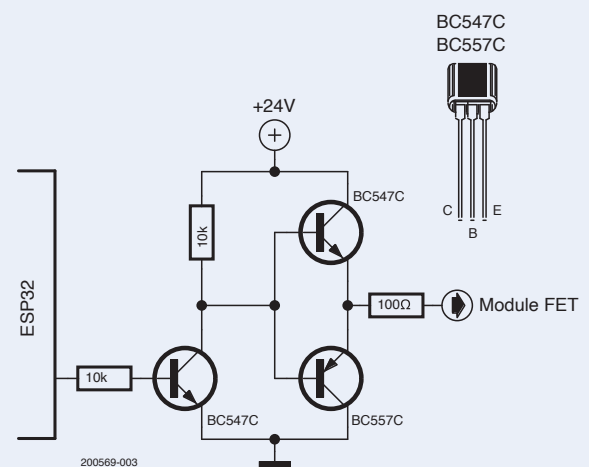
op Elektor Labs geplaatst [2].

### Vereiste onderdelen

Om de componenten voor mijn project te vinden, ging ik op het internet in het Verre Oosten op zoek en vond allerlei kleine modules met gemonteerde MOSFET's, weerstanden en LED's. De levertijden beliepen echter weken in plaats van dagen. Daarom heb ik enige reverse engineering toegepast (zie **figuur 1** en het schema van **figuur 2**).

Zo vond ik ook een volledig geassembleerde en regelbare voedingsmodule die 24 V DC op zijn ingang accepteert en die, na het instellen van de multituurn-potentiometer de juiste uitgangsspanning (5 V) leverde voor de microcontroller (**figuur 3**).

In een artikel in Elektor vond ik ook een interessante schakeling om de MOSFET-module aan te sturen, met drie transistoren (twee stuks



Figuur 4. Driver voor MOSFET.



### Listing 1. 13 parametersets voor de effecten.

```
#define MAXPROGR 13    // Max value of LED
                      // programs (0 to MAXPROGR -1)

// struct for LED programs
struct pled_t    /* structure def */
{
    int ledvar;    /* 0: flashing ; 1: light
                      varying */

    int ledon;     /* time ON */
    int ledoff;    /* time OFF */
    int ledvaloff; /* value for OFF status */
    int ledxtime;  /* repeat this program x times */
};
pled_t pled [MAXPROGR]; /* reserve memory for the
                        parameters for the LED programs */

...

// init for the LED programs' parameters

pled[0].ledvar = 0;
pled[0].ledon = 750;
pled[0].ledoff = 900;
pled[0].ledvaloff = 18;
pled[0].ledxtime = 7;

pled[1].ledvar = 0;
pled[1].ledon = 1100;
pled[1].ledoff = 800;
pled[1].ledvaloff = 18;
pled[1].ledxtime = 8;

...

pled[5].ledvar = 1;
pled[5].ledon = 1024;
pled[5].ledoff = 1024;
pled[5].ledvaloff = 0;
pled[5].ledxtime = 6;

pled[6].ledvar = 1;
pled[6].ledon = 1280;
pled[6].ledoff = 1280;
pled[6].ledvaloff = 0;
pled[6].ledxtime = 5;

...

pled[12].ledvar = 1;
pled[12].ledon = 1024;
pled[12].ledoff = 512;
pled[12].ledvaloff = 0;
pled[12].ledxtime = 8;
```



### Listing 2. Variabele modus voor langzaam aan en uit.

```
// values for each step in variable program for
// LED,
// 32 steps for OFF to ON and same for ON to OFF,
// half sine values
const int varval[] = { 0, 10, 25, 35, 45, 60,
75, 90, 100, 112, 122, 134, 145, 155, 165, 175,
184, 192, 200, 208, 215, 220, 226, 232, 236, 239,
241, 244, 247, 250, 253, 255 };
```



### Listing 3. Defines voor de hardware.

```
// Defining User Types
// 4 garlands for this project
#define GUIRL_A 16    // GPIO for garland A
                      // digital PWM - Task1Led
#define GUIRL_B 17    // GPIO for garland B
                      // digital PWM - Task2Led
#define GUIRL_C 18    // GPIO for garland C
                      // digital PWM - Task3Led
#define GUIRL_D 19    // GPIO for garland D
                      // digital PWM - Task4Led

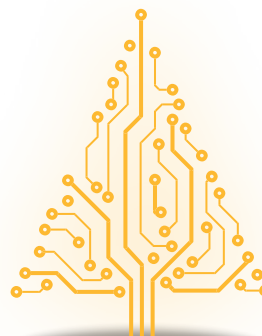
...

// Setting PWM ESP32 properties
const int freqpwm = 5000;    // Freq Hz
const int resolution = 8;    // 8 bits
const int ledChannelA = 0;    // Channels for
                              // each garland
const int ledChannelB = 1;    //
const int ledChannelC = 2;    //
const int ledChannelD = 3;    //
```



### Listing 4. Een taak die zichzelf verwijdert.

```
void loop()
{
    // Delete self, unused
    vTaskDelete(NULL);
} // end loop
```



BC547 en een BC557) en enkele weerstanden (zie **figuur 4**) om de signaolvorm op de gate van de MOSFET te verbeteren. Hierdoor wordt het signaal echter geïnverteerd, dus daar moet bij het programmeren rekening mee worden gehouden. Weer een bestelling, en weer geduldig wachten op levering.

Toen ik alle onderdelen eindelijk in handen had, kon ik alles in elkaar zetten en de laatste tests uitvoeren. Gelukkig werden de MOSFET-modules geleverd als een set van vijf, want ik eindigde bij één exemplaar met slechts de behuizing van één MOSFET transistor in mijn vingers. Hij moet verschillende keren verbogen zijn geweest, waardoor de pennen verzwakt waren. Een beetje knutselen mijnerzijds voorkwam verdere gebroken aansluitpinnen.

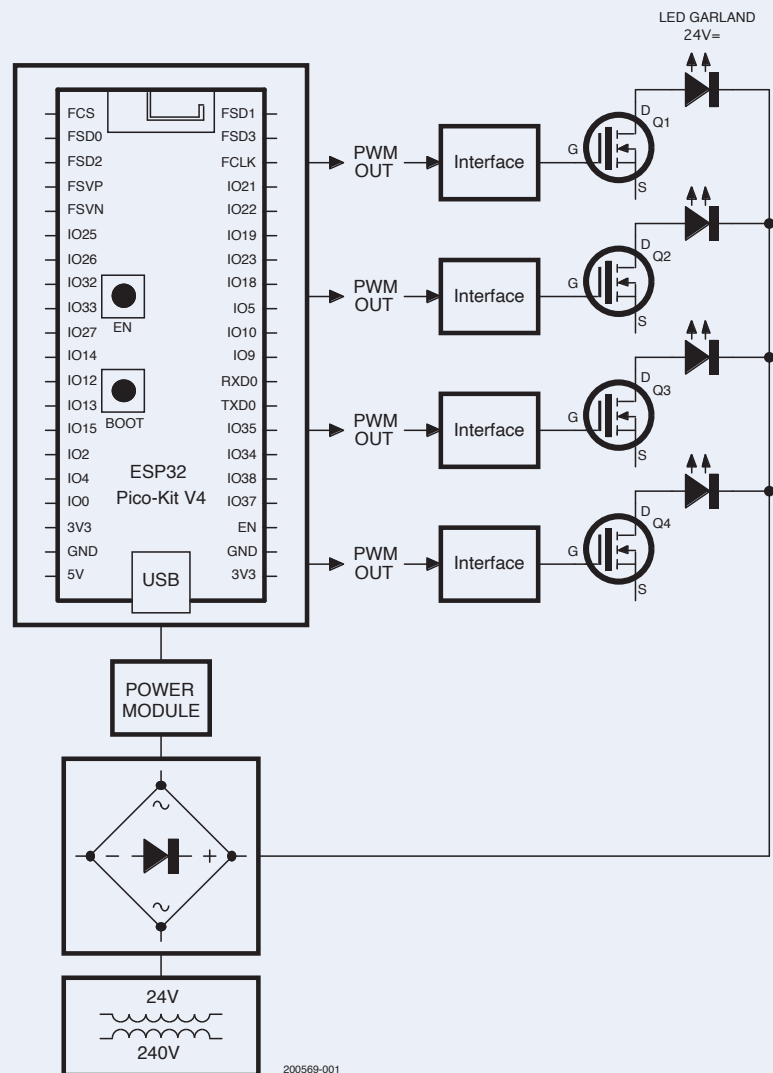
Aan de uitgang van de ESP32 heb ik dus voor elke LED-slinger een interfacemodule met BC547- en BC557-transistoren, die elk een MOSFET-module aansturen die op zijn beurt één of meer LED-slingers kan aansturen (zie **figuur 5**). Ik heb alles in een plastic behuizing ondergebracht en connectoren gemonteerd voor de DC-ingang en de uitgangen voor de lampjes.

## De ESP32 effect-code

Ik heb de Arduino IDE gebruikt om het programma [1] te ontwikkelen, te compileren en te uploaden naar de microcontroller. Nu komen we bij het hart van het project, namelijk, de LED-effecten. Ik heb hiertoe een tabel gedefinieerd met een set parameters in een `struct` die de effecten ('animaties') beschrijft. Er zijn 13 ingangen in deze tabel (zie **listing 1** voor de gebruikte `struct` en de waarden om deze te initialiseren). Deze tabel kan echter worden uitgebreid met meer ingangen.

Ik heb twee soorten effecten gedefinieerd. Het ene type is een ON/OFF-animatie met een extra optie voor zwak nalichten in de OFF-toestand. Elke uitgang heeft een ON-tijd, een OFF-tijd en het aantal iteraties dat moet worden uitgevoerd voor elke in- en uitschakelcyclus. Het tweede type animatie is de variabele modus. Hiervoor heb ik een tabel gemaakt met 32 elementen. Dit zijn sinusachtige waarden om de LED's geleidelijk aan en uit te laten gaan (zie **listing 2**). De duur van de cyclus wordt geregeld door de aan- en uit-tijden in de parametertabel.

Aan het einde van deze iteraties laadt het programma op basis van een toevalsgetal een andere parameterset uit de tabel. Als dit toevalsgetal hetzelfde is als het vorige, dan wordt een andere waarde gegenereerd om te voorkomen dat twee keer na elkaar dezelfde animatie wordt uitgevoerd voor dezelfde slinger. Op deze manier zien de effecten in de kerstboom er beter uit.



Figuur 5. Schema met ESP32 en MOSFET's.

## Codesecties in het kort

Aan het begin van het programma worden de gebruikte PWM-uitgangen en de constanten voor de ESP32 gedefinieerd (**listing 3**). Dan komt de functie die gebruikt wordt om een pseudo-willekeurig getal te genereren (regels 61–67 in de code [1]), en dan de code voor de RTOS-taak (regels 72–145), die gedurende onbepaalde tijd zal worden uitgevoerd. Deze taak is herbruikbaar, omdat hij gedefinieerd is met een parameter (PWM-pinnummer) die er aan doorgegeven wordt. Daarna komt de `setup()` functie, die eerst alle waarden aan de eerder genoemde effect-parametertabel toekent. Het gedeelte daarna behandelt de PWM-uitgangsparameters (regels 231–245), en het aanmaken van de FreeRTOS-taken, met hun parameters om ze te activeren (regels 251–315). In de ESP32 wordt de scheduler zelf opgestart, en begint met de taken zodra ze zijn gedeclareerd.

Tenslotte, in de `loop()` functie, die zelf een taak is, laten we het zichzelf



verwijderen, omdat het geen code uitvoert – een taak kan zichzelf verwijderen en resources vrijmaken. De betreffende regels zijn te zien in **listing 4**. En in **figuur 6** komt de feestelijke verlichting tot leven!

### Maar dat is nog niet alles

Met zijn meerdere PWM-uitgangen kan de ESP32 andere slingers aansturen. We kunnen ons voorstellen dat we alle PWM-uitgangen gebruiken om slingers aan te sturen om zo een tuin of een gevel op te leuken. Een andere mogelijkheid zou zijn om gebruik te maken van de WiFi-functionaliteit (die nu eenmaal beschikbaar is) om de ESP32 vanaf een mobiele telefoon te besturen via een kleine interface (die dan wel moet worden ontwikkeld). Ik sta open voor suggesties.

*Alle materialen voor dit project zijn te vinden op de Elektor Labs-pagina [1] bij dit project.* ◀

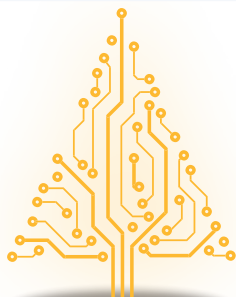
200569-03

### Over de auteur

Serge Sussel ontdekte de elektronica medio jaren zestig door elektronica-tijdschriften te kopen zoals Elektor, Radio Plans, Haut-Parleur en Audiophile. Daarna heeft hij tijdens zijn studies onder meer zijn informaticakennis ontwikkeld. Hij werkte bij de Franse Nationale Centrale Bank (NCB) aan grote systemen op OS-niveau (Operating System) en het database-subsysteem, ook door het ontwikkelen van een preprocessor voor het compileren van de beveiligingselementen van transacties. Op persoonlijk vlak is hij van meet af aan (zodra hij de smaak te pakken had gekregen) geïnteresseerd geweest in analoge elektronica. Hij bouwde onder meer meetapparatuur met Heathkit-kits, hifi-voorversterkers en -eindversterkers, en een drieklaviersorgel dat in het begin van de jaren tachtig als bouw pakket werd verkocht. Inmiddels gepensioneerd houdt hij zich nog steeds bezig met analoge elektronica en met microcontroller-platforms, en hij restaureert zwaar beschadigde apparaten en apparaten die zijn afgedankt door mensen die niet beseffen dat die na vervanging van een paar componenten vaak nog jaren bruikbaar zijn.

### Vragen of opmerkingen?

Hebt u technische vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar de redactie van Elektor via [redactie@elektor.com](mailto:redactie@elektor.com).



Figuur 6. De kerstboom met feestelijke verlichting.



### GERELATEERDE PRODUCTEN

- > Joy-IT NodeMCU ESP32 Development Board (SKU 19973)  
[www.elektor.nl/19973](http://www.elektor.nl/19973)
- > Warren Gay, FreeRTOS for ESP32-Arduino (Elektor 2020, SKU 19341)  
[www.elektor.nl/19341](http://www.elektor.nl/19341)

### WEBLINKS

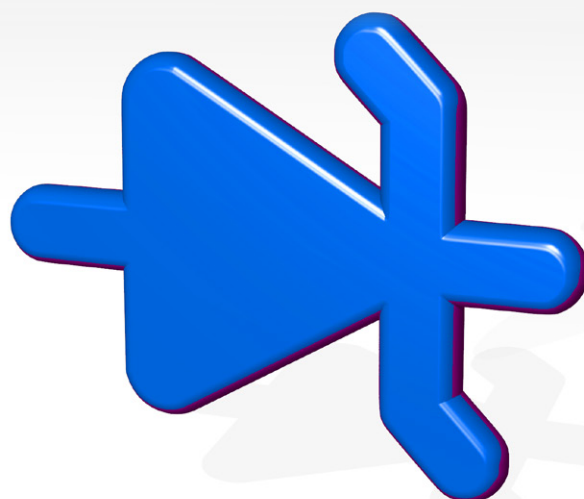
- [1] Multitasking met de ESP32 (5 afleveringen): <http://www.elektormagazine.nl/magazine/elektor-144/57032>
- [2] Alle materialen voor dit project op Elektor Labs: <http://www.elektormagazine.com/freertos-led>

# Alle begin...

...zenert er vrolijk op los

Eric Bogers (Elektor)

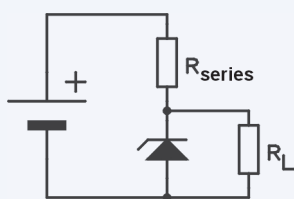
We hebben de vorige aflevering afgesloten met een snelle blik op de zenerdiode – een veelgebruikte component waar we hier uitgebreid aandacht aan zullen besteden.



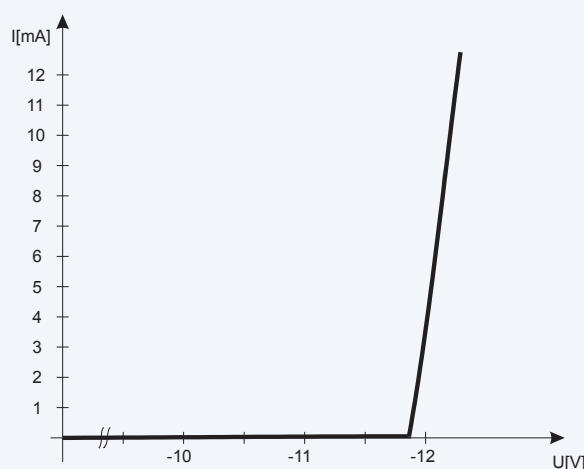
Om uw geheugen een beetje op te frissen: een zenerdiode wordt in sperrichting gebruikt, en in tegenstelling tot een gewone diode gaat hij niet kapot als hij in sperichting gaat geleiden. Dat maakt de zenerdiode ideaal voor het stabiliseren van spanningen. Heel belangrijk is dat een zenerdiode altijd in combinatie met een serie-weerstand moet worden gebruikt die de stroom door de component begrenst. Een en ander is in **figuur 1** aanschouwelijk gemaakt. Het schemasymbool van de zenerdiode verschilt van dat van de gewone diode door het 'haaltje' aan de kathode.

**Figuur 2** toont de stroom/spanningkarakteristiek van een zenerdiode, in dit geval een ZPD12. Zoals u misschien al vermoedde door de '12' in het typenummer, is dit een diode met een sperspanning ('zener spanning') van 12 V. Uit de grafiek blijkt dat deze zenerdiode bij een spanning van iets minder dan 12 V (om precies te zijn 11,87 V) begint te geleiden; naarmate de stroom toeneemt, loopt die

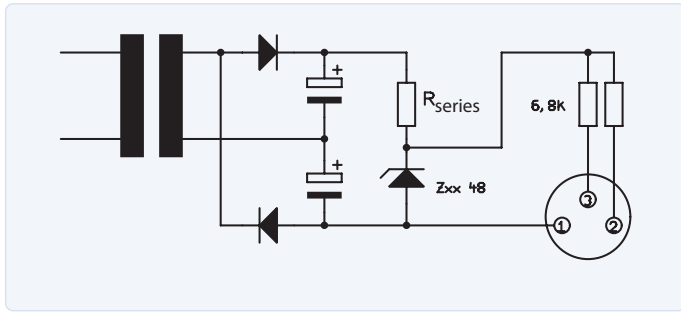
spanning iets op. Het belangrijkste is echter dat de spanning over de diode een redelijk constante waarde van 12 V houdt, en dat maakt deze component geschikt voor het stabiliseren van spanningen. Het maximale verliesvermogen voor een zenerdiode uit de ZPD-reeks bedraagt 500 mW. Omdat de spanning iets toeneemt naarmate er meer stroom door de diode loopt, zouden we eigenlijk een tweedegraads vergelijking nodig hebben om de maximaal



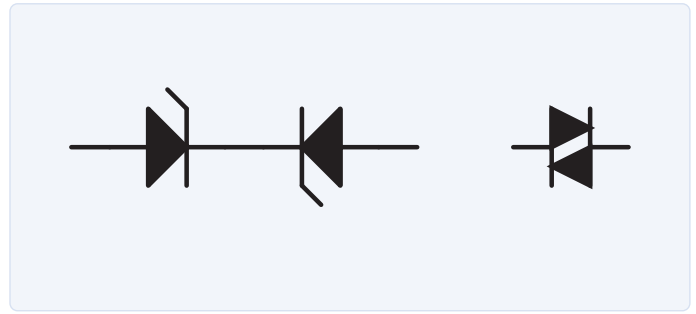
Figuur 1. Basisschakeling met een zenerdiode.



Figuur 2. Karakteristiek van een zenerdiode.



Figuur 3. Gestabiliseerde fantoomvoeding.



Figuur 4. Diac.

toelaatbare stroom te berekenen. Als vuistregel kunnen we echter met een gerust hart uitgaan van 90% van de nominale spanning:

$$I_{max} = \frac{0.9 \cdot P_{loss}}{U} = \frac{0.9 \cdot 0.5 \text{ W}}{12 \text{ V}} = 37.5 \text{ mA}$$

De schakeling van figuur 1 is slechts geschikt voor relatief geringe stromen, omdat anders de serieweerstand te klein is en dus de stroom door de diode te groot. Dat zou een zeer groot verliesvermogen tot gevolg hebben. Dat is de reden dat zenerdiodes vrijwel altijd in combinatie met transistoren of opamps worden toegepast.

Voor een goed begrip zullen we echter een schakeling als die van figuur 1 doorrekenen; daarvoor kiezen we een schakeling die wordt gebruikt voor de stabilisatie van de fantoomvoeding van een microfoon [1].

Fantoomvoeding wordt gebruikt om een microfoon via de microfoonkabel van spanning te voorzien. Vooral condensatormicrofoons kunnen het niet zonder fantoomvoeding stellen voor de voeding van de ingebouwde versterker. Fantoomvoeding wordt echter ook wel voor andere apparaten gebruikt.

De fantoomvoeding levert een spanning van 48 V, die via twee weerstanden van 6,8 kΩ op de beide aders van de microfoonkabel (XLR-connector: pinnen 2 en 3) wordt gezet. De massa wordt uiteraard met de afscherming van de microfoonkabel (XLR-connector: pin 1) verbonden.

We willen deze voedingsschakeling zo dimensioneren dat de fantoomvoeding onder alle omstandigheden stabiel blijft. De laagst denkbare belastingsweerstand is nul ohm, zodat de schakeling dan slechts wordt belast door de parallelschakeling van de twee weerstanden van 6,8 kΩ – in totaal is dat dus 3,4 kΩ.

De maximale belastingsstroom bedraagt zodoende:

$$I_L = \frac{U}{R_L} = \frac{48 \text{ V}}{3.4 \text{ k}\Omega} = 14.1 \text{ mA}$$

Voor de trafo willen we een 24V-type gebruiken; de maximale spanning over de elco bedraagt dan:

$$U_{top} = 48 \text{ V} \cdot \sqrt{2} - 1.4 \text{ V} = 66.5 \text{ V}$$

Gedurende een halve periode mag de spanning inzakken tot ongeveer de helft van het verschil tussen de onbelaste spanning en de nominale spanning van de fantoomvoeding:

$$\Delta U = \frac{66.5 \text{ V} - 48 \text{ V}}{2} = 9.3 \text{ V}$$

Dat betekent voor de waarde van de bufferelco:

$$C = \frac{I}{f \cdot \Delta U} = \frac{14.1 \text{ mA}}{50 \text{ Hz} \cdot 9.3 \text{ V}} = 30.3 \text{ }\mu\text{F}$$

Omdat een waarde van 33 μF moeilijk verkrijgbaar is, kiezen we voor een exemplaar van 47 μF. Nu gebruiken we deze waarde om het daadwerkelijke spanningsverschil te berekenen:

$$\Delta U = \frac{I}{f \cdot C} = \frac{14.1 \text{ mA}}{50 \text{ Hz} \cdot 47 \text{ }\mu\text{F}} = 6 \text{ V}$$

De laagste spanning over de elco bedraagt dus 60,5 V. Over de serieweerstand ( $R_{series}$ ) valt dan een spanning van 12,5 V, en de stroom door de serieweerstand is tenminste gelijk aan de stroom door de belasting (de zenerdiode mag dan net stroomloos zijn). Zodoende geldt voor de serieweerstand:

$$R_{series} = \frac{12.5 \text{ V}}{14.1 \text{ mA}} = 886.5 \text{ }\Omega$$

We kiezen uiteraard voor de standaardwaarde van 820 Ω. Bij een onbelaste schakeling loopt de grootste stroom door de zenerdiode. De spanning over de elco schommelt tussen 60,5 V en 66,5 V, en bedraagt gemiddeld dus 63,5 V. De gemiddelde stroom door de weerstand en dus door de zenerdiode bedraagt in onbelaste toestand zodoende:

$$I = \frac{63.5 \text{ V} - 48 \text{ V}}{820 \text{ }\Omega} = 18.9 \text{ mA}$$



En dus geldt voor het verliesvermogen:

$$P = U \cdot I = 48 \text{ V} \cdot 18.9 \text{ mA} = 907.2 \text{ mW}$$

## De diac

De (min of meer constante) zenerspanning staat uitsluitend in sperrichting over een zenerdiode. Als een zenerdiode in doorlaatrichting wordt gebruikt, valt er slechts evenveel spanning over als over een normale diode. Dat betekent dat een zenerdiode voor veel AC-toepassingen (dat wil zeggen toepassingen waarbij wisselspanningen om de hoek komen kijken) minder geschikt is.

We kunnen ons in zo'n geval echter 'behelpen' door twee tegengesteld gepoolde zenerdioden in serie te schakelen, zoals in **figuur 4** links is geschetst. Terzijde: onbegrijpelijkwijls is hiervoor de term 'antiparallel geschakeld' ingeburgerd geraakt – maar met parallelschakeling heeft dit niets van doen ('antiserie' zou beter zijn). Bij uw elektronica-postorderaar (de 'elektronicawinkel om de hoek' bestaat helaas niet meer) kunt u onder de exotische benaming 'diac' twee op deze manier aangesloten zenerdioden in één behuizing kopen. De nominale spanning van diacs bedraagt normaliter ongeveer 33 V; ze worden eigenlijk alleen in conventionele dimmers gebruikt (daar komen we volgende keer nog op terug). ◀

220384-03

De artikelreeks "Alle begin..." is gebaseerd op het boek "Basiscursus elektronica" van Michael Ebner, dat bij Elektor is verschenen.

## Vragen of opmerkingen?

Hebt u technische vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar de redactie van Elektor via [redactie@elektor.com](mailto:redactie@elektor.com).

## WEBLINK

[1] Fantoomvoeding:  
<https://nl.wikipedia.org/wiki/Fantoomvoeding>



## GERELATEERDE PRODUCTEN

► Michael Ebner, *Basiscursus elektronica*  
(E-Boek, SKU 18232)  
[www.elektor.nl/18232](http://www.elektor.nl/18232)

Advertisement

## TAKING THE NOISE OUT OF E-MOBILITY



WÜRTH  
ELEKTRONIK  
MORE THAN  
YOU EXPECT

WE meet @ electronica  
Hall A5, Booth 406

### Noise free e-mobility

e-Mobility is no longer a question of tomorrow and the number of e-vehicles is increasing day by day. Handling EMI noise is becoming more and more crucial, when it comes to design new electronic devices and systems. Würth Elektronik offers a wide range of EMC components, which support the best possible EMI suppression for all kinds of e-mobility applications. With an outstanding design-in support, catalogue products ex stock and samples free of charge, the time to market can significantly be accelerated. Besides ferrites for assembly into cables or harnesses, Würth Elektronik offers many PCB mounted ferrites and common mode chokes as well as EMI shielding products.

[www.we-online.com/emobility](http://www.we-online.com/emobility)

- Large portfolio of EMC components
- Design-in-support
- Samples free of charge
- Orders below MOQ
- Design kits with lifelong free refill

# FM/DAB+ ontvanger

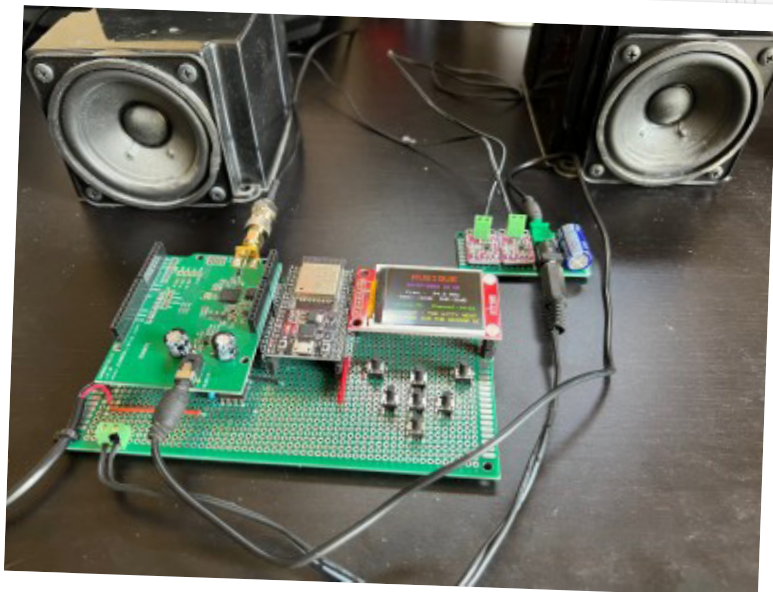
het beste van twee werelden

**Yves Bourdon (Frankrijk)**

In de jaren zestig en zeventig waren er, als je met elektronica bezig was, volgens mij twee apparaten die je absoluut zelf wilde bouwen: een radio-ontvanger en een digitale klok. Vandaag de dag geldt dat nog steeds voor veel elektronicaliefhebbers – alleen moet die radio nu ook digitaal zijn. In dit artikel laten we zien hoe je een digitale radio bouwt met een ESP32-module en een Arduino-shield op basis van de Si4684, een digitale ontvangerchip van Skyworks.

Ik was nog geen tien jaar oud toen ik mijn eerste radio bouwde. In de wachtkamer van onze dokter kwam ik een tijdschrift tegen dat *Le Haut-Parleur* heette (wat 'De Luidspreker' betekent, Elektor bestond nog niet) en dat vooral gericht was op buizen-hifi. Een artikel over diodes, transistoren en langegolf-ontvangers trok echter mijn aandacht. Ik nam het blad mee naar huis zonder eerst toestemming te vragen (heer dokter, accepteer alstublieft mijn oprechte excuses).

Het kostte me bijna een jaar om mijn eerste radio te bouwen, en op een ochtend hoorde ik eindelijk voor het eerst 'Nights in White Satin' van de Moody Blues. Mijn radio bestond uit een detectordiode, een enorme antenne (zeker niet afgestemd), een LF-versterker (een transistor van het type OC71) en een kleine luidspreker van onbestemde herkomst. Het afstemmen gebeurde met een variabele condensator. Het was de eerste van een lange reeks meer en meer complexe radio's met als toppunt een FM-ontvanger met een volledig getransistoriseerde stereodecoder.



In 2010 publiceerde Elektor een artikel over de bouw van een volledig digitale FM-ontvanger op basis van een Skyworks Si4735-processor van Silicon Labs [1]. Natuurlijk bouwde ik deze radio, ik bouwde er zelfs meer dan vijf verschillende versies van. Toen DAB+ ontvangst eindelijk beschikbaar kwam in mijn regio (Aix-en-Provence, Frankrijk) ging ik op zoek naar een opvolger van de Si4735 en kwam uit bij de Si4684 (inmiddels is Silicon Labs Skyworks geworden). Daarmee kon ik zelf een FM/DAB+ ontvanger bouwen.

## Over de DAB+ standaard

De DAB+ standaard voor Digital Audio Broadcasting betreft 'aardse' digitale radio. Het is het radio-equivalent van DTTV. Het digitaliseert de goede oude analoge FM-radio.

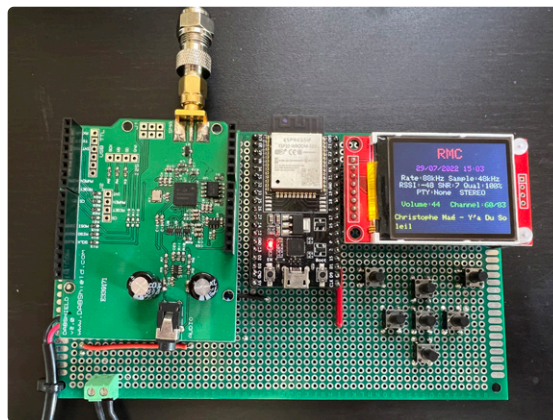
DAB+ beslaat VHF-band III, tussen 174 MHz en 240 MHz, die vroeger door analoge televisie werd gebruikt. De belangrijkste voordelen van DAB+ zijn:

- het is een gratis openbare dienst (geen abonnementen nodig);
- geen achtergrondruis ('hiss') door slechte ontvangst of interferentie. De DAB+ standaard maakt gebruik van de AAC+ codec (MPEG-4 Part 3);
- de audiokwaliteit, met een grotere bandbreedte dan FM, is uitstekend (ik ontvang de meeste stations met een bitrate van 88 kbps);
- automatische preselectie van zenders, zoals bij DTTV. Elke stad heeft zes tot zeven multiplexes van ongeveer vijftien zenders. In Aix-en-Provence ontvang ik 83 DAB+ zenders;
- weergave van informatie over het programma dat wordt uitgezonden (titel van het programma, scrollende tekst, albumhoes, weerkaart enzovoort afhankelijk van de mogelijkheden van de ontvanger).

Anderzijds is de ontvangst binnen gebouwen matig en is een goede antenne nodig. Ik gebruik een verticaal gepolariseerde 1/4-golf-antenne (34,5 cm/13,6") die ik bij een raam heb geïnstalleerd.

## De Si4684

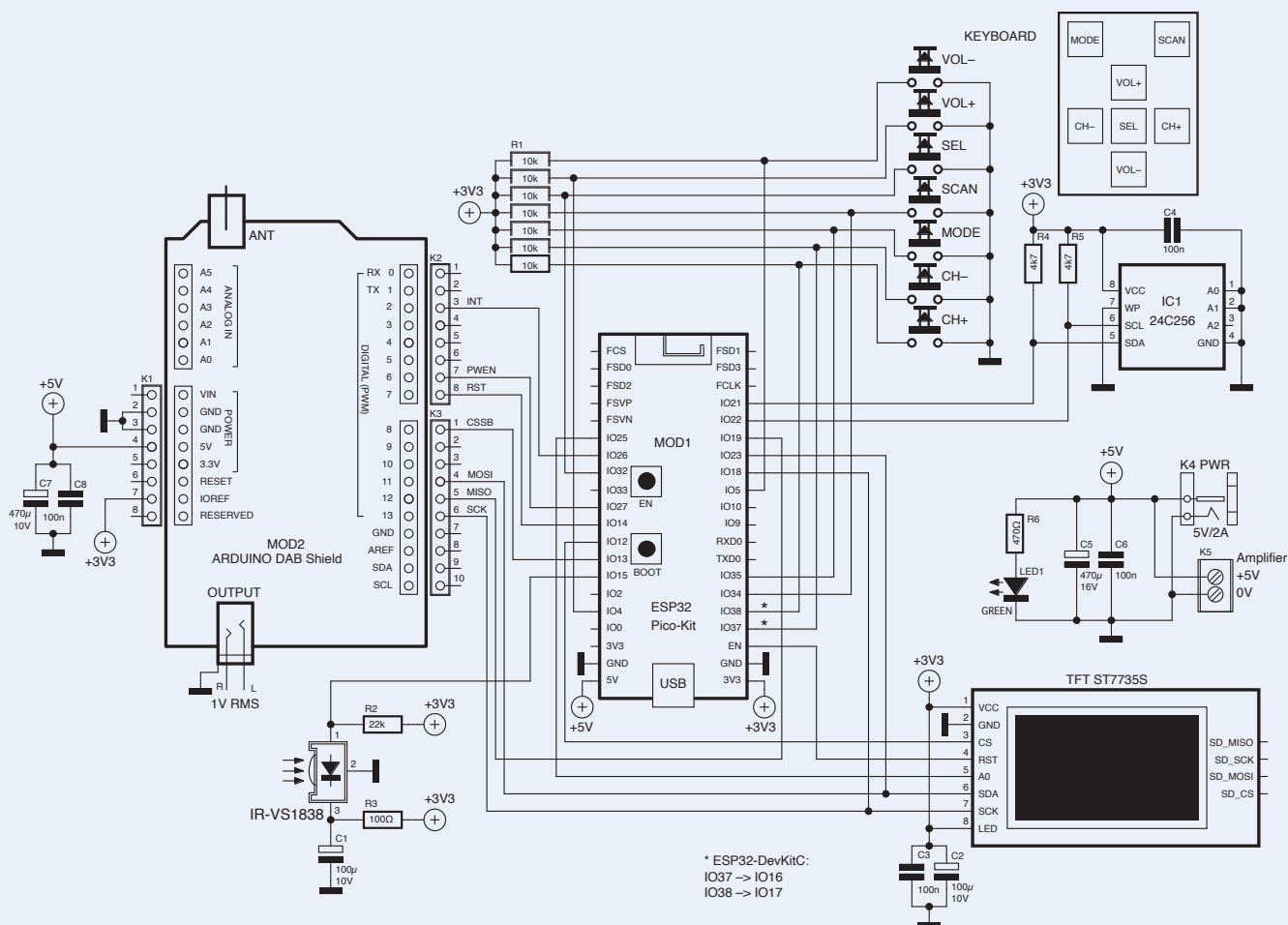
Aanvankelijk was ik van plan een print te ontwerpen voor de Si4684-chip. Toen ik echter de datasheet nauwkeurig bestudeerde, besepte ik dat er een probleem was met het intellectuele eigendom van de firmware van de component, die doorgaans is opgeslagen in een externe seriële EEPROM. Deze firmware kan alleen worden gebruikt na ondertekening van een overeenkomst met Skyworks – de fabrikant van de chip – en betaling van een vergoeding. Daarom is het gewone stervelingen onmogelijk om de firmware op legale wijze te verkrijgen. En hoewel er online illegale kopieën te vinden zijn, wilde ik daar niet aan (waarschijnlijk vanwege mijn verleden als ontwerper die het begrip intellectueel eigendom altijd heeft verdedigd). Daarom zocht ik naar een commercieel beschikbare oplossing van een door Skyworks goedgekeurde fabrikant. Zo vond ik het DAB Shield dat wordt verkocht door het Engelse bedrijf AVIT Research. De CEO van het bedrijf, Adrian, gaf me toestemming om zijn uitstekende DABShield-bibliotheek in mijn project te gebruiken. Hierbij wil ik hem bedanken voor zijn steun bij dit project!



Figuur 1. Mijn prototype. Gebaseerd op een ESP32-DevKitC module, past dit in een transparante behuizing (Hammond 1591C).

## De FM/DAB+ ontvangerschakeling

Voor mijn prototype heb ik een Espressif ESP32-DevKitC gebruikt (figuur 1). Als je het schema bekijkt (figuur 2), zie je dat ik bijna alle beschikbare I/O-pinnen heb gebruikt. De ESP32-module is ook gekozen vanwege zijn rekenkracht en vooral vanwege zijn beschikbare geheugen (512 KB RAM en 4 MB flash-geheugen).



Figuur 2. Het schema van de FM/DAB+ ontvanger.



## EEPROM-probleem

Ondanks al dit geheugen heb ik ook een externe EEPROM toegevoegd. De reden hiervoor is de *EEPROM*-bibliotheek van de ESP32 die ik aan het begin van het project heb gebruikt om FM- en DAB+ stations op te slaan. Omdat de ESP32 geen echte EEPROM heeft, gebruikt deze bibliotheek een deel van het flash-geheugen om een EEPROM te emuleren. Helaas wordt de bibliotheek uitgefaseerd en werkt hij alleen correct als de geheugengrootte niet groter is dan 512 bytes. (Ik heb wel een maximale grootte van 4 KB geprobeerd, zoals in bepaalde forums wordt gesuggereerd, maar dit resulteert onvermijdelijk in een programmacrash omdat de gegevens die in EEPROM zijn opgeslagen op een nogal willekeurige manier worden gewijzigd). Het is beter om in plaats daarvan de *Preference*-bibliotheek te gebruiken.

Toen ik echter de problemen van de *EEPROM*-bibliotheek ontdekte, was het grootste deel van mijn programma al geschreven en ik wilde niet helemaal opnieuw beginnen met de *Preference*-bibliotheek. Daarom besloot ik een externe 32KB-EEPROM (een 24C256) toe te voegen, beheerd door de *SparkFun\_External\_EEPROM*-bibliotheek. Deze chip (die ongeveer 50 cent kost) gebruikt de I<sup>2</sup>C-bus van de ESP32 (SDA op IO21 en SCL op IO22). Door de pinnen A0 en A1 aan massa te leggen wordt het I<sup>2</sup>C-adres van de chip op 0xCo ingesteld. Pin A2 kan open blijven.

Ik wilde van plan maximaal 250 FM-zenders en 250 DAB+ zenders op kunnen slaan. De naam van de zender (maximaal acht tekens voor FM en 16 voor DAB+) en de FM-frequentie, DAB+ multiplex en het zendernummer worden voor elke zender opgeslagen. Daarnaast zijn 10 bytes nodig om de laatst beluisterde zender op te slaan: volume, modus (FM of DAB+), FM-frequentie, DAB+ multiplex en kanaal. Er is dus een minimale geheugencapaciteit nodig van 10 + 13 × 250 (FM) en 20 × 250 (DAB+), dat wil zeggen 8260 bytes ofwel 66.080 bits. Een 16KB-EEPROM van het type 24C128 zou ook groot genoeg zijn geweest.

## Display en toetsenbord

Als display voor de ontvanger gebruikte ik een klein 160 × 128 ST7735S-gebaseerd TFT-kleurendisplay met SPI-bus. Met de uitstekende *Adafruit\_ST7735*- en *Adafruit\_GFX*-bibliotheeken kan dit display gemakkelijk worden aangestuurd. Dit display gebruikt vier pinnen van de ESP32: MOSI (IO23) en SCK (IO18) van de SPI-poort, CS (IO12) en A0 (IO25). De Adafruit-driver kan ook het RST signaal aansturen, maar om een poort te sparen heb ik *TFT\_RST* op -1 gezet (in de *Screen Connections*-declaratie van de software) en ik heb het rechtstreeks verbonden met de reset-pin van de ESP32 (EN).

Merk op dat de SDA- en SCL-markering op het scherm (zoals weergegeven in figuur 2) nogal verwarrend is, aangezien het inderdaad de SPI-bus is (zonder MISO) die het scherm aanstuurt.

De voeding van het display wordt ontkoppeld door C2 en C3, en de achtergrondverlichting is altijd aan (LED-pin ligt vast aan +3,3 V). De radio wordt met zeven drukknoppen bediend: volume op/nee (VOL+/VOL-), kanaal op/nee (CH+/CH-), kiezen (SEL), modus en scannen. Ze zijn verbonden met de +3,3V-voedingsrail via pull up-weerstanden van 10 kΩ.

## DevKitC of Pico-Kit?

Het schema toont een ESP32-Pico-Kit module vanwege het kleine formaat, maar een ESP32-DevKitC kan ook worden gebruikt, zoals ik heb gedaan bij mijn prototype. De ESP32-DevKitC heeft echter geen IO37 en IO38 aan boord. In plaats daarvan moeten IO16 en IO17 worden gebruikt, die op hun beurt niet beschikbaar zijn op de ESP32-Pico-Kit. Het is daarom noodzakelijk om de juiste module te selecteren in de software alvorens deze te compileren (regels 76 en 77 op het moment van schrijven). Voor de DevKitC gebruik je:

```
//#define ESP32_PICO
#define ESP32_DEVKIT
```

Voor de Pico-Kit gebruik je dit:

```
#define ESP32_PICO
//#define ESP32_DEVKIT
```

## Afstandsbediening

De schakeling heeft ondersteuning voor een infrarode afstandsbediening dankzij de VS1838 IR-ontvanger. De voeding daarvoor wordt gefilterd door het netwerkje R3/C1 om beschadigde frames op de uitgang (verbonden met IO15 via een pull up-weerstand van 22 kΩ) te voorkomen. Software-ondersteuning voor de afstandsbediening was bij het schrijven van dit artikel nog niet gereed, maar met een beetje geluk is dat wel het geval tegen de tijd dat je dit leest.

## Het DAB Shield

De Arduino Mo was vroeger de ideale partner voor het DAB Shield, maar die wordt niet meer gemaakt. Daarom wordt in dit project een ESP32-module gebruikt. Het DAB Shield kan eenvoudig door de ESP32 worden aangestuurd, omdat er slechts zeven signalen nodig zijn.

Hoewel het DAB Shield een 5V-voeding nodig heeft, zijn de I/O-lijnen compatibel met 3,3V-niveaus. Aangezien de ESP32-module 3,3 V gebruikt, kunnen de twee zonder *level shifters* worden aangesloten. De IOREF-pin van het shield moet op 3,3 V worden aangesloten om deze compatibiliteit te waarborgen.

Het DAB Shield communiceert met de ESP32 via de SPI-bus (MOSI, MISO en SCK). De *DABShield*-bibliotheek staat alleen toe het pinnummer van het CSSB-sigitaal te veranderen (ik heb IO13 gebruikt). De signalen INT, PWEN, RST moeten worden aangesloten op respectievelijk poorten IO26, IO27 en IO14.

## Voeding

De +5V-voeding voor de FM/DAB+ ontvanger komt binnen op connector K4. Er is geen ompoolbeveiliging, dus wees voorzichtig (je kunt natuurlijk zelf zoiets toevoegen). C5 en C6 zorgen voor wat ruisfiltering en LED1 (groen) dient als aan/uit-indicator.

De tweepolige printkroonsteen (K5) is bedoeld voor de voeding van een optionele versterkerprint (zie verderop). Als er geen externe versterker wordt aangesloten, is een voeding van 5 V/500 mA voldoende, omdat we de energievretende WiFi van de ESP32 niet

gebruiken. Als je echter de optionele versterker aansluit, heb je minstens een voeding van 5 V/2 A nodig.

### Optionele versterkerprint

Positief verrast door de geluidskwaliteit van de Nintendo Wii-spelconsole, ging ik op onderzoek uit en ontdekte dat deze een PAM8302 3 WRMS klasse D-versterker aan boord heeft. Deze versterker is gemakkelijk online verkrijgbaar, gemonteerd op een klein printje; daarom sloot ik twee van deze modules aan op de FM/DAB+ ontvanger (zie **figuren 3 en 4**). De geluidskwaliteit is geweldig (met goede luidsprekers natuurlijk).

De audio-uitgang van het DAB Shield wordt aangesloten op de versterker via een korte kabel met een 3,5 mm stereo-klinksteker aan elk uiteinde. De toetsen VOL+ en VOL- regelen het volume.

### De software-ontwikkelomgeving

Voor de ontwikkeling van de software van de FM/DAB+ ontvanger heb ik de Arduino IDE gebruikt. Na het instellen voor gebruik met ESP32-modules, moet je de volgende parameters selecteren:

- ESP32 Dev Module
- 240-MHz CPU-frequentie
- Partitieschema: standaard 4 MB met SPIFFS

Je moet een paar externe bibliotheken installeren; ik heb in de broncode aangegeven waar je die kunt vinden:

- DABShield
- Adafruit\_GFX
- Adafruit\_ST7735
- SparkFun\_Extern\_EEPROM

Na selectie van de juiste seriële poort zou het compileren en uploaden naar de ESP32-module zonder problemen moeten verlopen.

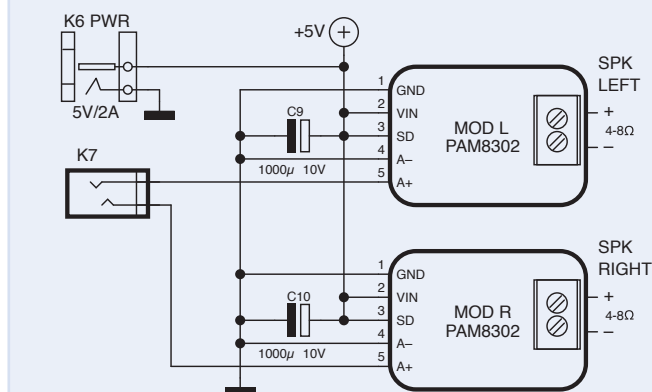
### De software

Voordat ik er dieper op inga, wil ik eerst zeggen dat het schrijven van software niet mijn beste vaardigheid is. (Ik ben wat je noemt meer hardware-georiënteerd.) Dus bij voorbaat dank ik iedereen die geïnteresseerd is in mijn project en bereid en in staat is mijn werk uit te breiden of te verbeteren wat ik beter had moeten doen. Dat gezegd hebbende, mijn programma (v1.63 op het moment dat ik deze regels schrijf [2]) werkt uiterst betrouwbaar zonder enige storing waar ik weet van heb.

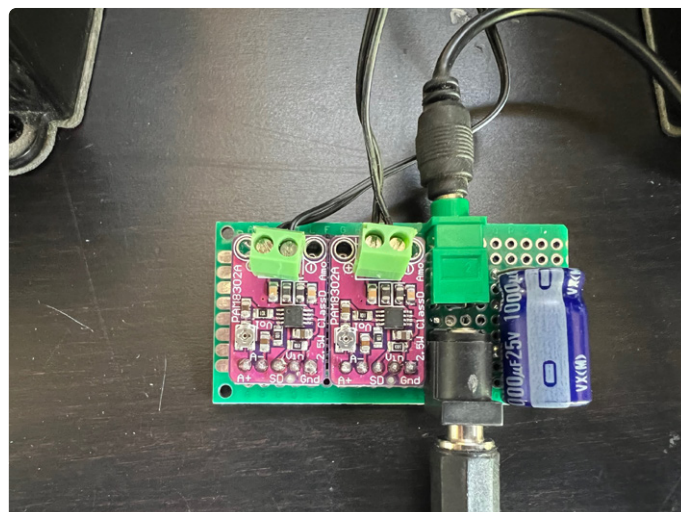
De software is vrij uitgebreid gedocumenteerd, en na het lezen van het onderstaande zou alles vrij begrijpelijk moeten zijn. Het is leerzaam om de uitgang van de seriële poort van de ESP32 in de gaten te houden, omdat er veel debug-informatie wordt verstuurd. Bij het inschakelen toont het scherm de verbindingstatus van de Si4684-componenten en de seriële EEPROM (**figuur 5**). Als er een probleem is, wordt een foutmelding getoond en 'hangt' het programma.

### Formatteren van de EEPROM

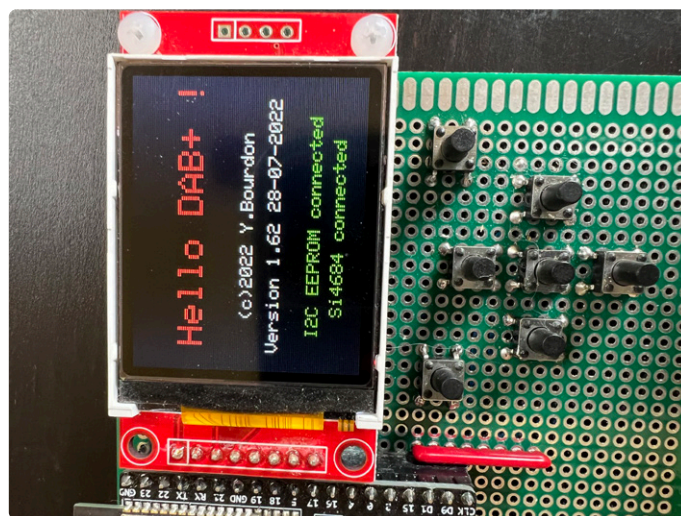
Wanneer het programma voor de eerste keer wordt gestart, moet de EEPROM worden geformatteerd. Houd hiervoor de SEL-toets



Figuur 3. Schema van de optionele versterkerprint.



Figuur 4. De versterker is hier gemonteerd op gaatjesprint.

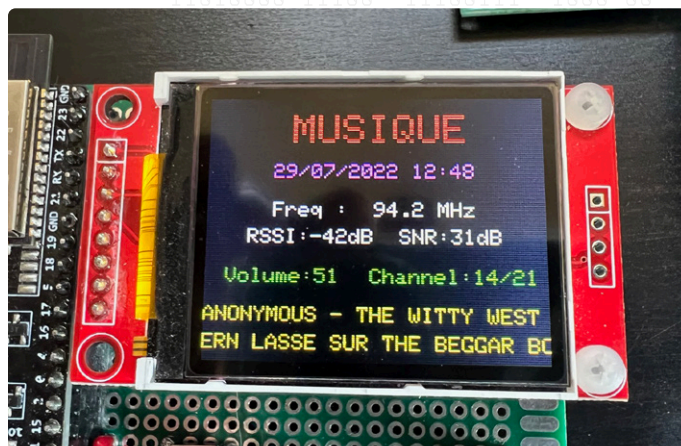


Figuur 5. De softwareversie en de verbindingstatus van de hardware worden aangegeven.





Figuur 6. Hier zien we dat de multiplex MARSEILLE 8A is gevonden en dat deze 13 stations bevat. HELLO PROVENCE is het eerste.



Figuur 7. Op het kleine kleurendisplay wordt vrij veel informatie getoond.

ingedrukt terwijl je de ontvanger inschakelt. Wanneer het display “Init EEPROM...” toont, kun je de SEL-toets loslaten. De initialisatie duurt ongeveer vijftien seconden.

## De gebruikersinterface

Ik wilde een reactieve en prettig te gebruiken gebruikersinterface. De toetsen worden elke 200 ms gescand. Dit maakt herhaalde toetsaanslagen mogelijk terwijl de toets ingedrukt blijft en vermijdt contactdender (variabele `debounceDelay`).

Met de Mode-toets schakel je tussen FM en DAB+ (`dabMode` in de software). Als er geen zender is opgeslagen in de geselecteerde modus, wordt gevraagd op de Scan-toets te drukken (figuur 6).

## Zenders sorteren

In de DAB+ modus (`DAB_scan` in het programma) worden alle multiplexes gescand, en indien zenders worden gevonden (met een RSSI groter dan -30 dB), worden ze opgeslagen.

Ook al stuurt elke multiplex de stations in alfabetische volgorde, moeten alle gevonden stations toch in alfabetische volgorde worden gesorteerd aangezien er meerdere multiplexen zijn (`sortStations` in het programma). Soms worden twee identieke stations gevonden bij twee verschillende multiplexes, maar omdat de ontvangstkenmerken niet dezelfde zijn, heb ik besloten niets uit te filteren (met 83 stations heb ik dit slechts één keer meegemaakt). Als de naam van een station niet wordt gevonden, omdat het veld om een of andere reden leeg is gelaten, vervangt het programma het door ‘Unknown?’. Omwille van de prestaties worden de stations eerst opgeslagen en gesorteerd in RAM voordat ze naar EEPROM worden gekopieerd (`saveDABchannelToEEPROM`).

## FM scannen

In de FM-modus liggen de zaken wat ingewikkelder. Het scannen gaat inderdaad erg snel (`FMscan`) en alle frequenties tussen 87,5 MHz en 108 MHz met een signaal van meer dan -30 dB worden opgeslagen. In dit stadium worden echter geen zendernamen gevonden. Daarom worden aan het einde van de scan de opgeslagen frequenties één voor één geselecteerd, en de door de zender uitgezonden RDS-gegevens (onder andere tijd en zendernaam) worden gecontroleerd. Als een naam wordt gevonden, wordt deze in RAM opgeslagen met de bijbehorende frequentie. Indien na 30 seconden geen naam is gevonden, wordt deze op ‘Unknown?’ gezet. Aangezien dit proces lang kan duren (ik ontvang hier in Aix-en-

Provence 27 FM-zenders, en de scan kost maximaal 30 s per zender), kun je het op elk moment onderbreken door op de toets Scan te drukken.

Wanneer het zoeken naar namen wordt gestaakt (normaal, of omdat je het voortijdig hebt gestopt), wordt een alfabetische sortering gestart in het RAM en worden het zendernummer, de frequentie en de naam opgeslagen in EEPROM (`addStation`).

Wanneer een zender wordt geselecteerd, wordt zijn RDS-status opnieuw gelezen (`Dab.task`), en als de gevonden naam niet overeenkomt met de naam in het geheugen, wordt de nieuwe naam in de EEPROM opgeslagen. Dit gebeurt bijvoorbeeld wanneer ‘Unknown?’ wordt weergegeven omdat de naam niet is gevonden tijdens de scan of omdat de RDS-naam is veranderd. (Het is nogal vervelend dat sommige stations de naam gebruiken om informatie zoals de titel van het nummer weer te geven, terwijl RDS juist daarvoor een dataveld heeft).

Vervolgens kun je in de FM- of DAB+-modus door de zendernamen bladeren (hou je vinger op CH+ of CH-) en de gekozen zender selecteren met de SEL-toets (`FMsetChannel` of `DAB_SetChannel`). Het display toont de details van de ontvangen zender, inclusief de tijd en aanvullende informatie (wordt om de 30 seconden ververs, figuur 7).

Steeds wanneer de radio wordt ingeschakeld, wordt de EEPROM gelezen (`lastEEPROM`) waarmee de laatst beluisterde zender (DAB+ of FM) met het bijbehorende volume kan worden gevonden.

Ik heb er bewust voor gekozen om geen Add Station menu te implementeren. Dit zal moeten wachten tot ik de software voor de afstandsbediening heb geschreven, en waarin ik onder andere deze functie wil toevoegen.

## Radio compleet

Het is me eindelijk gelukt om de radio te bouwen die ik wilde. Hij is zeer praktisch in gebruik en staat trots op mijn bureau. Zonder gebruikshandleiding gebruikt mijn gezin de radio ook, wat een goed teken is. En het deed ons snel beseffen dat we bijna altijd naar dezelfde zender luisteren (een goede zaak dat ik voor 500 zenders geheugen heb gereserveerd).

Ik dank Adrian van AVIT Research, mijn vriend Stephan Calderoni die me hielp met de sorteerfunctie voor stationsnamen en Elektor voor de publicatie van dit artikel en voor het hertekenen van mijn met de hand getekende schema's. Dank ook aan Adafruit voor het publiceren van al hun bronnen en schema's.



Ik hoop dat ik met dit artikel de passie die mij van jongs af aan heeft gedreven en die ik nu, op 64-jarige leeftijd, nog steeds heb, met enkele lezers kan delen 

220249-03

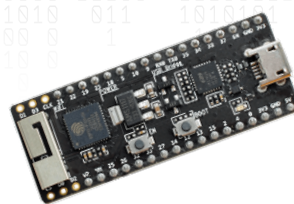
## DAB+ in Frankrijk

In Frankrijk (dat achterloopt op zijn buurlanden) zijn DAB+ uitzendingen toegestaan sinds 15 juli 2021, en in 2023 zou 40% van de Franse bevolking DAB+ moeten kunnen ontvangen. Momenteel is de dekking van DAB+ in Frankrijk nogal mager, zeker als je weet dat de radio's van nieuwe auto's sinds juli 2020 DAB+ compatibel moeten zijn, een eis die sinds december 2019 ook geldt voor alle andere radio's die in Frankrijk worden verkocht. Dit zal de invoering zeker versnellen. Waarschijnlijk zal FM in Frankrijk geleidelijk verdwijnen, zoals nu al het geval is in Zwitserland, Engeland en Noorwegen.

Voor Nederland wordt inmiddels een dekking van meer dan 97% aangegeven; nadere informatie op <https://digitalradio.nl/ontvangst/>

## Vragen of opmerkingen?

Hebt u technische vragen of opmerkingen over dit artikel? Stuur een e-mail naar de auteur via [yb.electronique@orange.fr](mailto:yb.electronique@orange.fr) of naar de redactie van Elektor via [redactie@elektor.com](mailto:redactie@elektor.com).



## GERELATEERDE PRODUCTEN

- > **ESP32-Pico-Kit (SKU 18423)**  
[www.elektor.nl/18423](http://www.elektor.nl/18423)
- > **Elektor Raspberry Pi RTL-SDR Kit (SKU 19518)**  
[www.elektor.nl/19518](http://www.elektor.nl/19518)

## WEBLINKS

- [1] B. Kainka, "Elektor DSP-radio", Elektor juli/augustus 2010:  
[www.elektormagazine.nl/magazine/elektor-201007/16046](http://www.elektormagazine.nl/magazine/elektor-201007/16046)
- [2] Downloads en updates:  
[www.elektormagazine.com/labs/radio-dab](http://www.elektormagazine.com/labs/radio-dab)

Advertentie

# GateMate FPGA

## De eerste FPGA „Made in Germany“

- Innovative architectuur met nieuw programmeerbaar element
- Logische capaciteit vanaf 20.480 logische elementen
- GlobalFoundries™ 28 nm SLP proces

Smart. Innovatief. Kostenefficiënt.



Supported by:  
Federal Ministry  
for Economic Affairs  
and Energy  
  
on the basis of a decision  
by the German Bundestag



[www.colognechip.com](http://www.colognechip.com)



Foto: breakermaximus/Shutterstock

## Uit het leven gegrepen

elektronica obscura

Ilse Joostens (België)

De tijd gaat snel en intussen ligt alweer aflevering dertien van deze column voor u. Nu ook het donkere jaargetijde weer aangebroken is, lijkt het mij de ideale gelegenheid om een wat meer duistere kant van de elektronica te belichten. Mijn excuses als de titel u op het verkeerde been heeft gezet, maar ik ga het deze keer dus niet hebben over elektronische muziek.

Mijn ouders, en vooral mijn vader dan, waren onverbeterlijke hypochonders en niet alleen passeerden diverse enge ziekten met regelmaat de revue, al dan niet met de medische encyclopedie in de hand, maar ook de wijze waarop minder fortuinlijke dorpsgenoten en bekenden het hoekje waren omgegaan was een favoriet gespreksonderwerp. De buurvrouw taterde regelmatig vrolijk mee waarbij de meest gruwelijke details niet geschuwd werden. Het zal u dus niet verba-

zen dat ik in mijn jeugd behoorlijk wat angsten heb moeten doorstaan en dat ik altijd al een ongezonde fascinatie heb gehad voor geesten en het paranormale.

### Instrumentele transcommunicatie

In mijn speurtocht naar een hiernamaals ben ik vele jaren geleden zelfs korte tijd lid geweest van een paranormale vereniging en heb ik mij af en toe aan 'spoken-

jagen' gewaagd, gewapend met een digitale compactcamera en een dictafoon met micro-cassettes. De digitale techniek was toen nog niet zo ver gevorderd maar toch stonden er al diverse schema's en bouwbeschrijvingen op het internet van eenvoudige ontwerpen zoals een Raudive-diode tot meer complexe 'spirit boxes'. Die laatste is in wezen een combinatie van een witte-ruisgenerator en een defecte radio-ontvanger. Met deze toestellen zou je stemmen van overledenen en andere entiteiten kunnen oppikken en zou zelfs tweerichtingscommunicatie tot de mogelijkheden behoren voor de meer gevorderde gebruiker [1]. De paranormale vereniging waarschuwde onder andere in haar ledenblad dat contact zoeken met entiteiten best gevaarlijk kan zijn zonder de noodzakelijke ervaring en ik heb die ontwerpen nooit durven nabouwen. Je zou maar eens, zoals in de betere horrorklassieker, ongewild een kwade geest in huis halen met alle gevolgen van dien...

De resultaten van mijn persoonlijke queeste vielen eerder tegen hoewel ik een paar vreemde foto's had gemaakt, maar niets dat uiteindelijk niet op een meer aardse manier te verklaren viel. Het paranormale was reeds geruime tijd uit mijn gedachten gegaan en ik was hier helemaal niet meer mee bezig tot ik

op een keer de vraag kreeg van het Elektor Lab om iets te ontwerpen met een geofoon [2]. Dit is een speciale microfoon die trillingen en geluidsgolven vanuit de aarde oppikt en die gebruikt wordt voor seismologisch onderzoek maar ook voor de zoektocht naar delfstoffen zoals aardolie en aardgas. Niet alleen zijn deze behoorlijk aan de prijs, maar niet altijd even eenvoudig te vinden. In mijn zoektocht naar een leverancier kwam ik er zo achter dat die dingen ook vrolijk door paranormaal onderzoekers gebruikt worden om trillingen te detecteren tijdens het spokenjagen. Blijkbaar is paranormaal onderzoek tegenwoordig *hot* en het internet bulkt van de shops die hiervoor de nodige apparatuur aanbieden zoals EVP-recorders, EMF-detectoren, spirit boxes, spirit pods, UV-lampen, infrageluidgeneratoren, infraroodlampen, trillingsdetectoren, speciale 'full-spectrum' camera's en zelfs thermische camera's, je kan het zo gek niet bedenken. Voor de echte die-hard fans worden zelfs complete cursussen aangeboden zoals een opleiding tot 'paranormaal onderzoeker niveau 1'.

Ook Elektor had een eigen spook toen het lab zich nog in het kasteel van Limbricht bevond en de *League of Paranormal Investigators* heeft daar in 2013 onderzoek verricht waarbij vreemde geluiden zouden zijn waargenomen en een onderzoekster zelfs krassen op haar rug had opgelopen [3][4]. Ikzelf ben meerdere keren in het kasteel van Limbricht



geweest, ook tijdens de late uurtjes, en heb daar nooit iets vreemd opgemerkt en al zeker niets bedreigend. Nu ik het over Elektor heb, moet ik aan de chaos-machine [5][6][7] van eind 2011 terugdenken. Wie graag eens verantwoord – lees: risicoloos – wil griezen met poltergeistgeluiden moet deze zeker nabouwen!

### Kwakzalverij en pseudowetenschap

Ik ben een beetje een geschiedenisfanaat en ik verkneukel mij zo nu en dan aan de gymtoestellen van Dr. Gustav Zander [8] van eind de 19de eeuw. Deze 'foltertuigen' zijn niet alleen grappig maar tegelijk op hun manier ook griezelig. Dat was ook de tijd van de Victoriaanse post-mortemfotografie en de opkomst van talrijke vreemde elektrische apparaten voor elektrotherapie of voor het kalmeren van

hysterische vrouwen, met de 'violetwand' of 'neonwand' van begin de 20ste eeuw als illustratie voorbeeld. Verdere details over dit vreemde toestel zijn niet zo voor publicatie in dit blad geschikt, maar niets houdt u tegen om zelf een en ander uit te zoeken.

In mijn jeugd waren aardstralen dan weer een hype en naast de verkoop van speciale dure aardstralenkastjes met een spoel en een condensator om deze schadelijke stralen te neutraliseren [9], werden er zelfs in de damesbladen hele artikelen aan gewijd. Intussen zouden we toch beter moeten weten maar niets is minder waar, helaas... Toen ik enige jaren geleden surplus elektronica-onderdelen bestelde in de Verenigde Staten vond ik in de verpakking ook wat reclame met links naar websites. Een van de links ging naar een website met allemaal vreemde amateuristisch opgebouwde elektronische schakelingen op breadboards met sigarenkistjes als behuizing. Deze 'bouwsels' zouden niet alleen helpen bij tal van ziekten en klachten, maar vooral de verkoper werd er beter van met gemiddelde verkoopprijzen van meer dan duizend dollar voor zo'n sigarenkistje. Ook dichterbij huis was ik behoorlijk geschrokken toen ik erachter kwam dat één van mijn vroegere leveranciers nu vooral Schumann-resonantiegeneratoren verkoopt. Je zou er niet alleen kalm van worden, ook muziek zou beter klinken. Voer voor audiofielen dus... 

220383-03

## WEBLINKS

- [1] Wikipedia: Electronic voice phenomenon: [https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic\\_voice\\_phenomenon](https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_voice_phenomenon)
- [2] Wikipedia: Geophone: <https://en.wikipedia.org/wiki/Geophone>
- [3] "Rapport bevestigt vermoedens: het spookt op Kasteel Limbricht", Dichtbij.nl: <https://www.dichtbij.nl/2987065/fotos-geluidsopnamen-rapport-bevestigt-vermoedens-het-spookt-op-kasteel-limbricht>
- [4] L1 Nieuws Limburg - LPI-International in Kasteel Limbricht: <https://www.youtube.com/watch?v=SO41c5FYXao>
- [5] Maarten Ambaum, "De chaos-machine (1): analoog rekenen herontdekt", Elektor 9/2011: <https://www.elektormagazine.nl/magazine/elektor-201109/16434>
- [6] Maarten Ambaum, "De chaos-machine (2): analoog rekenen herontdekt", Elektor 10/2011: <https://www.elektormagazine.nl/magazine/elektor-201110/16449>
- [7] Angel of Lorenz: <https://www.youtube.com/watch?v=fXQRKR-KZrw>
- [8] The world's first gym machines designed by Dr. Gustav Zander, 1892: <https://rarehistoricalphotos.com/first-gym-machines-zander/>
- [9] "De terugkeer van de aardstralen", skepsis.nl: <https://skepsis.nl/stralen/>





# De oorzaak van software-bugs draadloos opsporen

circulaire buffer en webserver op de ESP32

**Laurent Labbe (Hong Kong)**

Het loggen van debug-gegevens van een microcontroller op een laptop is niet altijd even makkelijk. Of je hebt geen reserve-laptop bij de hand, of het ontwikkelboard bevindt zich op een moeilijk bereikbare plaats. Dit Elektor Labs-project lost dit probleem niet alleen op met een groot buffergeheugen voor debug-data en een WiFi-verbinding. Het heeft ook een 3D-printbare behuizing en is in hoge mate uitbreidbaar.

De ontwikkeling van software voor microcontrollers is vaak een uitdaging. Op enkele uitzonderingen na bieden microcontrollers een soort debug-oplossing waarmee de processor kan worden gestart en gestopt en waarmee de inhoud van variabelen en registers kan worden onderzocht. Dit helpt bij het vaststellen van de oorzaak van een probleem. Veel maker-boards, zoals Arduino Uno en BBC micro:bit, bieden die ondersteuning echter niet van huis uit, waardoor de ontwikkelaar herhaaldelijk code moet bewerken en downloaden tot de oorzaak van het probleem is gevonden. Maar debuggers zijn niet altijd het wondermiddel dat ze lijken te zijn. Bij het ontwikkelen van real-time code voor Ethernet, WiFi of USB, of in toepassingen zoals motorbesturing, kun je de microcontroller niet zomaar halverwege stoppen. Dit resulteert in een

onderbreking van de communicatie en kan zelfs schade toebrengen aan de voedingsschakeling als een MOSFET in ingeschakelde toestand komt.

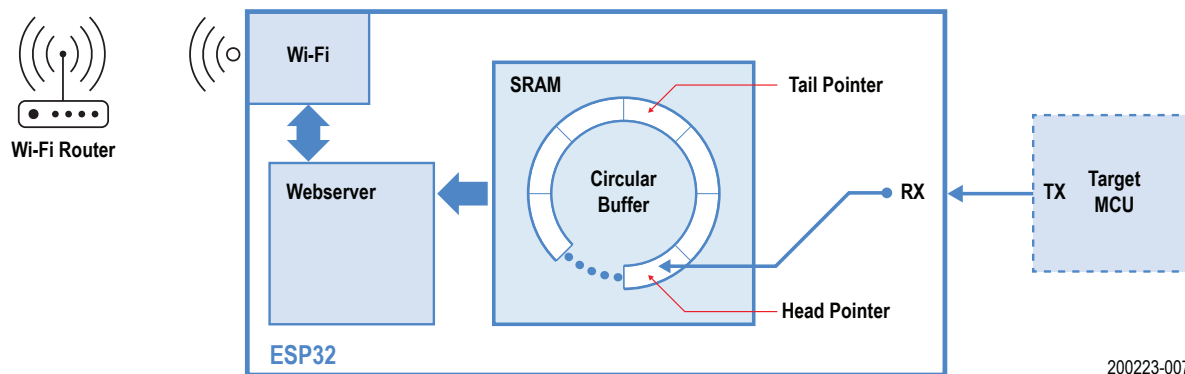
Dankzij het gemak waarmee een seriële uitgang kan worden ingericht op maker-boards, voegen de meeste ontwikkelaars een tekst-gebaseerde debug-output aan hun code toe waarmee berichten via USB naar een terminal op een PC worden gestuurd. Wanneer de uitvoer na een testrun wordt geanalyseerd, kan de ontwikkelaar het door de code gevolgde pad traceren, vandaar dat deze methode van debuggen van code bekend staat als 'software trace'. Dit maakt ook het debuggen mogelijk van toepassingen die tijdens de uitvoering niet kunnen worden gestopt.

## Het project

Laurent Labbe, geen onbekende op Elektor Labs, gebruikt vaak een seriële interface voor het traceren van de uitvoering van embedded code, maar heeft niet altijd een laptop bij de hand om de berichten te loggen. Daarom begon hij over een alternatief na te denken. Gewapend met een ESP32, een OLED-display en een 3D-printer bedacht hij het project "Wireless trace for debug" [1].

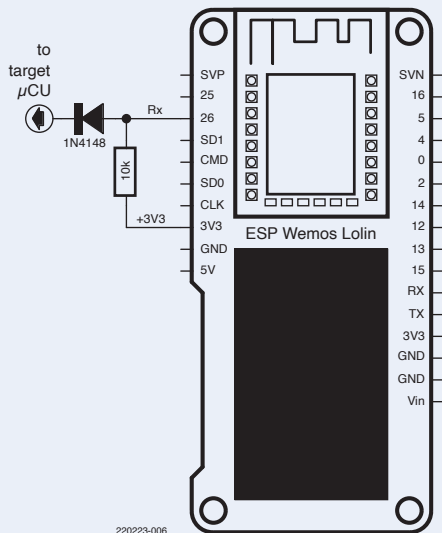
Hier wordt een ESP32 als buffer gebruikt voor debug-berichten, verbonden met de target-controller via een seriële interface; de buffer is toegankelijk via WiFi en een webserver (**figuur 1**).

De enorme hoeveelheid SRAM op de ESP32 maakt het mogelijk om een grote circulaire buffer te implementeren. Laurent's projecten gebruiken gewoonlijk een lage snelheid van 9600 baud, maar dit kan worden aangepast. Telkens wanneer een karakter wordt ontvangen, wordt het in de kop van de circulaire buffer gepusht. De buffer is 65530 bytes (unsigned char) groot, zodat er voldoende ruimte is voor het verzamelen van trace-berichten. *Serial1* wordt geïnitieerd voor het verzamelen van gegevens via pinnen 25

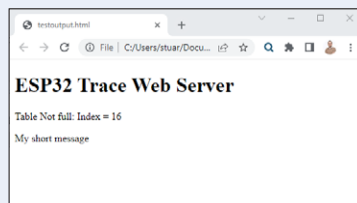


200223-007

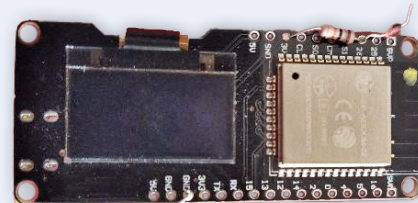
Figuur 1. Dit vereenvoudigde blokschema toont hoe inkomende seriële gegevens worden opgeslagen in de circulaire buffer. Op verzoek worden de gegevens via de WiFi-interface opgehaald in de vorm van een webpagina.



Figuur 2. Op deze manier kan een 5V-microcontroller op de 3,3V-ESP32 worden aangesloten.



Figuur 3. Een voorbeeld van de webpagina-uitvoer.



Figuur 4. De ESP32 compleet met 5V-interface.



Figuur 5. Een draadloze seriële debugger compleet met 3D-geprinte behuizing.

en 26 (respectievelijk TX en RX), hoewel alleen de RX-pin nodig is. Omdat de ESP32 op 3,3 V draait, heeft Laurent een weerstand/diode-netwerkje opgenomen om 5,0 V microcontrollers te kunnen aansluiten op de seriële interface (figuur 2).

Zoals gezegd maakt het project gebruik van de WiFi-functionaliteit van de ESP32, en dat is waar dit ontwerp uniek is. Na registratie bij het netwerk, zoals gedefinieerd in de code, kan elke lokale laptop of mobiel apparaat toegang krijgen tot een webpagina die door de ESP32 wordt aangeboden. De ESP32 levert vervolgens een eenvoudige pagina met de huidige inhoud van de circulaire buffer (figuur 3).

## Tweede netwerk, seriële interface en display

Er zijn nog een paar andere coole functies ingebouwd in de code. Zo worden bijvoorbeeld een tweede SSID en wachtwoord voor een alternatieve WiFi-router ondersteund. Mocht de eerste verbinding om welke reden dan ook uitvallen, dan probeert de ESP32 automatisch verbinding te maken met het reserve-apparaat. Met mogelijk uren of dagen aan gegevens die op het apparaat zijn opgeslagen, biedt dit meer zekerheid bij het ophalen van de trace-berichten. De webserver gebruikt standaard poort 80, maar bij de initialisatie kan een alternatieve poort worden gedefinieerd.

De circulaire buffer implementeert ook 'wrap-around'. Mocht de buffer dus helemaal vol zijn, dan overschrijven nieuwe binnenkomende berichten de oudste gegevens. Voor de duidelijkheid levert de webpagina dan een toepasselijk bericht voordat de inhoud van de circulaire buffer van oud naar nieuw wordt weergegeven.

De ESP32 voert ook berichten uit via de seriële interface (via USB), zodat debugging van de code van dit project mogelijk is. Debug-berichten die via `Serial1` worden ontvangen, worden naar `Serial` uitgevoerd zodat ze direct zichtbaar zijn. Alle gegevens die via de `Serial` interface worden ontvangen, worden ook in de circulaire buffer geplaatst.

Informatie over het IP-adres en andere relevante details worden uitgevoerd naar een I<sup>2</sup>C-gebaseerd OLED-display aangesloten op pinnen 4 en 5. Het gebruikte display is de SSD1306 van Adafruit (samen met hun driver en GFX grafische bibliotheken).

Laurent gebruikte een WeMos Lolin32 OLED (figuur 4, het board is gebaseerd op de ESP32-WROOM-32 module met extra elektronica) om de USB-naar-UART-interface en ondersteuning voor het

aansluiten en opladen van een LiIon/LiPo-batterij te implementeren. Samen met zijn 3D-geprinte behuizing, waarvoor een CAD-bestand wordt meegeleverd, kan deze draadloze debug trace-tool bijna overal worden ingezet om autonoom gegevens van een target te verzamelen (figuur 5).

## Opties

Het fraaie van dit project is de combinatie van eenvoud en uitbreidbaarheid. De functionaliteit van de code is duidelijk, waardoor het voor ervaren ontwikkelaars eenvoudig is om dit project uit te breiden en aan te passen. Het is bijvoorbeeld niet moeilijk om het beschikbare SRAM uit te breiden met externe apparaten, en je zou zelfs de trace-berichten op een SD-kaart kunnen opslaan. De seriële interface-snelheden voor het loggen van gegevens kunnen ook worden aangepast, of in plaats daarvan kunnen gegevens van een I<sup>2</sup>C- of SPI-interface worden verzameld. En als je berichten een beetje opgeleukt moeten worden, dan kun je de juiste HTML of CSS invoegen voor het genereren van webpagina's. ◀

200223-03

## Vragen of opmerkingen?

Hebt u technische vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar de redactie van Elektor via [redactie@elektor.com](mailto:redactie@elektor.com).



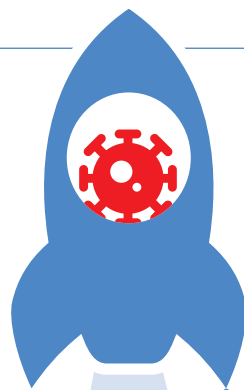
## GERELATEERDE PRODUCTEN

> **WeMos Lolin ESP32 with OLED Display Module (SKU 18575)**  
[www.elektor.nl/18575](http://www.elektor.nl/18575)

## WEBLINK

[1] Projectpagina op Elektor Labs:  
[www.elektormagazine.com/labs/wireless-trace-for-debug](http://www.elektormagazine.com/labs/wireless-trace-for-debug)

# Heeft Covid de innovatie gestimuleerd?



innovatieve componenten en oplossingen uit 2022

De Covid19-pandemie heeft technici en managers in de elektronica-industrie voor grote uitdagingen gesteld. Maar ondanks alle personeels-, logistiek- en toeleveringsproblemen blijft de innovatie doorgaan. We bekijken hier een aantal opvallende nieuwe componenten en oplossingen.

**Stuart Cording**  
(Elektor)

De afgelopen twee jaar was het niet gemakkelijk om aan componenten te komen, maar dit jaar zien we op de vakbeurzen dat de ontwikkelteams intussen zeker niet hebben stilgezeten. Natuurlijk is men enthousiast omdat we elkaar eindelijk weer in levenden lijve kunnen ontmoeten, maar als we goed naar de producten kijken, zien we duidelijke vooruitgang. En dat zien we bij alle productcategorieën, van kleine analoge schakelingen tot kolossale apparatuur voor de automotive industrie.

## Functionaliteit en veiligheid voor automotive

Het is allang duidelijk dat de toekomst van de automotive industrie ligt in het verkopen van software die verpakt is in een mechanisch product. De *software-defined car* maakt dat werkelijkheid: voertuigen waarvan de software tijdens de levensduur van updates en nieuwe functionaliteit kan worden voorzien. BMW heeft in het Verenigd Koninkrijk al aangekondigd *features-as-a-service* te gaan leveren, zoals stoelverwarming tegen een maandelijkse betaling [1]. Dat betekent een grote verandering in de ontwikkeling

van voertuigelektronica, vooral wat de software betreft. Er wordt geen elektronische besturingseenheid (ECU) voor elke afzonderlijke functie gebruikt, zoals voor de bediening van een venster, maar verschillende functies worden geïntegreerd in een handvol krachtige centrale besturingseenheden. De communicatie verloopt via automotive Ethernet, een nieuwe single-pair implementatie van het bekende netwerkprotocol, rondom een high-performance computer (HPC). Maar die benadering mag de ASIL-veiligheidseisen [2] natuurlijk niet in de weg staan.

Dat brengt ons bij de lancering van de indrukwekkende S32Z en S32E real-time processoren van NXP (**figuur 1**). Om te beginnen bieden ze een uitgebreid assortiment van processoren om het deterministische gedrag van de auto bij kloksnelheden tot maar liefst 1 GHz te realiseren, ongekend snel voor een ASIL D-apparaat. Acht Arm Cortex-R52's doen het zware werk, soms onafhankelijk en soms gesynchroniseerd. Eén lockstep Arm Cortex-M33 verzorgt het systeemmanagement, terwijl twee andere zorgen voor de versnelling van de CAN FD-voertuigcommunicatie. Een laatste Arm Cortex-M7 verzorgt de *hardware security engine* (HSE), een essentieel blok voor de veiligheid van het systeem.

## Core-to-Pin virtualisatie

De chips gebruiken een hypervisor om ondersteuning van meerdere functies in één enkel System-on-Chip (SoC) te realiseren. Zo kunnen meerdere besturingsystemen (OS) op het SoC draaien, zonder dat ze elkaar in de weg zitten (typisch POSIX en AUTOSAR [3]). De processoren van servers met hypervisors maken gebruik van een *memory management unit* (MMU) om



de besturingssystemen te scheiden, in combinatie met slimme software voor het toewijzen van, bijvoorbeeld, het juiste USB-apparaat aan het juiste OS of het delen van de Ethernet-poort. Maar bij de S32Z en S32E ligt dat anders.

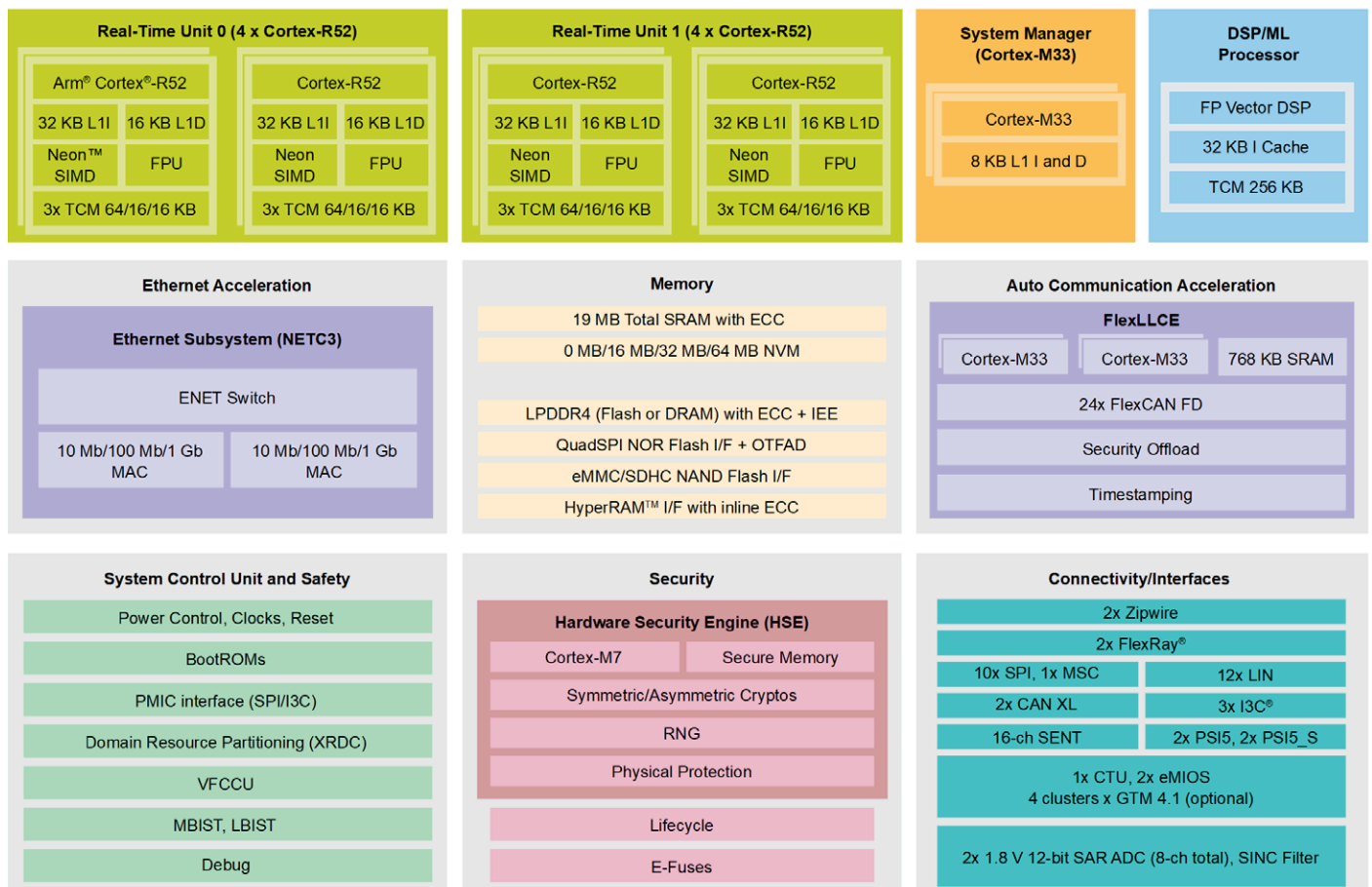
Virtualisatie van core naar pin wordt ondersteund, wat betekent dat de toewijzing van periferie aan een specifiek OS in hardware gebeurt. Dit vereenvoudigt de toewijzing, vermindert de software-overhead, en garandeert dat een fout in één OS geen invloed heeft op een ander OS. Ook de universele IO-lijnen (GPIO's) worden ondersteund met groepen bits in registers die als een apart virtueel register werken met alleen de pinnen die door een bepaald OS worden gebruikt. Het huidige chip-portfolio is ontworpen met behulp van 16nm-technologie, maar Brian Carlson, Director Global Product and Solutions Marketing, vertelde dat de ontwikkeling in de richting van 5nm-technologie gaat. De industrie heeft het belang van deze chips erkend. Axel Aue, VP of Engineering bij Bosch, vertelt: "[deze chips] presteren tweemaal zoveel als embedded NVM MCU's." De chips hebben de Embedded World 2022 Award gekregen in de categorie hardware. Ze zijn dus een belangrijke technologie nu voertuigen steeds elektrischer en elektronischer worden.

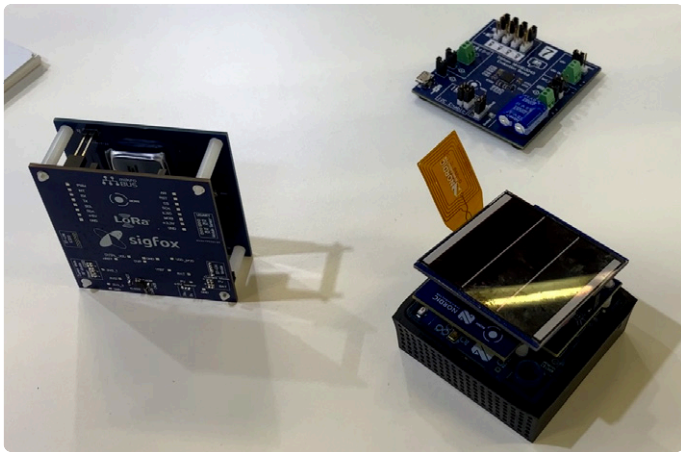
## Single-pair ethernet voor industriële netwerken

Als we kijken naar de wirwar van kabels en connectoren in fabrieken, wordt meteen duidelijk dat er ruimte is voor optimalisatie. Er kan uit een overvloed aan veldbussen worden gekozen op basis van prijs, veiligheidseisen en geschiktheid voor een specifieke toepassing. De meeste daarvan ondersteunen geen multidrop, zodat er veel kabels naar één enkele PLC worden geleid. Wellicht kan er wat orde gebracht worden met multidrop single-pair Ethernet (SPE), zoals gedefinieerd in enkele uitbreidingen van de bestaande Ethernet-standaarden.

Tot nu toe was de benodigde hardware alleen verkrijgbaar als geïntegreerde periferie in microcontrollers. Maar met de lancering van OnSemi's NCN26010 is een standalone SPE 10BASE-T1S Ethernet-controller met geïntegreerde MAC en PHY verkrijgbaar geworden. Deze chip kan met behulp van SPI worden aangestuurd door een standaard microcontroller of een board zoals de Raspberry Pi waarvoor software-drivers beschikbaar zijn (Linux, FreeRTOS). De controller ondersteunt het standaard-minimum van acht multidrop-nodes over >25 m, maar kan maximaal 40 nodes en grotere afstanden ondersteunen als dat nodig is.

*Figuur 1. De S32-serie real-time processoren van NXP is bedoeld voor de nieuwe software-gedefinieerde automotive architectuur en ondersteunt core-to-pin virtualisatie (bron: NXP).*





Figuur 2. De Diatom PMIC (NH16D3045) van de fabless startup Nowi biedt zeer efficiënte energy harvesting uit verschillende bronnen.



Figuur 3. De oplaadbare, solid state, surface mount CeraCharge-batterij van TDK werkt met een meerlaags lithiumgebaseerde oxidestructuur.

Om betrouwbaar te kunnen werken in een fabriek, waar veel elektrische stoorsignalen zijn, maakt de chip gebruik van verschillende storingsonderdrukkende functies. Nog meer betrouwbaarheid is mogelijk met optionele IEEE-functionaliteit in de MAC, die bekend staat als Physical Layer Collision Avoidance (PLCA). Dit verzorgt een 'round-robin' arbitragemethode die botsingen vermijdt en de benutting van het netwerk tot bijna 100% kan opvoeren.

### Voeding voor IoT

Er komen steeds meer apparaten voor het Internet of Things (IoT), dus ligt het voor de hand dat we ons afvragen of batterijen de beste methode zijn voor de voeding daarvan. Nowi, een kleine fabless halfgeleider-startup in Delft, heeft dit onderzocht. Hun nieuwste voedingsmanagement-IC 'Diatom' (NH16D3045) is een efficiënte energy harvesting-oplossing voor energiezuinige toepassingen (figuur 2). Deze chip kan in slimme wearables en draadloze sensoren micro- of milliwatts peuteren uit bijvoorbeeld zonnepanelen, thermo-elektrische generatoren of piëzo-omzetters. Er zijn al verschillende demo's geconstrueerd, zoals elektronische labels voor supermarkt-schappen en afstandsbedieningen voor TV's.

Figuur 4. Laurens Slats legt uit hoe de IoT Stars-netwerkevents mensen bij elkaar brengen om te onderzoeken welke problemen overal in de IoT-industrie de kop opsteken.



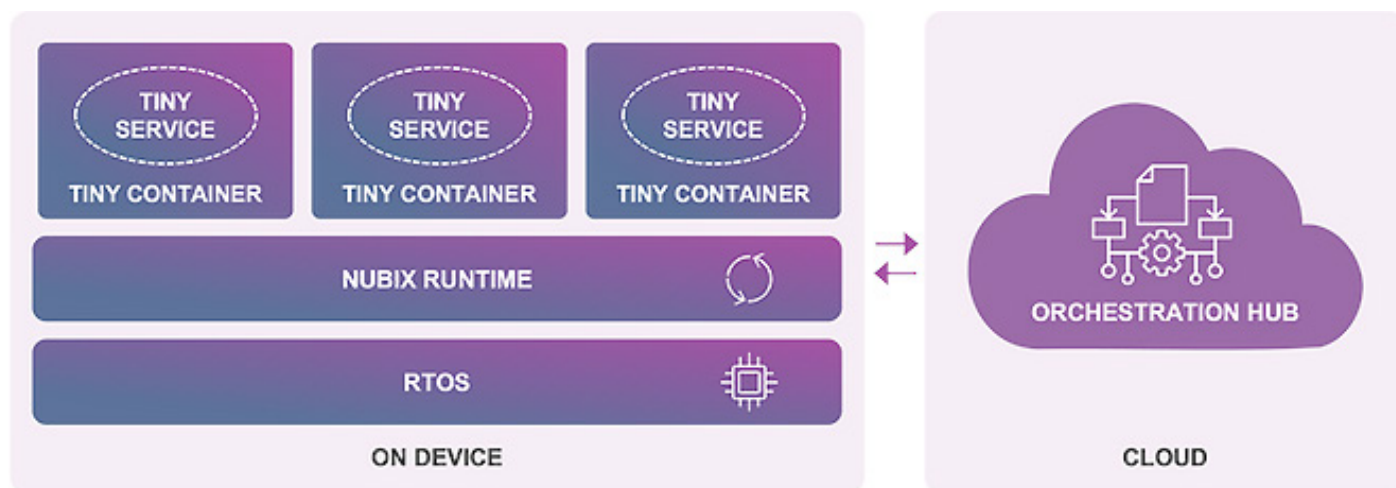
Natuurlijk moet de geogoste energie worden opgeslagen tot de toepassing die nodig heeft. TDK heeft voor dit doel een nieuwe opslagtechnologie uitgebracht: CeraCharge (figuur 3). Deze solid state-oplossing verenigt het beste van lithium-ion accu's en multilayer-condensatoren in een multilayer lithium-gebaseerde oxide-accu. De chemie maakt hem veilig, zelfs voor gebruik in een vacuüm omdat hij niet kan lekken of exploderen. Hij is even groot als 1812 MLCC-condensatoren, dus tien keer kleiner dan vergelijkbare supercaps, en hij kan met pick&place worden geplaatst en gesoldeerd met een normaal reflow-profiel. Na 1000 laadcycli heeft de accu nog steeds 80% van zijn oorspronkelijke capaciteit. De CeraCharge 1812 heeft een nominale spanning van 1,5 V, een nominale capaciteit van 100  $\mu$ Ah en werkt van  $-20^{\circ}\text{C}$  tot  $+80^{\circ}\text{C}$ . Dankzij de maximale ontladestroom tot 10 C is hij ook geschikt voor Bluetooth Low Energy (BLE)-bakens.

### IoT Stars

Een andere uitdaging van IoT zijn de 'eilanden' rondom verschillende technologieën, zoals de diverse draadloze netwerken of IoT-platforms. Dit vertraagt de ontwikkeling doordat er op wel tien plaatsen wordt gewerkt aan dezelfde toepassing, steeds op een ander platform. Daar probeert IoT Stars, een netwerkorganisatie die meet-ups organiseert, los van de bekende vakbeurzen (figuur 4), iets aan te doen. Laurens Slats, Developer Relations, legde uit hoe hun events ontwikkelaars en leveranciers in allerlei IoT-aandachtsgebieden helpen hun ervaringen te delen. Hun volgende event is gepland voor het Mobile World Congress (MWC) in Barcelona.

Een ander lid van de IoT Stars-community, Rachel Taylor, is haar nieuwe onderneming Nubix begonnen bij IoT Stars tijdens Embedded World. Rachel's zorg is dat IoT-apparaten te veel vertrouwen op traditionele ontwikkelprocessen en niet volledig gebruik maken van de mogelijkheden van bestaande cloud-diensten. Daardoor gaan over-the-air (OTA)-updates of zelfs het uitrollen van nieuwe toepassingen moeizaam. Nubix bouwt een edge native-toepassingsplatform dat geschikt is voor de Arm Cortex-M microcontrollers die





Figuur 5. Nubix wil de uitrol van IoT-features in standaard microcontrollers vereenvoudigen met de Orchestration Hub and Container-aanpak (bron: Nubix).

hier op dit moment veel worden gebruikt. Op basis van een real-time besturingssysteem en een runtime-layer worden toepassingen ingezet als services in 'tiny containers'. Als er connectiviteit is kan data worden verzameld en worden services geactualiseerd via hun Orchestration Hub (**figuur 5**).

### Nieuw flash drive-formaat

Mini-PC's en thin clients zijn compact en krachtig genoeg om op het Internet te surfen en af en toe een briefje te schrijven. Maar hun geïntegreerde flashdrives, die vast op het moederbord zijn gesoldeerd, bepalen in feite de levensduur, want als het besturings-systeem en de data te groot worden, is er geen manier om te upgraden. In de toekomst kan dat ook gebeuren met auto's en andere toepassingen. Maar dit probleem kan tot het verleden behoren dankzij XFMEXPRESS (**figuur 6**), een nieuw flash drive-formaat van Kioxia. Het lijkt op een SD-kaart, maar ondersteunt PCIe en NVMe, wat het compatibel maakt met moderne M.2 SSD's. Het is echter ontworpen om onderhoudbaar te zijn, niet om draagbaar te zijn. Het is slechts 1,4 mm dik en wordt stevig geïnstalleerd in een houder. Het is leverbaar in dichtheden tot 1024 GB. Deze technologie is vastgelegd als een JEDEC-standaard om bredere acceptatie te winnen.

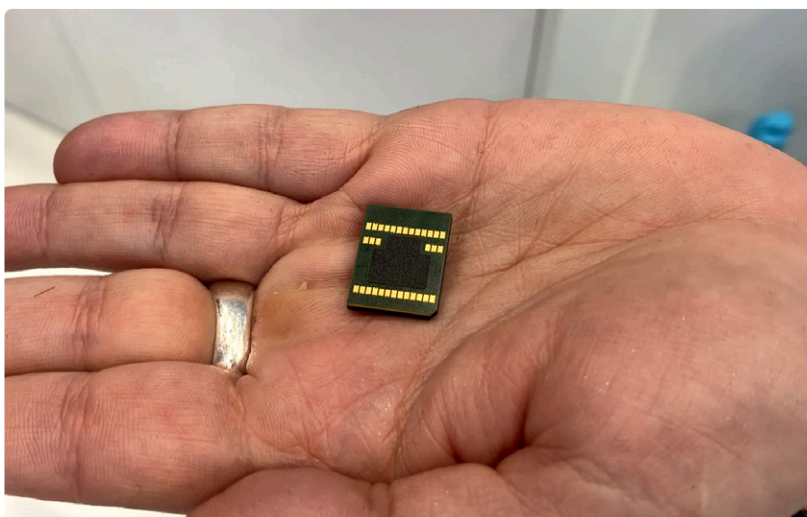
### Processorontwerp wordt nog eenvoudiger

Eén van de voordelen voor ontwikkelaars van RISC-V-processorkernen is de mogelijkheid om instructies toe te voegen voor het versnellen van specifieke algoritmen. Er zijn nu verschillende standaard-processorkernen verkrijgbaar van leveranciers die deze aanpassingen ondersteunen. Maar om de nieuwe instructies te gebruiken, moet de programmeur ze met behulp van in-line-assemblercode [4] implementeren, wat natuurlijk veranderingen in de broncode vraagt. Codaip, opgericht in 2014 en gevestigd in Duitsland, heeft aangetoond dat dit niet nodig is dankzij hun L31 embedded RISC-V-kern. Werkend met Tensor Flow Lite voor het herkennen van de MNIST-database van handgeschreven cijfers, legde

Rupert Baines, CMO, uit dat de hotspots in de berekening kunnen worden vastgesteld. Daarna werden twee nieuwe specifieke instructies gedefinieerd voor het versnellen van de cijferherkenning; die werden geïntegreerd in de kern. Dezelfde code, zonder aanpassingen, draait dan op de aangepaste L31-kern en haalt een 80% hogere verwerkingsnelheid (**figuur 7**).

Een ander belangrijk element bij machine learning is de behoefte aan toegang tot krachtige grafische verwerkingseenheden (GPU's) en neurale netwerkversnellers (NNA's). Startups die nieuwe chips ontwikkelen hebben vaak moeite met het financieren van de licentiekosten voor kern-IP. Daardoor blijft er geen geld meer over om de medewerkers in te huren die voor de echte innovaties moeten zorgen. Imagination, een leverancier van RISC-V- en GPU-IP, maakt dit gemakkelijker met hun nieuwe programma Open Access. Door geen licentiekosten te vragen voor scale-ups, krijgen hun teams toegang tot vier PowerVR Series8XE GPU's en drie Series3NX NNA's. Er is ook toegang tot ondersteuning en tools bij het zetten van de eerste stappen naar innovatie in silicium. Royalty's komen pas ter sprake als er producten geleverd worden.

Figuur 6. XFMEXPRESS van Kioxia is een onderhoudbaar alternatief voor vaste flash-drives in thin clients en mini-PC's.







▲  
*Figuur 7. Toevoegen en gebruiken van nieuwe instructies in RISC-V-processorkernen kan heel eenvoudig zijn, aldus Rupert Baines van Codasip.*

## De strijd tegen vervalste componenten

Het grootste probleem tijdens COVID was misschien wel het gebrek aan componenten en de toename van het aantal vervalste componenten. Sommige vervalsingen zijn gemakkelijk te herkennen, maar andere worden gemakkelijk over het hoofd gezien. Voor Electronics Manufacturing Services (EMS), dat duizenden klanten bedient, is het moeilijk om overzicht te houden over de miljoenen componenten die elke week worden gebruikt. De startup Cybord heeft deze handschoenen opgepakt met zijn elektronische componentenanalyse- en traceringsplatform. Het systeem wordt geïntegreerd in de productielijn en verzamelt beelden van elke afzonderlijke component. Die worden samen met charginummer en andere gegevens vastgelegd in een database. Daarna wordt kunstmatige intelligentie (AI) gebruikt voor het ontdekken van anomalieën – van siliciumchips tot passieve componenten.

Oshri Cohen, Chief Strategy Officer, vertelt dat het systeem ook andere dingen kan detecteren, zoals slechte soldeercontacten en verschillende datumcodes voor producten op dezelfde haspel. Het systeem geeft dan een waarschuwing, zodat de operators kunnen beslissen of deze componenten wel of niet gebruikt mogen worden. Naast de analyse van de componenten houdt het systeem ook een database bij van de componenten die in elk gebouw product verwerkt zijn. Als een product kapot gaat en terugkomt vanwege een slecht gesoldeerde condensator, kan de fabrikant de gegevens terughalen en de condensatoren op andere kaarten in die batch onderzoeken. Als blijkt dat de andere condensatoren slechte soldeercontacten hebben, kan een klein aantal kaarten worden teruggehaald in plaats van honderden of duizenden. Deze traceerbaarheid zou kunnen helpen om de hoeveelheid elektronisch afval te verminderen.

## Tijdens Covid hebben we niet stilgezeten

Misschien lijkt de vooruitgang die we dit jaar zien groter dan hij is. De lange gedwongen afzondering vanwege de Covid-beperkingen kan invloed hebben op onze indruk. Maar de feiten liegen niet: er zijn veel nieuwe spelers, nieuwe producten en nieuwe platforms die uitdagende problemen op innovatieve manieren oplossen. Misschien heeft het thuiswerken wel gezorgd voor de verbeterde efficiëntie waar ontwikkelaars jarenlang stiekem op gehoopt hebben! ◀

220395-03 (vertaling: Evelien Snel)

## Vragen of opmerkingen?

Hebt u technische vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar de auteur via [stuart.cording@elektor.com](mailto:stuart.cording@elektor.com) of naar de redactie van Elektor via [redactie@elektor.com](mailto:redactie@elektor.com).

# Elektor Engineering Insights



## Elektor Industry Insights: live erbij zijn

**Elektor Industry Insights** is een essentiële resource voor drukke ontwikkelaars en makers die op de hoogte willen blijven over de wereld van de elektronica. In elke live-uitzending bespreekt Stuart Cording (redacteur, Elektor) echte ontwerpuitdagingen en -oplossingen met deskundigen uit de elektronica-industrie. Ga naar [www.elektormagazine.com/eei](http://www.elektormagazine.com/eei) voor informatie over komende en eerdere afleveringen.

## WEBLINKS

- [1] P. Valdes-Dapena, "Why BMW is offering heated seats on a monthly subscription," CNN Business, juli 2022: <https://cnn.it/3dqmIAT>
- [2] "Automotive Safety Integrity Level (Automotive) (ASIL)," IT Wissen.info, juli 2019: <https://bit.ly/3C4dNiH>
- [3] AUTOSAR-website: <https://www.autosar.org>
- [4] S. Cording, "Wat is RISC-V?," Elektor juli 2021: <https://www.elektormagazine.nl/magazine/elektor-181/59809>

# Ersa i-CON TRACE

## het IoT-soldeerstation voor makers

Een bijdrage van Kurtz Ersa

Welke factoren zijn doorslaggevend voor succesvol met de hand solderen? De vaardigheden van de gebruiker en het juiste gereedschap! Toen Ernst Sachs in 1921 de elektrische soldeerbout patenteerde, focusseerde hij zich op de ontwikkeling van een functioneel soldeerapparaat. En dat is zo gebleven: met de Ersa i-CON TRACE presenteert de nummer één systeemleverancier voor de elektronicafabricage uit Wertheim een modern soldeerstation dat veel te bieden heeft, van een nieuwe soldeerstift-technologie tot netwerkintegratie!



De i-CON TRACE van Ersa richt zich op de essentie – het soldeerproces zelf. Het soldeerstation overtuigt met een bijzonder ergonomische en krachtige soldeerbout, de i-TOOL TRACE. De lichte en ergonomische soldeerbout is uitgerust met een 150W-verwarmingselement en is daarmee het perfecte gereedschap voor alle soldeertaken. De nieuwe serie 142 soldeerstiften is thermodynamisch herzien. Op basis van een uiterst nauwkeurige temperatuurregeling zorgt Ersa steeds voor de juiste werktemperatuur. Dit is één van de belangrijkste factoren voor de kwaliteit van het soldeerwerk. Een grote verscheidenheid aan

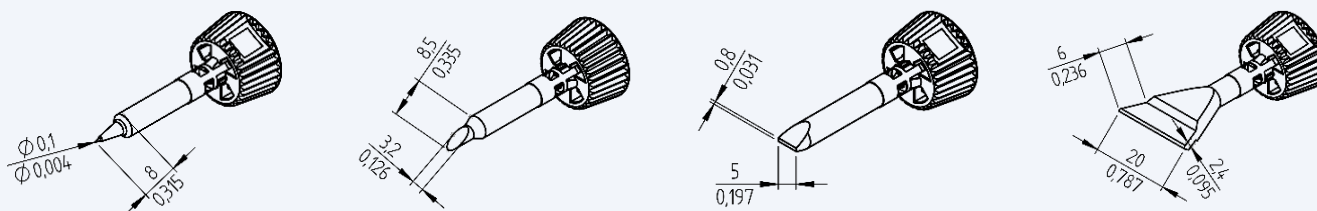


*“Voor mij waren in eerste instantie de prestaties van de i-TOOL TRACE-soldeerbout belangrijk, dus de warmteoverdracht, maar ook de bediening en de zeer eenvoudige stiftwisseling.”*

*(Commentaar van een van de eerste gebruikers van de i-CON TRACE)*

soldeerstiften kan worden gebruikt – van fijne 0,1mm-potloodstiften voor uiterst delicaat soldeerwerk aan de kleinste SMT-chipcomponenten, via een 12 mm brede beitelvormige stift voor toepassingen met hoge thermische massa, tot een 20 mm brede desoldeerstift voor het desolderen of het verwijderen van restsoldeer op een print. Alle tips zijn voorzien van een unieke QR-code en kunnen zo worden geïdentificeerd. Deze functie is belangrijk bij procesdocumentatie.

De stiftwisseling is inderdaad een innovatie: dat gaat even snel als bij een cartridgesysteem, maar ook de ecologisch en economisch



Figuur 1. Selectie uit de nieuwe serie-142 solderstiften met bajonetsluiting en geoptimaliseerde warmtegeleiding.



Figuur 2. Het gepatenteerde Tip'n'Turn-concept van de Ersa i-CON TRACE maakt stiftwisseling in recordtijd mogelijk.



Figuur 3. Dankzij de connectiviteit van de i-CON TRACE kan elk soldeerproces worden gedocumenteerd: printen, gebruikte stift, temperatuur en soldeertijd. Hiervoor is de TRACE COCKPIT-toepassing voor computers of de TRACE-app voor mobiele apparaten beschikbaar.

verantwoorde scheiding van soldeerstift en verwisselbaar verwarmingselement! Dankzij de nieuwe, gepatenteerde bajonetsluiting kan de soldeerstift binnen enkele seconden worden gewisseld, zelfs als hij heet is (figuur 1). De multifunctionele houder kan met behulp van de Tip'n'Turn-technologie binnen enkele seconden direct worden gebruikt – of de stift kan op de gebruikelijke wijze met de hand worden verwisseld (figuur 2).

### Intuïtieve gebruikersinterface met LED's

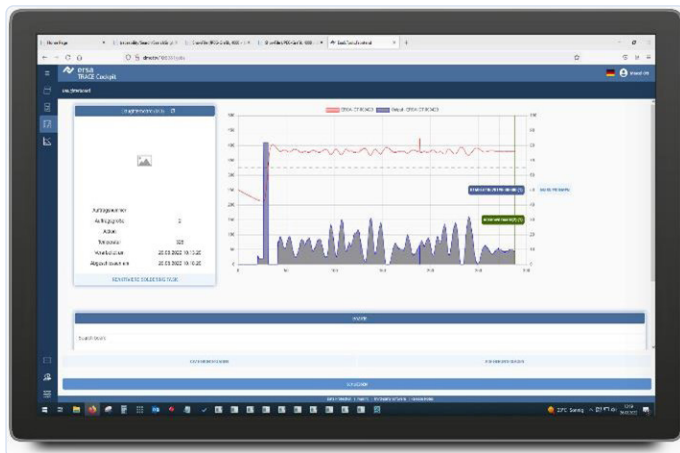
Ook het bedieningsconcept van de i-CON TRACE is volledig nieuw: in plaats van een display en

bedieningselementen op het station is de gebruikersinterface bijna volledig verplaatst naar de TRACE-app voor iOS- of Android-smartphones en tablets of de browsergebaseerde TRACE COCKPIT (figuur 3). Zodra alle parameters zijn ingesteld,

Figuur 4. Green is go! Wanneer aan alle voorwaarden voor de toegewezen soldeertaak is voldaan, geeft de LED-interface van i-CON TRACE groen licht om met het solderen te beginnen.







Figuur 5. Documentatie van een soldeeropdracht in TRACE COCKPIT.

ontvangt de gebruiker de essentiële informatie via drie LED's op het station. Alle indicatoren lichten groen op, wat betekent dat er gesoldeerd kan worden – of “green is go!” zoals de Ersas-ingenieurs zeggen. Zo kan de gebruiker zich op het soldeerwerk zelf concentreren (figuur 4).

Deze eenvoudige en intuïtieve bediening wordt mogelijk gemaakt door de unieke connectiviteit van de i-CON TRACE. Het is het allereerste soldeerstation dat standaard is uitgerust met een geïntegreerde Bluetooth- en WiFi-module. Daarmee kan het in een paar eenvoudige stappen in elk netwerk worden opgenomen. Er is een optionele LAN plug-in module beschikbaar voor bekabelde communicatie. De bediening van een of meer stations via de gratis TRACE-app (iOS en Android) is volledig intuïtief. Van temperatuurinstelling via gedragscontrole tot standby- en sleep-modus – alle waarden kunnen in een handomdraai worden ingesteld en worden in realtime geactualiseerd.

Voor professionele klanten biedt de i-CON TRACE nog meer via de servergebaseerde browser-applicatie TRACE COCKPIT: De i-CON TRACE is de ‘missing link’ en dicht de voorheen bestaande kloof in het handmatige soldeerproces wat betreft documentatie met maximale traceerbaarheid (figuur 5). Zo kan TRACE COCKPIT zorgen voor de registratie van een volledige soldeertaak in een gewenst bestandsformaat (PDF, CVS, XML). Specifieke soldeertaken (jobs) kunnen via TRACE COCKPIT centraal aan elk soldeerstation worden toegewezen.

Dit IoT-soldeerstation kan zelfs worden geïntegreerd in productieprocessen die worden aangestuurd via een Manufacturing Execution System (MES), waardoor het hele handmatige soldeerproces

traceerbaar en documenteerbaar wordt. Hierbij worden belangrijke kerngegevens zoals de print in kwestie, de QR-code van de gebruikte soldeerstift, de soldeerdraad en de gebruikte flux vastgelegd met een handscanner. Zo ‘weet’ het systeem dat aan alle voorwaarden voor de betreffende soldeeropdracht is voldaan. De operator concentreert zich volledig op het solderen, waardoor de kans op fouten tot een absoluut minimum wordt beperkt. Alle uitgevoerde soldeerwerk-procesgegevens worden centraal opgeslagen en kunnen te allen tijde – bijvoorbeeld bij reclamaties – worden geëvalueerd. Als eerste IoT-soldeerstation opent de i-CON TRACE volledig nieuwe dimensies in de soldeertechniek voor alle gebruikers. 

220553-03

### i-CON PICO & i-CON NANO – soldeerprestaties in klein formaat

Voor wie professionele soldeerprestaties wenst, maar weinig ruimte op de werkbank en/of een beperkt budget heeft, biedt Ersas twee kleinere soldeerstations aan.

De i-CON PICO (footprint 145 × 80 mm) biedt drie vaste, vooraf instelbare temperaturen of traploze temperatuurregeling van 150 tot 450 °C. Hij heeft ook een standby- en sleep-modus en kan met een microSD-kaart worden geparametreerd. Voor een ESD-veilige omgeving kan de i-CON NANO met dezelfde functionaliteit worden overwogen. Alle oppervlakken zijn vervaardigd van antistatisch materiaal. Beide stations beschikken ook over afzonderlijk verwisselbare soldeerstiften (serie 102) en verwarmingselementen (max. 150 W) en uitstekende soldeerprestaties voor kleine tot middelgrote soldeerlassen. Handig en slim!



i-CON PICO (links) en i-CON NANO – compacte soldeerprestaties voor reguliere werkplekken en werkplekken met ESD-vereisten.

## WEBLINKS

[1] Meer informatie: [www.i-con-trace.com](http://www.i-con-trace.com)

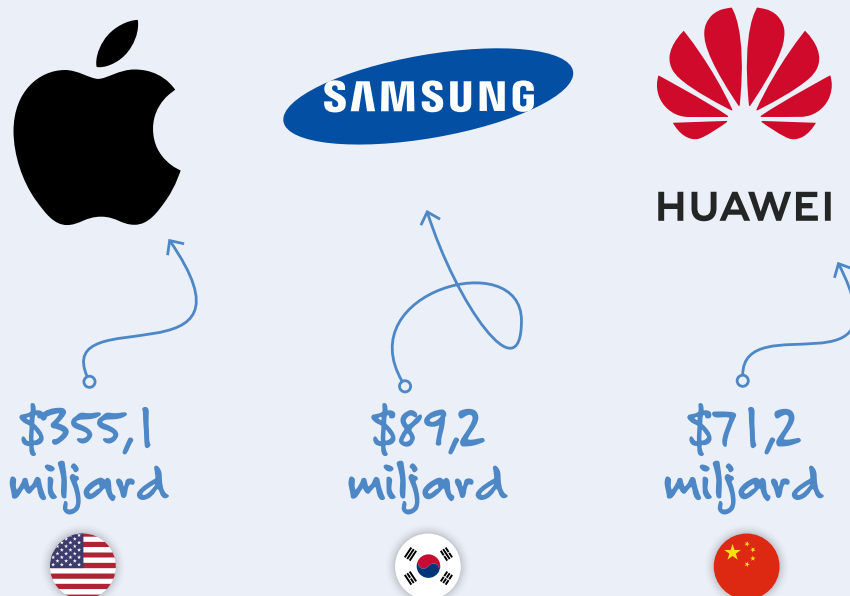
[2] Ersas i-CON PICO en i-CON NANO productvideo: [https://youtu.be/eUE0a\\_2C6XI](https://youtu.be/eUE0a_2C6XI)

# Apple is de grote winnaar van 2022

Hoe sterk kan een elektronica-merk zijn? Zo sterk als de speciale methodologie van Brand Finance het toelaat. Elk jaar publiceert Brand Finance een ranglijst met de 50 meest waardevolle en sterkste elektronica-merken ter wereld. De methodologie houdt rekening met verschillende aspecten: emotionele band met het merk, actuele en toekomstige inkomsten, potentiële licentieovereenkomsten, winst na belastingen enzovoort. Apple staat bovenaan met een duizelingwekkende merkwaarde van 355 miljard dollar, een toename van 35% op jaarbasis en een 2,5-voudige stijging sinds het begin van de pandemie. Branding Finance schrijft het ongeken-de succes van Apple toe aan een zeer overtuigende combinatie van innovatieve apparaten en hoogwaardige diensten.

(Bron: Brand Finance)

## Top-drie elektronica-merkwaarden 2022



# Niets is zeker, behalve... de vraag

Eind vorig jaar was de stemming in de halfgeleiderindustrie positief. Een werkbaar evenwicht tussen vraag en aanbod was geen toekomstdroom – dat zou in 2022 binnen handbereik komen. Sommige analisten geloofden dat de levertijden snel zouden terugkeren naar het niveau van voor de pandemie. De oorlog in Oekraïne

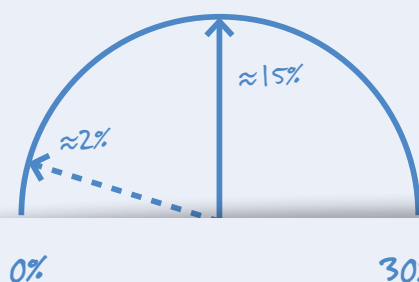
en nieuwe uitbraken van Covid-19 in China hebben dat optimisme echter in de kiem gesmoord. Sinds het begin van de pandemie is de prijs van een IC met ongeveer 15% toegenomen. De levertijden zouden nu zelfs langer kunnen worden dan die van medio 2021, toen de tekorten op hun hoogst waren. Heeft dit gevolgen voor de

vraag in de elektronica-industrie? Nee. Autonoom en elektrisch rijden, 5G, gaming, edge processing: ze leiden allemaal tot en sterkere groei dan het mondiaal BNP zelf.

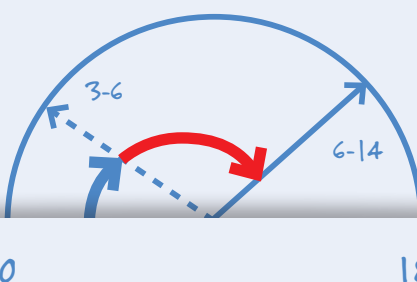
(Bronnen: Nikkei Asia, Qualitel, The Business Research Company)

## Vóór Covid-19 en na het begin van de oorlog

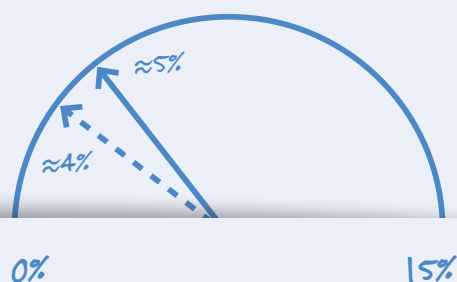
Prijsstijging IC's vóór en na Covid-19 (% ,jaar-tot-jaar)



Levertijden IC's vóór en na Covid-19 (maanden)



Groei mondiaal BNP versus mondiale groei elektronica-industrie (% ,komende jaren)

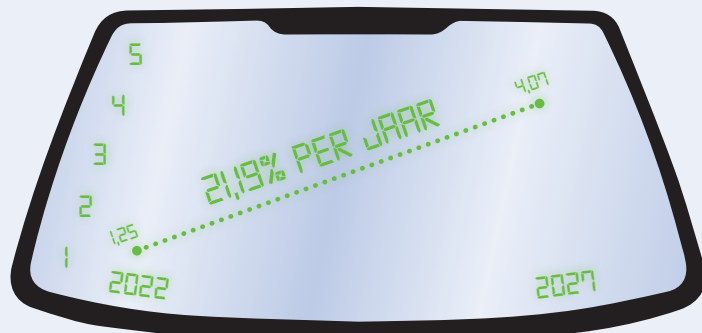


## Transparante electronica: inderdaad een andere kijk

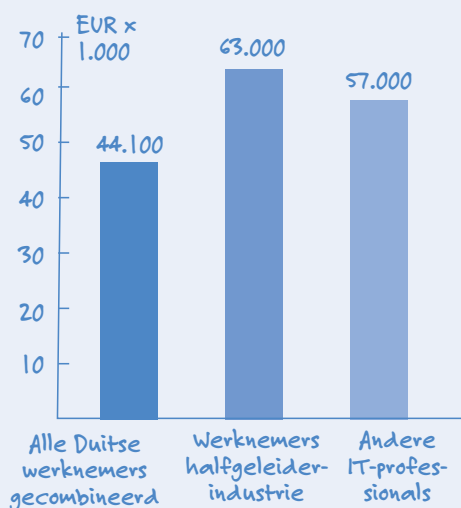
Het is misschien nog geen enorme markt, maar transparante elektronica heeft veel te bieden. Transparante elektronica maakt het bijvoorbeeld mogelijk om zonnecellen in gewone ramen te integreren, waardoor elk raam een potentiële generator wordt die veel efficiënter werkt dan de huidige zonnecellen. En dan is er nog dit andere geweldige vooruitzicht voor transparante elektronica: een bestuurder of piloot kan de snelheid in de gaten houden en tegelijkertijd zijn of haar ogen op de weg of op de wolken gericht houden. Transparante elektronica is even veelbelovend als draadloos opladen of 5G. Net als beide technologieën wordt de groei van deze nieuwkomer in dubbele cijfers geschreven: 21,19%, van 1,25 miljard dollar in 2022 tot 4,07 miljard dollar in 2027.

(Bron: Research and Markets)

Mondiale markt transparante elektronica, in miljard \$, 2022...2027



Mediaan inkomen Duitse IT-werknemers, 2022 in €



## Salarissen rijzen de pan uit? Niet werkelijk...

Gezien de capaciteitsproblemen in de halfgeleiderindustrie is het logisch dat de lonen in de IC-sector omhoog gaan. En dit is inderdaad de trend. Maar het mediane inkomen van werknemers in de halfgeleiderindustrie is niet verdubbeld – terwijl veel levertijden dat wel zijn. De reden voor deze gematigde toename heeft te maken met de onzekere tijden waarin we ons bevinden, gezien de verstoringen in de toeleveringsketen

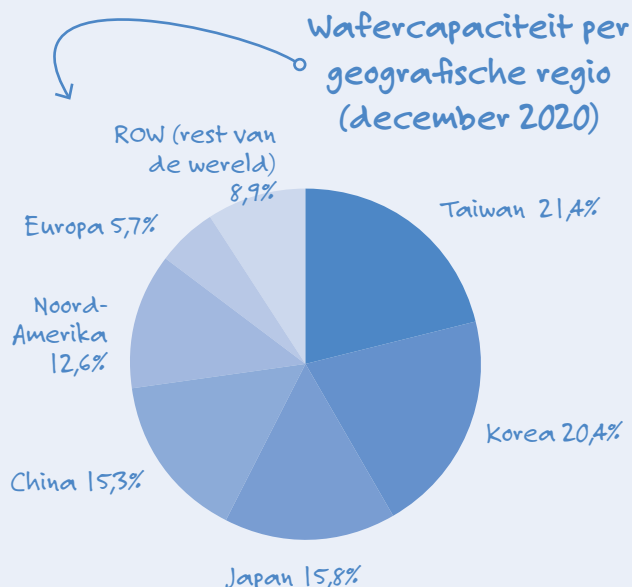
van de afgelopen twee jaar. Beter de storm doorstaan dan het schip te zwaar maken. Dat lijkt de houding van Duitse IT-werknemers te zijn, op basis van onderzoek van StepStone en Interconsult. Volgens StepStone zouden de salarissen dit jaar 3...4% kunnen stijgen, iets meer dan het 10-jarig gemiddelde van 2,...3%.

(Bronnen: Interconsult, StepStone)

## Rusland: halfgeleiders spelen niet mee

Rusland kan het Westen bedreigen met het stopzetten van gas- en olielevering, maar die strategie gaat niet op met betrekking tot halfgeleiders. De reden is eenvoudig: de productiecapaciteit van IC's in de Russische Federatie is verwaarloosbaar. Kijk eens naar het vrij kleine segment 'ROW' ('Rest of World') in het diagram. In dit vakje zit de totale wafercapaciteit van landen als Singapore, Israël, Maleisië, Australië, Wit-Rusland en ...Rusland. Waarom moet er dan nog steeds rekening worden gehouden met Rusland? Het is een belangrijke leverancier van neon, argon en helium – edelgassen die nodig zijn bij de productie van IC's. Hoewel westerse bedrijven zich al elders van levering verzekerd hebben, is een vijfmaal hogere prijs voor nieuwe contracten niet ongewoon.

(Bronnen: Aroged, Financial Times, IC Insights)





# Wat moeten we met al die computers?

**Zach Shelby (mede-oprichter en CEO van Edge Impulse)**

Zach Shelby, mede-oprichter van Edge Impulse, praat met voormalig Arm-CEO Simon Segars over hoe Acorn computers ons hebben geholpen om een wereld van machine learning 'on the edge' te bereiken.

We merken dat data en edge computing de motor achter innovaties voor echte industrieën zijn, dankzij gloednieuwe ontwikkelingen op het gebied van edge computing. Ik had onlangs een ontmoeting met Simon Segars en kon al die verbazingwekkende zaken bespreken die in deze industrie plaatsvinden (**figuur 1**). Simon is een technologische visionair; hij was langetermijn-manager bij Arm, bestuurslid van wereldbedrijven als Vodafone, en is onlangs toegetreden tot de raad van bestuur van mijn bedrijf, Edge Impulse. Hij heeft veel van de technologie in het Computer History Museum helpen creëren, waardoor het een passende locatie is voor ons gesprek.

Dit is een deel van een langer vraaggesprek; je kunt het in zijn geheel beluisteren op [youtube.com/edgeimpulse](https://youtube.com/edgeimpulse).

**Zach:** Hier achter ons staat de BBC Micro, naast vele andere verbazingwekkende voorbeelden van computerapparatuur. Vertel ons iets over de weg van de BBC Micro en Acorn computers naar Arm.

**Simon:** Deze computers waren erg leuk en speelden een belangrijke rol in mijn leven, want ze wekte mijn interesse in computers en technologie en alles. De BBC was daar een groot onderdeel van. Deze werd op de Britse markt geïntroduceerd als een educatief hulpmiddel; de BBC wilde het Britse publiek leren hoe computers werkten, dus gaven ze opdracht hem te bouwen. Het team van Acorn kwam bij elkaar en deed dat. Het is bijzonder spannend om een stel slimme mensen bij elkaar te brengen en ze iets te laten bouwen. En op het laatste moment lukte dat ook, en een ongelooflijke computer was geboren.

Het team van Acorn wilde toen een meer geavanceerde microprocessor voor hun volgende generatie computers. Ze konden er geen vinden, dus dachten ze: "Hoe moeilijk kan het zijn? Laten we zelf een microprocessor bouwen". En dat leidde tot de Arm1 (**figuur 2**). Een baanbrekend ontwerp, zeer klein, zeer energiezuinig, en ook zeer efficiënt in het gebruik van geheugen. Dat was destijds de CPU die in de Acorn Archimedes-serie computers was gebruikt. Ik heb daarmee gespeeld toen ik op de universiteit zat en voor mij was die computer ongelooflijk snel.

Ik wist niet dat er op dat moment van alles gaande was bij Acorn. Het kwam zover dat het bedrijf het zich niet kon veroorloven om dit R&D-team microprocessors te laten bouwen, dus zochten ze

een partner. Apple toonde belangstelling, op zoek naar een microprocessor voor de Apple Newton. Ze troffen elkaar en besloten een joint venture te vormen: Arm. Het bedrijf kwam voort uit Acorn. Ik kwam een paar maanden later in dienst als 16e werknemer. Sindsdien was het een fantastische ontwikkeling; we hebben deze chips steeds energiezuiniger gemaakt met steeds hogere prestaties. Er zijn inmiddels wereldwijd miljarden van in gebruik.

**Zach:** Hoe was het traject van microcontrollers tot een nieuwe golf van machine learning met edge computing?

**Simon:** Toen mensen de term Internet of Things begonnen te gebruiken, bedoelden ze zoiets als: "Laten we een sensor nemen, die op het netwerk aansluiten, die gegevens versturen en ergens anders verwerken". En al snel kwam "Oké, nou, beveiliging is belangrijk". Met miljarden apparaten moet je ervoor zorgen dat ze veilig zijn. Daar hebben we betere prestaties voor nodig. Moet er een cryptografie-versneller op de chip? Hoeveel silicium kun je je veroorloven? Gelukkig wordt de productie van silicium steeds beter en beter. En dan bereik je het omslagpunt waar kleine chips voldoende prestaties bieden. Als je dan een deel van de verwerking daar gaat doen, op het verste punt van het netwerk, kun je gaan nadenken over hoeveel gegevens je eigenlijk moet verzenden. Als je dat tot een minimum beperkt, is dat goed voor de energie-efficiëntie.

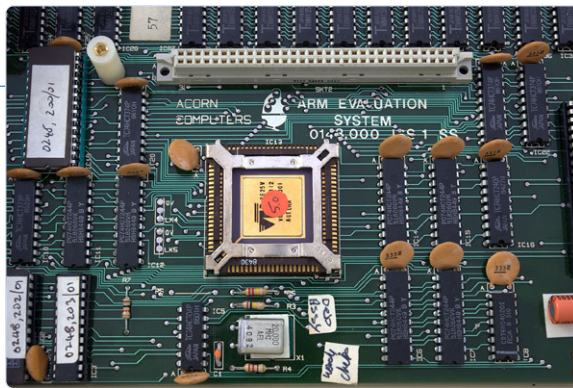
We hebben dit soort vooruitgang gezien bij de onderliggende technologische mogelijkheden, gebruikmakend van vooruitgang die ergens anders in de cloud is gemaakt. Mensen kunnen de hele dag experimenteren. Het is zeer, zeer goedkoop om dat te doen. Plotseling past het allemaal in elkaar en zeg je "OK, ik kan nu zoveel meer doen op de edge. Laat me mijn gang gaan".

**Zach:** Ik herinner me dat mijn Edge Impulse mede-oprichter Jan Jongbloom en ik een biertje dronken en zeiden: "Waar moet het naar toe met al die computers?" Het is als een feestje. Wat gaan we doen met al dat bier? Er is gewoon zoveel rekenkracht. De traditionele dingen die we doen met cryptografie voor het IoT, wat gegevensverwerking en DSP zijn minder dan het topje van de ijsberg van wat er mogelijk is. Daarom leidde tot de gedachte: "Waarom halen we deze toolkits voor machine learning niet uit de cloud en passen die toe op microcontrollers en microprocessors?" En dat gaf de aanzet tot heel wat interessant werk rond machine learning.

**Simon:** Ik denk dat een zo'n moment tijdens dat traject een



Figuur 1. Zach Shelby (links) en Simon Segars (foto: Mike Senese [1]).



Figuur 2. De Arm1 (credits: Peter Howkins, CC BY-SA 3.0 [2][3]).

soort van besef was dat met deze technologieën, met machine learning en sensoren en alles, je meer dingen kunt doen. Plotseling heb je een sensor en een krachtige processor die je overal kan vragen: “Hoe warm is het in de kamer? Moeten we de verwarming terugdraaien? Is er iemand in de kamer? Waarom zetten we de verwarming niet uit?” En mensen beginnen deze nieuwe gebruiksmogelijkheden te bedenken, en gaan zich afvragen: “Hoe programmeer ik dat op deze kleine microcontroller die bijna niets kost? Daar heb ik een betere programmeeromgeving voor nodig.” En dat is het probleem dat Edge Impulse wil oplossen. Hoe verhoog je de productiviteit als iemand een edge-applicatie wil bouwen, gebruikmakend van al deze rekenprestaties, alles wat in de cloud gebeurt, en hoe krijg ik dat in zo’n klein apparaat? Want de onderliggende wiskunde is behoorlijk moeilijk. Maar als ik alleen maar een toepassing tot leven wil brengen, hoef ik me daar geen zorgen over te maken. Ik wil mijn productiviteit verhogen zodat ik gebruik kan maken van al deze geweldige technologie.

**Zach:** Waar zie je interessante mogelijkheden voor machine learning in de industrie?

**Simon:** Waar je in wezen naar op zoek bent is inzicht. Gegevens verzamelen en analyseren. Maar je wilt een bruikbaar inzicht, of het nu een medisch apparaat betreft of hoe goed ik vannacht heb geslapen. Wat is mijn algemene gezondheidstoestand? Daar valt veel te innoveren. Wat kan ik van een huidanalyse leren? Sta ik op het punt een attaque te krijgen? Ik heb dergelijke toepassingen gezien. En ik denk dat dat een gebied wordt waar we echt interessant onderzoek gaan doen.

Het gaat erom die gegevens en die technologie te combineren tot iets dat bruikbaar is, iets dat echt waarde oplevert – en in zo ongeveer elke sector. Gaat mijn machine kapot? Kan ik detecteren waar dat gaat gebeuren, zodat ik reserve-onderdelen kan bestellen en bij de volgende onderhoudsbeurt de monteur met de juiste onderdelen en de juiste gereedschappen komt, en de machine zo kort mogelijk uitgeschakeld wordt? Er kan overal zoveel geld worden bespaard en zoveel meer efficiëntie worden gecreëerd. Ik zie eindeloze mogelijkheden om echt inzicht te verschaffen, echte

waarde te creëren, meer efficiëntie te bereiken en dan gewoon meer te leren, meer inzicht te krijgen in wat er in de wereld gebeurt, waardoor nieuwe zakelijke kansen ontstaan en alles gewoon veel efficiënter wordt.

**Zach:** Wat voor advies moeten we bedrijfsleiders geven om technologie ten goede te gebruiken in hun bedrijfscultuur?

**Simon:** Bij Arm zagen we een enorme impact van wat we deden. Toen ik bij het bedrijf kwam, was de CEO denk ik de enige die een mobiele telefoon had; nu hebben miljarden mensen zo’n ding. Het heeft connectiviteit mogelijk gemaakt. Mensen hebben nu toegang tot informatie die ze voorheen niet hadden. En het heeft geholpen om de kwaliteit en kwantiteit van het leven over de hele wereld te verbeteren. En dat is verbazingwekkend. Het schrijven van code die zo’n impact heeft, is echt fenomenaal. En dan zorgt het gevoel van wat we doen ook voor impact. Dat wilden we aanmoedigen, onze mensen aanmoedigen om betrokken te raken bij enkele van deze geweldige projecten die je ziet waar mensen met deze sensoren uitzoeken welke diersoorten waar bedreigd zijn. Ik heb voorbeelden gezien waar neushoorns worden gemerkt en de gebieden een geo-fence krijgen; de informatie wordt gebruikt om de gewoonten van deze dieren te bestuderen. We zien dat technologie wordt gebruikt om het geluid van illegale houtkap in de regenwouden te detecteren, om zo te helpen die te behouden. Mensen krijgen dit soort geweldige ideeën. En nogmaals, als we hen in staat stellen en hen laten uitvinden en maken, dan heeft dat werkelijk veel invloed. Er wordt steeds meer van bedrijven verlangd dat ze een positieve rol in de wereld spelen. Ondernemen is niet alleen geld verdienen voor je aandeelhouders. Je kunt veel beter iets goeds doen voor de wereld. Technologie kan een rol spelen bij de aanpak van de grootste mondiale problemen. .

220544-03

Ga voor meer informatie over Edge Impulse naar [edgeimpulse.com](https://edgeimpulse.com).

## WEBLINKS

[1] Bron van de foto: <https://photos.app.goo.gl/3D34o4itFwnUT4vQ8>

[2] Licentie: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>

[3] Wikipedia-bron: [https://en.wikipedia.org/wiki/ARM\\_architecture\\_family#/media/File:Acorn-ARM-Evaluation-System.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/ARM_architecture_family#/media/File:Acorn-ARM-Evaluation-System.jpg)



# Aansturing van het e-paper display van Ynvisible

## Een bijdrage van Ynvisible

Dit artikel geeft aanwijzingen over het aansturen en de elektrische integratie van de e-paper displaytechnologie van Ynvisible. We introduceren zowel de hardware als de firmware die nodig is om de displays succesvol te laten werken.

De gedrukte e-paper displays van Ynvisible zijn extreem energiezuinig (**figuur 1**) [1]. De aanbevolen stuurspanning bedraagt  $\pm 1,5$  V en één vierkante centimeter actief display-oppervlak vereist ongeveer 1 mJ voor de activering. Dit komt neer op ongeveer  $1...2 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  voor een always-on display.

De displays worden 'op de rol' vervaardigd met behulp van zeefdruk- en lamineerprocessen. Ze zijn niet-giftig, ITO-vrij en bestaan hoofdzakelijk uit PET-kunststof. Het plastic substraat en de productie op de rol betekenen dunne, flexibele, schaalbare en zeer kosteneffectieve displays. Voor een eerste kennismaking kun je de e-paper display kit [2] van Ynvisible gebruiken.

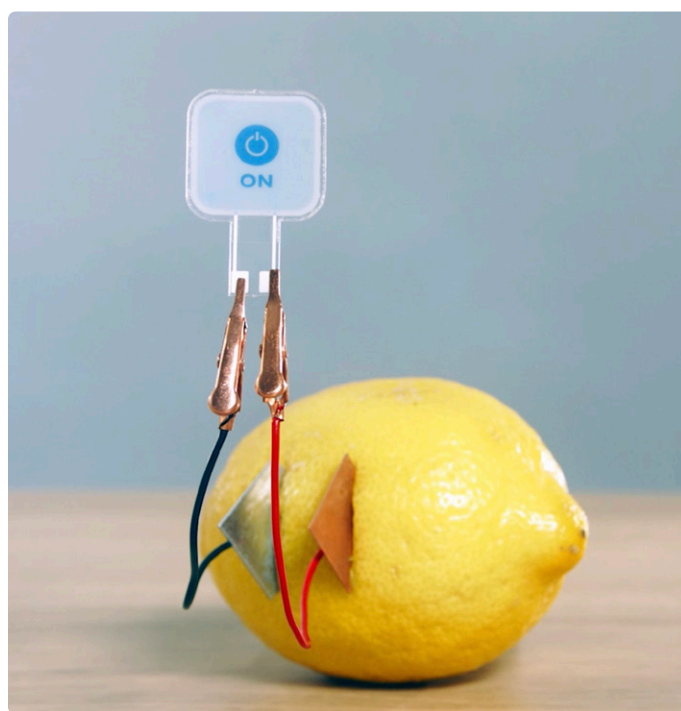
## Achtergrond

De displays van Ynvisible zijn zeer eenvoudig aan te sturen. Dat is een van de belangrijkste verschillen met andere e-paper technologieën. De GPIO's in de meeste MCU's kunnen de displays aansturen met een minimum aan extra componenten. Zet een positieve spanning op het displaysegment om het in te schakelen en leg een negatieve spanning aan (of sluit het kort) om het uit te schakelen. De spanning hoeft alleen te worden aangelegd als het display omschakelt of wordt ververs. Er zijn enkele verschillende opties,

afhankelijk van de toepassing en de systeemvereisten, die we hieronder behandelen.

## Wetenswaardigheden

- De aansturing van het display moet worden aangepast aan het uiteindelijke displayontwerp en de toepassing, maar de fundamentele principes zijn dezelfde voor alle Ynvisible-displays.



Figuur 1. De geprinte e-paper displays van Ynvisible zijn extreem energiezuinig.



- De displays worden rechtstreeks aangestuurd: één elektrode per segment plus één gemeenschappelijke elektrode.
- Een positieve spanning ten opzichte van de gemeenschappelijke elektrode schakelt het displaysegment in.
- Een negatieve spanning (of kortsluiting van de werkelektrode tegen de gemeenschappelijke elektrode) schakelt het segment uit.
- Een hoger spanningsniveau maakt sneller schakelen mogelijk, terwijl een lagere spanning een langere levensduur betekent.
- De typische aanbeveling is  $\pm 1,5$  V over een segment voor een goede balans tussen schakelsnelheid en levensduur.
- Het verdient aanbeveling de spanning tot een minimum te beperken als de schakelsnelheid geen rol speelt. 1,2 V is al voldoende om het maximale contrast te bereiken, en het is mogelijk om de gemeenschappelijke elektrode en de werkelektrode tegen elkaar kort te sluiten ( $\approx 0$  V) om het segment uit te schakelen.

### De displaydriver en resources van Ynvisible

Ynvisible heeft een displaydriver [3] ontwikkeld, plus instructies en een bibliotheek [4] voor snelle prototypes en demonstraties. Zie de datasheet [5] voor meer informatie, inclusief elektrische en timing-specificaties. Er is ook een 16-pins adapter [6] verkrijgbaar voor gemakkelijke flex-to-pin integratie.

### Aanbevolen schakelingen

Er zijn vele manieren om het Ynvisible e-paper display aan een schakeling toe te voegen. Meestal zijn er geen of uiterst weinig extra componenten nodig. Alle suggesties zijn gebaseerd op een MCU met IO's die hoogohmig (high-Z) kunnen worden gemaakt (bijna alle MCU's bieden deze mogelijkheid).

#### Schakeling 1 (met spanningsregelaar)

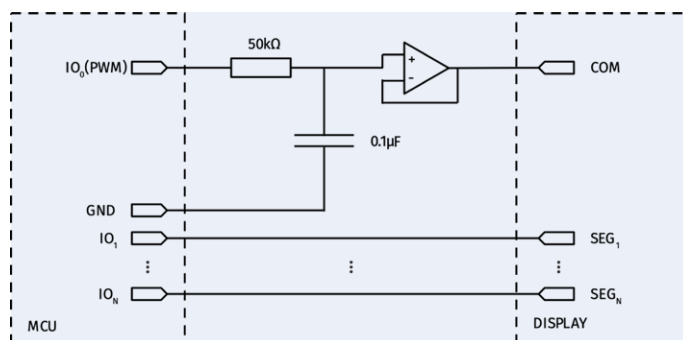
We gebruiken een laagdoorlaatfilter en een opamp om een variabele virtuele massa op de gemeenschappelijke elektrode te creëren (zie **figuur 2** en **tabel 1**). Door de frequentie van het PWM-sigitaal aan te passen, kan de spanning worden aangepast aan de gewenste stuurspanning. Zo kan de juiste spanning op de segmenten worden gezet, ongeacht de voedingsspanning van de MCU. De IO's moeten hoogohmig zijn om de weergave tussen de updates te handhaven.

#### Schakeling 2 (DAC-uitgang naar gemeenschappelijke elektrode)

Als de MCU een ingebouwde DAC heeft, kan deze worden gebruikt als virtuele massa voor de gemeenschappelijke elektrode (**figuur 3**). De DAC vervangt de externe componenten van schakeling 1. De IO's moeten hoogohmig zijn om de weergave tussen de updates te handhaven.

#### Schakeling 3 (2 spanningsniveaus voor gemeenschappelijke elektrode)

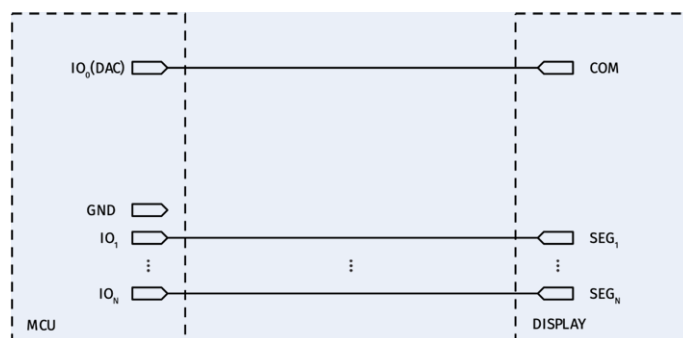
R1 en R2 vormen een spanningsdeler (zie **figuur 4** en **tabel 2**). Door IO0 hoog en IO1 laag te maken, wordt een eerste spanningsniveau op de gemeenschappelijke elektrode gezet. Het tweede niveau wordt verkregen door IO0 laag en IO1 hoog te maken. De IO's moeten hoogohmig zijn om de weergave tussen de updates te handhaven.



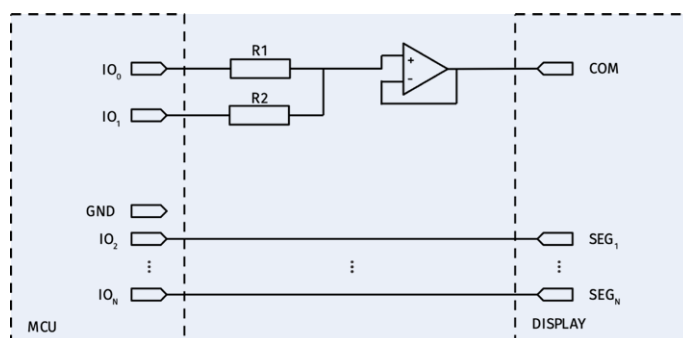
Figuur 2. Met een laagdoorlaatfilter en een opamp wordt een variabele virtuele massa gemaakt voor de gemeenschappelijke elektrode.

Tabel 1. Specificaties van de componenten van schakeling 1.

| Component   | Voorbeeld                       | Waarde eenheid | Opmerkingen                                                                                                          |
|-------------|---------------------------------|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Weerstand   |                                 | 50 kΩ          | Afhankelijk van de PWM-frequentie en de vereiste reactietijd kunnen verschillende weerstandswaarden worden gebruikt. |
| Condensator |                                 | 0.1 μF         | Afhankelijk van de PWM-frequentie en de vereiste reactietijd kunnen verschillende condensatoren worden gebruikt.     |
| Opamp       | Texas Instruments TLV9001SIDBVR |                | Wordt gebruikt om een stabiel COM-potentiaal te handhaven bij verschillende belastingen.                             |



Figuur 3. De DAC vervangt de externe componenten van schakeling 1.



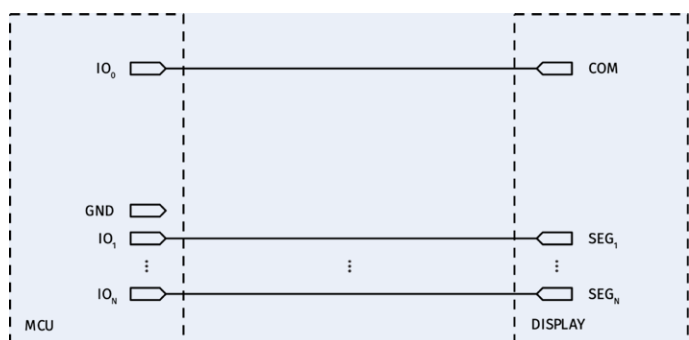
Figuur 4. Met R1 en R2 wordt een spanningsdeler gemaakt.

**Tabel 2. Weerstanden voor verschillende voedingsspanningen om  $\pm 1,5$  V aansturing bij verschillende spanningsniveaus te bereiken.**

| Voedings-spanning | R1            | R2            | Opmerkingen                                                                                                                                                                                                                   |
|-------------------|---------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1,8 V             | 30 k $\Omega$ | 6 k $\Omega$  | De weerstanden moeten zodanig worden gekozen dat er een spanningsdeler ontstaat met een offsetspanning van 1,5 V. Andere weerstandscombinaties zijn mogelijk. Een kleinere weerstandswaarde leidt echter tot meer lekstromen. |
| 3 V               | 30 k $\Omega$ | 30 k $\Omega$ |                                                                                                                                                                                                                               |
| 3,3 V             | 30 k $\Omega$ | 36 k $\Omega$ |                                                                                                                                                                                                                               |
| 5 V               | 30 k $\Omega$ | 70 k $\Omega$ |                                                                                                                                                                                                                               |

### Schakeling 4 (digitale uitgangen)

Bij deze aanpak zijn geen externe componenten nodig (figuur 5). De spanning wordt beperkt tot de voedingsspanning van de gebruikte MCU. De ideale stuurspanning voor het display is  $\pm 1,5$  V. Spanningen van 1,8 V en hoger kunnen worden overwogen als de levensduur van ondergeschikt belang is. Het toevoegen van een weerstand tussen IO0 en COM kan de levensduur ook verlengen.



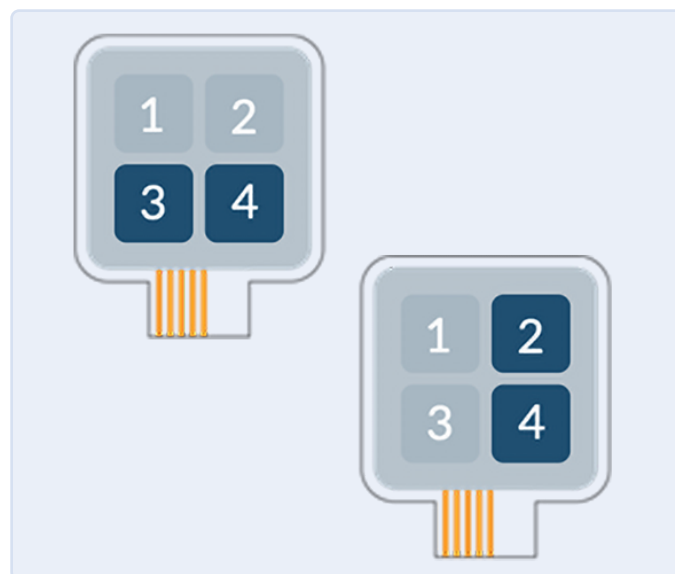
Figuur 5. Bij deze aanpak zijn geen externe componenten nodig. De spanning blijft beperkt tot de voedingsspanning van de gebruikte MCU.

### Scenario's voor de aansturing

Hieronder geven we enkele suggesties voor het aansturen van het Ynvisible e-paper (zie figuur 6 en tabel 3). We geven ook aan welke hierboven beschreven voorbeeldschakelingen compatibel zijn met deze scenario's.

**Table 3: Definition of the conventions used in the following driving schemes.**

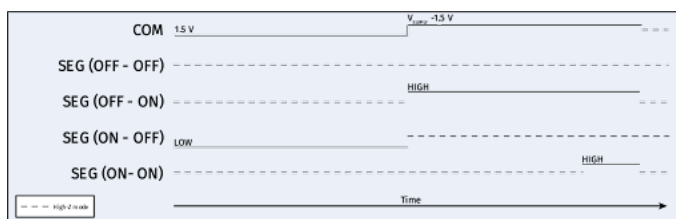
| Conventie       | Segment nr. in figuur | Definitie                                  |
|-----------------|-----------------------|--------------------------------------------|
| COM             | -                     | Gemeenschappelijke elektrode               |
| SEG (OFF - OFF) | 1                     | Segmenten die uitgeschakeld moeten blijven |
| SEG (OFF - ON)  | 2                     | Segmenten die moeten worden ingeschakeld   |
| SEG (ON - OFF)  | 3                     | Segmenten die moeten worden uitgeschakeld  |
| SEG (ON - ON)   | 4                     | Segmenten die ingeschakeld moeten blijven  |



Figuur 6. Links: voor de refresh. Rechts: na de refresh.

### Scenario A (compatibel met schakelingen 1, 2 en 3)

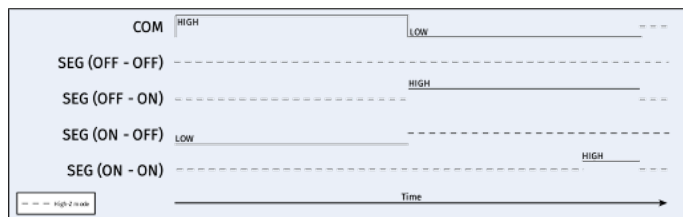
Dit schema werkt het display in twee stappen bij (figuur 7). Eerst worden sommige segmenten uitgeschakeld door de gemeenschappelijke elektrode aan 1,5 V te leggen en de relevante segmentelektroden laag/0 V te maken (wat resulteert in  $-1,5$  V over de segmenten). Dan worden sommige segmenten ingeschakeld door de gemeenschappelijke aansluiting aan  $V_{\text{SUPPLY}} - 1,5$  te leggen en de relevante segmentelektroden aan hoog/ $V_{\text{SUPPLY}}$  (wat resulteert in  $+1,5$  V over de betreffende segmenten). Een kortere refreshpuls is nodig voor de segmenten die in de ON-status moeten blijven. Het proces eindigt met het hoogohmig maken van alle signalen om de toestand te handhaven.



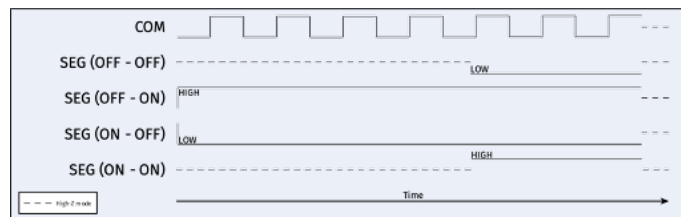
Figuur 7. Dit scenario werkt het scherm in twee stappen bij.

### Scenario B (compatibel met schakelingen 1, 2, 3 en 4)

Dit scenario werkt het display in twee stappen bij, zoals in scenario A, maar zonder variabele gemeenschappelijke elektrodespanning (figuur 8). Eerst worden sommige segmenten uitgeschakeld door de gemeenschappelijke elektrode hoog te maken en de relevante segmentelektroden laag/0 V (wat resulteert in  $-V_{\text{SUPPLY}}$  over de segmenten). Vervolgens worden sommige segmenten ingeschakeld door de gemeenschappelijke aansluiting laag te maken en de betreffende segmentelektroden hoog (wat resulteert in  $+V_{\text{SUPPLY}}$  over de segmenten). Een kortere refreshpuls is nodig voor de segmenten die in de ON-status moeten blijven. Het proces eindigt met het hoogohmig maken van alle signalen om de toestand te handhaven. Als het systeem bij een lage spanning werkt of als de levensduur van ondergeschikt belang is, kan dit een goede optie zijn.



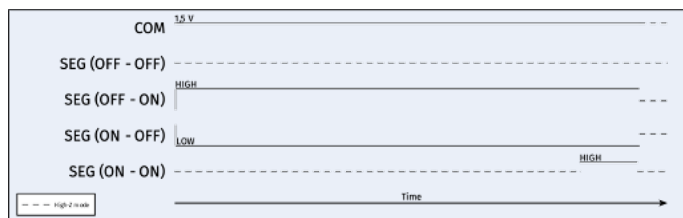
Figuur 8. Dit scenario werkt het display in twee stappen bij, zoals scenario A, maar zonder variabele spanning op de gemeenschappelijke elektrode.



Figuur 10. Dit scenario werkt het display in één stap bij. Het display wordt ingeschakeld door een PWM-sigitaal aan te leggen op de gemeenschappelijke elektrode.

### Scenario C (compatibel met schakelingen 1, 2 en 3, indien $|V_{ON}| + |V_{OFF}| = V_{SUPPLY}$ )

Dit scenario werkt het display in één enkele stap bij (figuur 9). De segmenten worden tegelijkertijd in- en uitgeschakeld. Dit wordt mogelijk gemaakt door de gemeenschappelijke elektrode in te stellen op een spanning tussen laag en hoog, gewoonlijk  $\pm 1,5$  V voor een 3V-systeem, maar bijvoorbeeld ook  $\pm 1$  V voor een 2V-systeem. Op die manier kan tegelijkertijd een positieve en een negatieve spanning op de betreffende segmenten worden gezet. Een kortere refreshpuls is nodig voor de segmenten die in de ON-status moeten blijven. Het proces eindigt met het hoogohmig maken van alle signalen om de toestand te handhaven.



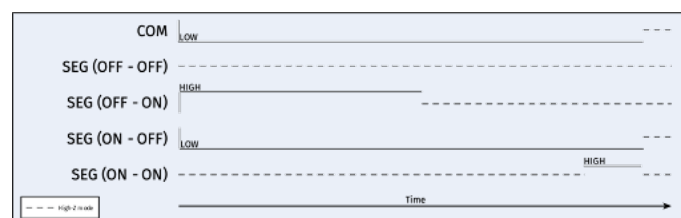
Figuur 9. Dit scenario werkt het display in één enkele stap bij.

### Scenario D (compatibel met schakeling 4)

Dit scenario werkt het display in één stap bij (figuur 10), net als scenario C. Het display wordt ingeschakeld door een PWM-sigitaal aan te leggen op de gemeenschappelijke elektrode om een virtuele massa tussen laag en hoog te simuleren. Bij veel MCU's veroorzaakt deze aanpak aanzienlijke lekstromen, wat leidt tot een aanzienlijk hoger energieverbruik dan scenario C. Het proces eindigt met het hoogohmig maken van alle signalen om de toestand te handhaven.

### Scenario E (compatibel met schakeling 4)

Dit scenario werkt het display in één enkele stap bij zoals scenario C, maar met dit verschil dat de uitschakelspanning 0 V is (figuur 11). Het uitschakelen van de segmenten met 0 V is aanzienlijk trager dan het aanleggen van een negatieve spanning (bijvoorbeeld  $-1,5$  V). Daarom duurt het langer voordat het segment dat moet worden uitgeschakeld daadwerkelijk omschakelt (vergeleken met de segmenten die moeten worden ingeschakeld). Een kortere refreshpuls is nodig voor de segmenten die in de ON-status moeten blijven. Het proces eindigt met het hoogohmig maken van alle signalen om de toestand te handhaven. In dit scenario kan de gemeenschappelijke elektrode rechtstreeks aan massa worden gelegd.



Figuur 11. Dit scenario werkt het display in één enkele stap bij, maar met het verschil dat de uitschakelspanning 0 V bedraagt.

## Samenvattend

Het integreren en aansturen van de e-paper displays van Ynvisible is relatief eenvoudig in vergelijking met andere display-technologieën. Bezoek de Ynvisible Store [7] om direct aan de slag te gaan met de hardware die we in de aanbieding hebben. En aarzel niet om bij vragen contact op te nemen met [sales@ynvisible.com](mailto:sales@ynvisible.com).

220411-03

## WEBLINKS

- [1] Voorbeelden van het energieverbruik: [www.ynvisible.com/segment-displays#Energy](http://www.ynvisible.com/segment-displays#Energy)
- [2] E-paper Display Kit: [www.ynvisible.com/product/e-paper-display-kit](http://www.ynvisible.com/product/e-paper-display-kit)
- [3] Displaydriver: [www.ynvisible.com/product/e-paper-display-driver](http://www.ynvisible.com/product/e-paper-display-driver)
- [4] Handleiding en bibliotheek: [www.ynvisible.com/getting-started#driver](http://www.ynvisible.com/getting-started#driver)
- [5] Datasheet: [www.ynvisible.com/datasheet](http://www.ynvisible.com/datasheet)
- [6] 16-pin adapter : [www.ynvisible.com/product/adapter](http://www.ynvisible.com/product/adapter)
- [7] De Ynvisible Store: [www.ynvisible.com/shop](http://www.ynvisible.com/shop)



# InnoFaith: innovatie en nog eens innovatie

vraaggesprek met Walter Arkesteijn

**Alina Neacsu (Elektor)**

InnoFaith is niet alleen een goed voorbeeld van een succesvol bedrijf, maar onderstreept ook dat 'innovatie' niet uitsluitend aan startups is voorbehouden. Het bedrijf spant zich bewust in om startup-eigenschappen te behouden en benadrukt zelfs het belang van innovatie door het in de bedrijfsnaam op te nemen. Zoals in de voorgaande artikelen is uiteengezet, zijn teamwerk en creativiteit de belangrijkste componenten van hun bedrijf, en deze vaardigheden worden op alle niveaus uitgebreid en regelmatig gebruikt. Hoe is dit zo gekomen, als je bedenkt dat InnoFaith nog niet zo lang geleden een startup was?

**Alina Neacsu:** In het vorige vraaggesprek [2] werd gesteld dat je "InnoFaith Beauty Sciences [3] bent gestart vanuit ondernemersambitie." Op welk punt van je reis kreeg engineering voor het eerst met ondernemerschap te maken? Heb je uitdagingen ondervonden?

**Walter Arkesteijn:** Ik heb vroeger jarenlang vakantiewerk gedaan, wat me echter geen voldoening gaf omdat ik droomde van het creëren van dingen. Dus engineering en ondernemerschap kregen voor het eerst met elkaar te maken toen mijn broer met de vraag kwam of ik een probleem kon oplossen waar hij bij zijn bijbaantje tegenaan liep. De pizzeria waar hij werkte, had namelijk het idee om een warmhoud-oven in de bezorgauto te plaatsen maar wist niet hoe dit aan te pakken. Tijdens dit project ben ik een aantal uitdagingen tegengekomen. Hierbij vind ik het belangrijk om altijd te onthouden dat naïviteit de mooiste tijd is, als je begint met iets waar je zin in hebt. Je kunt het wel erg onderschatten. Je denkt dat dat je het wel kunt, zonder dat je precies weet waar je aan begint. Het verlangen om iets moois te creëren spoort daardoor niet altijd met de planning en het budget. Je leert dingen te herzien, want tegenslagen zijn onderdeel van het proces. Dit eerste project wekte mijn interesse in het ondernemerschap. Ik had hier een uitdaging waarbij ik niet wist waar ik precies aan begon, maar als je uiteindelijk het



Walter Arkesteijn (InnoFaith Beauty Sciences).

idee hebt uitgewerkt en je iets hebt kunnen neerzetten waar je eerst alleen van kon dromen, voel je veel voldoening.

**Alina:** Stel dat je voor de keuze komt te staan om InnoFaith opnieuw te starten. Wat denk je dat er nu zou veranderen? Is het recept voor succes hetzelfde als 25 jaar geleden?

**Walter:** Ik geloof wel dat het recept voor succes hetzelfde is gebleven als 25 jaar geleden en zou



Het 'Observ 520x'-product van InnoFaith.

ook niet veel willen veranderen. Als ik voor de keuze zou staan om InnoFaith Beauty Sciences opnieuw te starten, zou ik met de kennis van vandaag ervoor kiezen om het operationeel management-gedeelte eerder op te laten pakken. Voor mij persoonlijk voelt een project af wanneer ik deze heb voldaan en richt ik mezelf liever op nieuwe innovaties. Hierdoor mis je commerciële kansen. Mijn grootste drijfveer is niet commercieel, maar er ontstond wel een organische groei omdat we binnen InnoFaith Beauty Sciences steeds grotere uitdagingen aanpakten. Binnen het bedrijf is nu de ruimte gecreëerd om reeds ontwikkelde projecten verder te exploiteren terwijl ik mijn aandacht kan richten op innoveren.

**Alina:** Je werk combineert elektronica, een mooie huid en ondernemersvaardigheden. Ik verwacht dat je 'proces van fantasie die werkelijkheid wordt met behulp van technologie' sommige vernieuwers in de Elektor-gemeenschap kan inspireren om het gebruik van verschillende disciplines, waaronder elektronica, te gaan verkennen. Is *electronica fast forward, the start-up platform powered by Elektor* [4] een unieke kans om hun ideeën en technologie te laten zien?

**Walter:** Ik vind het zeker een unieke kans voor startups om via het 'electronica fast forward'-platform bekendheid te krijgen op de markt. Voor nieuwe initiatieven is het erg belangrijk dat de technische ontwikkelingen begrepen worden. Door middel van het startup-platform wordt de kans geboden om bekend te worden. Een techneut weet precies hoe zijn product werkt, maar het is erg belangrijk om duidelijk te maken wat dat betekent voor de gebruiker van de innovatie. Die brug is essentieel om de waarde van de technische ontwikkeling goed duidelijk te maken. Hoe mooi de techniek ook is, als deze niet begrepen wordt, word hij niet gewaardeerd.

**Alina:** Wat vind je van de mentaliteit van de jongere generaties? Heb je een tip voor nieuwkomers?

**Walter:** Wat een grote verandering is in vergelijking met 25 jaar geleden, is dat de toegang tot de wereld heel laagdrempelig is geworden. Dit heeft als voordeel dat je initiatieven vrij klein kunt beginnen, maar dit heeft ook het nadeel dat de hoeveelheid informatie enorm groot is en het lastiger is om jezelf te onderscheiden. De vraag is dan ook: hoe onderscheid je je precies en word je gehoord in een drukke, laagdrempelige markt? Mijn advies is op zoek te gaan naar partners die toegang hebben tot die markt. Als je vanuit de techniek begint, is er nog veel kennis die je zelf op moet doen. Dit resulteert in een langzaam traject. Vind daarom sterke partners om



*Het klant/patiënt-aspect van de Observ 520x. De vakgebieden optica en elektronica komen hier mooi samen.*

bewust te zijn van andere aspecten zoals distributie, marketing en sales. Daarnaast wil ik nog meegeven dat tegenslagen de manier bij uitstek zijn om een weg te vinden om daar weer overheen te komen, en een goede drijfveer vormen om juist de handen uit de mouwen te steken.

**Alina:** Bedankt voor dit vraaggesprek; we zullen binnenkort meer over jou en je bedrijf horen en lezen.

In mei 2022 ontmoette Elektor Walter Arkesteijn voor het eerst, en bracht een videobezoek aan InnoFaith in Eindhoven om uit te vinden hoe hun hoogwaardige apparatuur voor huidanalyse wordt gemaakt. Voor meer informatie kun je de vorige artikelen lezen (*Inspiratie, daar draait het om, een vraaggesprek met Walter Arkesteijn van InnoFaith*) en *Minimalizing Hardware with Smart Software: Zooming in on the Technology at InnoFaith* [5]. Bovendien kun je het videobezoek bekijken op het Elektor Youtube-kanaal [6].

220257-C-03

## Werken bij InnoFaith

Technologie in het hart van de esthetische geneeskunde en de professionele schoonheidsindustrie, geleverd door een klein maar sterk team van 31 die al jaren bij InnoFaith werken. Dat bewijst dat InnoFaith een blijvertje is. Bij InnoFaith Beauty Sciences heerst een mentaliteit van innovatief ontwerp en productie van ultramoderne hightech scan- en beeldvormende diagnostische apparaten. Bekijk hun vacatures op [www.innofaith.com/werkenbij](https://www.innofaith.com/werkenbij).

## WEBLINKS

[1] Observ 520x: <https://sylton.com/products/observ-520x/>

[2] Vraaggesprek met ondernemer Walter Arkesteijn: [www.elektormagazine.nl/magazine/elektor-266/60641](https://www.elektormagazine.nl/magazine/elektor-266/60641)

[3] InnoFaith Beauty Sciences: <https://innofaith.com/>

[4] *electronica fast forward*: [www.elektormagazine.com/effwd-2022](https://www.elektormagazine.com/effwd-2022)

[5] Bezoek aan het InnoFaith-lab:

[www.elektormagazine.nl/news/met-slimme-software-de-hardware-minimaliseren-meer-over-de-techniek-bij-innofaith](https://www.elektormagazine.nl/news/met-slimme-software-de-hardware-minimaliseren-meer-over-de-techniek-bij-innofaith)

[6] Video op Youtube: [https://youtu.be/cAL17ZI\\_UvQ](https://youtu.be/cAL17ZI_UvQ)

# Industriële automatisering

## eenvoudige en schaalbare IoT-retrofitting

Bron: pressmaster

Een bijdrage van Würth Elektronik

Industriële productiefaciliteiten met machines die gedurende langere tijd zijn geëvolueerd, zijn vaak fijn afgesteld en sterk geoptimaliseerd. Via IoT-retrofitting kan productie worden gemoderniseerd en gedigitaliseerd, zoals wordt aangetoond door een samenwerking tussen WE, FEGA & Schmitt en IAV.

De nieuwste en meest geavanceerde technologie wordt altijd geacht superieur te zijn. Maar soms is het beter om beproefde, tientallen jaren oude, huidige of zelfs verouderde technologieën te gebruiken. Er zijn vanzelfsprekend nog talrijke uitdagingen verbonden aan het gebruiken van oudere uitrusting, zoals efficiëntie, inconsistente kwaliteit, duur onderhoud en manueel werk.

Het vervangen van ouder productiegereedschap behelst een andere set beschouwingen voor bedrijfseigenaren. Het is niet ongebruikelijk dat verouderde apparatuur investeringen van miljoenen dollars en jarenlange planning vertegenwoordigt. Bijgevolg is de retrofit-aanpak kosteneffectiever.

Productieomgevingen kunnen sterk verbeterd worden door het invoeren van intelligente automatisering. Bestaande systemen kunnen toegevoegde waarde creëren door een verhoogde automatisering. Omdat oudere machine vaak al afgeschreven zijn, is de economische impact van een hogere productiviteit, zonder de noodzaak van grote nieuwe investeringen, bijzonder voordelig voor het overleven in een internationale markt. Geautomatiseerde machines moeten nauwkeurig werkingsgegevens registreren en analyseren opdat modernisatie kan slagen. Bovendien is het bijzonder belangrijk dat conclusies die uit deze

evaluaties worden getrokken, tot andere productievestigingen kunnen worden uitgebreid.

De moeilijkheid met verouderde machines is dat ons de kennis ontbreekt om de juiste vragen te stellen. Hoe kunnen we dit oplossen? Het retrofitten van machines is de beste strategie.

Retrofitten is het proces van het moderniseren van of toevoegen van nieuwe functies aan bestaande uitrusting met behulp van een IoT-oplossing, op een niet-invasieve manier. Door een machine om te zetten in haar digitale tweeling, kan de productie gedetailleerder en efficiënter worden onderzocht en geoptimaliseerd.

### Proof of Concept in partnerschap

Würth Elektronik is een fervent voorstander van het open-source concept en heeft samen met FEGA & Schmitt en IAV dit proof-of-concept voor industriële snijmachinebewaking gerealiseerd (**figuur 1**). FEGA & Schmitt conceptualiseerde dit project, Würth Elektronik leverde connectiviteits- en sensingcomponenten en zorgde samen met IAV voor cloudinfrastructuuroplossingen (**figuur 2**). IAV leverde ook data-analyse en volledige systeemintegratiediensten.

Het doel was om een eenvoudig te installeren product voor



FEGA-klienten te ontwikkelen, om industriële snijmachines te controleren en gebruik te detecteren op basis van stroommetingen, alsook mogelijke problemen met de snijmiddelen te detecteren vóór deze optreden.

Soms kan een bepaalde combinatie van bewegingen van gereedschap ertoe leiden dat gereedschap kapot gaat. Door deze set bewegingen te identificeren, kan een uitvalvoorspelling worden gedaan. Bijgevolg zal er aanzienlijk minder productieonderbreking zijn. Een stroommeting zal anderzijds de mogelijkheid bieden om het machinegebruik te bepalen en vereenvoudigt het planningsproces.

Tijdens het proof-of-concept was een strikte vereiste voor de installatie om niet te interfereren met de infrastructuur van de klant en om geen procesonderbrekingen te veroorzaken.

Klanten ontvangen uitgebreide informatie over de beschikbaarheid van het systeem van het eindproduct. Voorspellend onderhoud is een belangrijke eigenschap en differentiator voor producten van FEGA & Schmitt via het gebruik van sensoren en door AI ondersteunde data-evaluatie.

### Prototyping met FeatherWing-boards

FeatherWings zijn stapelbare prototyping-boards met verschillende functionaliteit. Würth Elektronik creëerde een gamma FeatherWing ontwikkelboards die open-source en volledig compatibel zijn met de Feather-vormfactor. Dit omvat sensorwings, WE Pro-Ware draadloze connectiviteit, WiFi en verschillende voedingen. Er bestaat een GitHub-archief [1] voor alle open-source boards, inclusief hun schema's, BoM's, software en beschrijvingen van cloud-connectiviteit voor Azure en AWS.

### Sensing door versnelling

Sensor-FeatherWings (**figuur 3**) worden gebruikt om de initiële datapunten te creëren. Aangezien de versnelling nauw verbonden is met de beweging van de snijarm, is het gebruik van een versnellingsensor een goed uitgangspunt voor het controleren van bewegingen.

De WE sensor-FeatherWing is een ontwikkelboard met vier sensoren. Bovenop de Adafruit Feather-vormfactor is het ook compatibel met de QWIIC-connect van Sparkfun die een standard I<sup>2</sup>C-interface biedt die ook compatibel is met STEMMA QT en Grove/Gravity. Dit biedt eindeloze mogelijkheden voor prototyping.

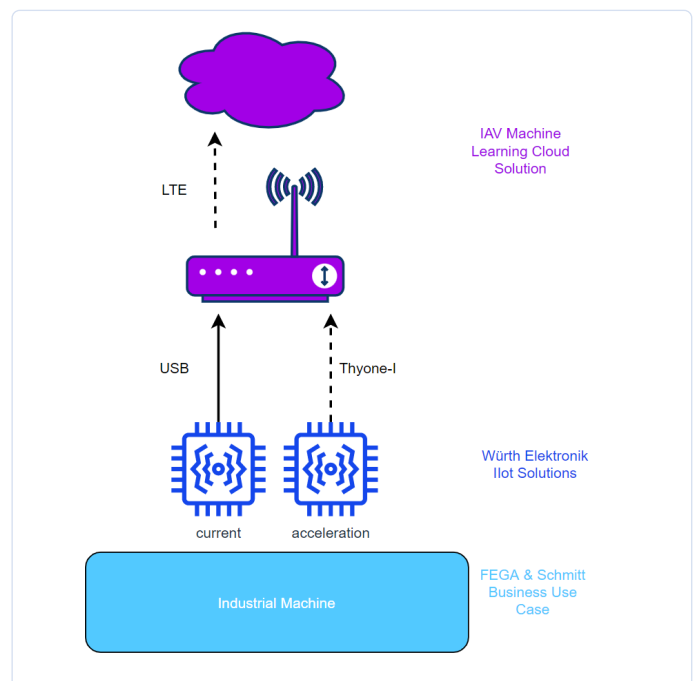
Al het bovenstaande maakt het eenvoudig om verschillende plug&play sensoren en apparaten van verschillende fabrikanten op elkaar aan te sluiten zonder veel bedrading – bijzonder nuttig voor prototyping.

### Connectiviteit door LTE-M/NB-IoT

Node- en gateway-connectiviteit worden op verschillende manieren opgelost. Gateway/cloud-connectiviteit kan op twee aparte manieren worden verkregen. Met behulp van een industriële Raspberry Pi met LTE-connectiviteit worden grote hoeveelheden data naar de cloud verstuurd, voor spectrale analyse gedurende de het genereren van het model. Nadat het model is gecreëerd, wordt de connectiviteit overgeschakeld naar de Adrastea-I LTE-M/NB IoT-module van Würth Elektronik [2]. Dit vermindert het netwerkverkeer aanzienlijk en bijgevolg ook de kosten. Beide methodes werden getest in



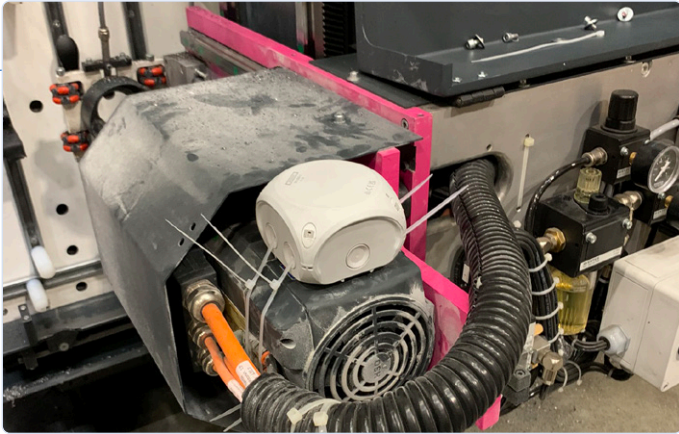
Figuur 1. Industriële snijmachine van FEGA & Schmitt met besturing (bron: Würth Elektronik eiSos).



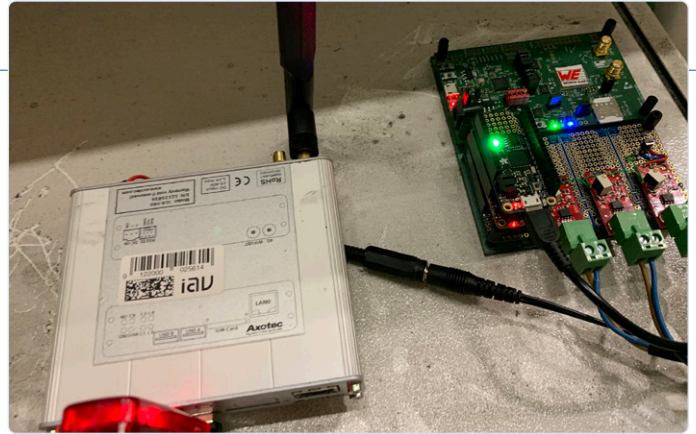
Figuur 2. Het concept van IoT-retrofitting en de rol van de partnerbedrijven (bron: IAV).



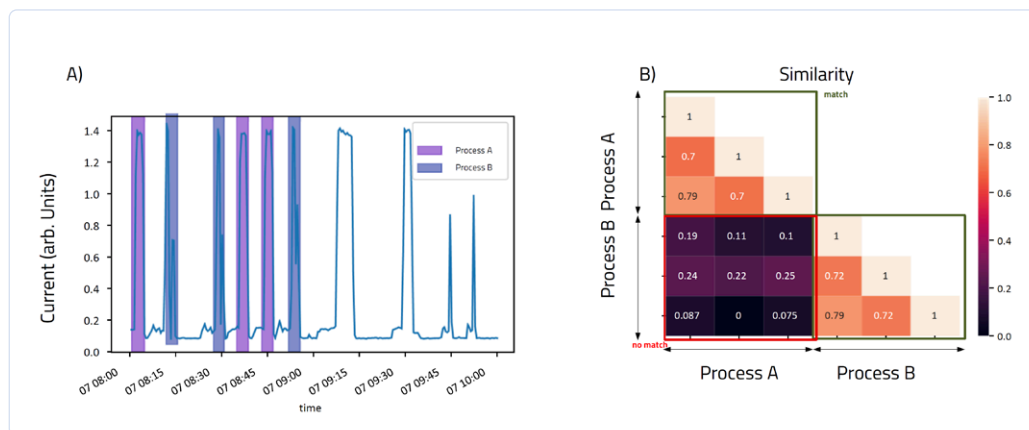
Figuur 3. WE-Sensor FeatherWing (bron: Würth Elektronik eiSos).



Figuur 4. Trillingsmeting met behulp van een accelerometer (bron: Würth Elektronik eiSos).



Figuur 5. Stroommeting met een Hall-effect-sensor (bron: Würth Elektronik eiSos).



Figuur 6. Data-analyse om patronen te identificeren met machine learning. Gelijksortige procespatronen worden automatisch herkend en gemerkt (bron: IAV).

cloud-verbonden productieomgevingen.

De node is verbonden met de cloud via een gateway met behulp van de Thyone-I Wireless 2,4-GHz bedrijfseigen radiomodule van Thyone-I [3]. Beveiliging mag niet worden onderschat, en daarom maakt de gateway naar cloud-connectiviteit gebruik van het TLS-protocol en de node past een gelijkaardige aanpak toe met het beveiligde element (ATECC608A-TNGTLS van Microchip Technologies) aan de ene kant en de cloud key vault aan de andere kant. De hele verbindingsweg wordt beschermd en versleuteld tussen alle deelnemers aan de communicatie, nodes, gateways en de cloud.

## De implementatie in detail

### Trillingsmeting

Om de geschikte accelerometer te kiezen, is een duidelijk begrip van de toepassing en de meettaken essentieel. In dit geval werd een 3-assige MEMS-versnellingsensor gebruikt om de bewegingen van de snijarm te detecteren. Ontwerpers hebben lang gehoopt

te kunnen profiteren van het aanbod aan MEMS-sensoren op gebied van grootte, kost en betrouwbaarheid, en dit werd volledig uitgebuit met het gebruik van een WSEN-ITDS 3-assige versnellingsensor (figuur 4).

### Stroommeting

Stroommetingen moeten niet-invasief zijn, omdat er geen interferentie mag zijn met de toestellen die worden gecontroleerd. De oplossing moet eenvoudig toepasbaar zijn op elke gelijksoortige machine.

Hiervoor werden de WAGO

split-core stroomtransformator 855-4101/400-001 en het SparkFun ACS723 Hall-effect-sensor breakout-board gebruikt (figuur 5). Het voordeel van het gebruiken van een Hall-effect-sensor is dat de schakeling die wordt gedetecteerd en de schakeling die de sensor uitleest elektrisch geïsoleerd zijn. Het circuit dat wordt gedetecteerd kan dus werken bij hogere DC- of AC-spanningen dan de hoofdprint.

### Connectiviteitsoplossingen

Voor het proof-of-concept werden twee versies van de connectiviteitsoplossingen toegepast. Versie één van de connectiviteit, die in de initiële dataverzameling-fase werd gebruikt, was een industriële IoT Raspberry PI-compatibele gateway. Een Linux-gebaseerd systeem werd gebruikt om C-code te genereren en de dataverzameling en -transfer te optimaliseren, aangezien een grote hoeveelheid data nodig is om machinegedrag te valideren. Voor de cloud werd een dashboard gecreëerd voor real-time controle van de data, gebruik makend van Node-Red en Grafana. Bovendien werd de

## WEBLINKS

- [1] GitHub-repository: <https://github.com/WurthElektronik/FeatherWings>
- [2] Würth Elektronik's Adrastea-I LTE-M/NB-IoT module: [www.we-online.com/catalog/en/ADRASTEIA-I](http://www.we-online.com/catalog/en/ADRASTEIA-I)
- [3] Thyone-I Wireless 2.4GHz proprietary radio module: [www.we-online.com/catalog/en/THYONE-I\\_FEATHERWING\\_2](http://www.we-online.com/catalog/en/THYONE-I_FEATHERWING_2)
- [4] Adafruit's Awesome Feather GitHub: <https://github.com/adafruit/awesome-feather>



tijdstream-data geanalyseerd om trends en patronen te identificeren met behulp van machine learning. Gelijksortige procespatronen worden automatisch herkend en gemerkt (**figuur 6**). De overige patronen worden als onbekend aangemerkt. Deze data dient als basis voor processtatistieken die kunnen worden gebruikt voor verscheidene business use cases, zoals procescontrole, kwaliteitsgarantie en voorspellend onderhoud.

### Testen in een praktijkomgeving

Tijdens de praktijktests werden vele uitdagingen ondervonden: verlies van data als gevolg van de afstand en verschillende radio-bronnen in de productiehal, voortdurende beweging van de stapelbare boards en de stroomvoorziening, of het ontbreken daarvan. Versnellingsensoren werden op de snijarm gemonteerd zonder enige voedingsbron in de nabijheid. Deze hindernis werd overwonnen met behulp van een LiPo-accu. Ondanks het lage stroomverbruik in standby werd de accu door de constante data-overdracht in de beginfase leeggezogen. Dagelijks werden grote hoeveelheden data verstuurd, wat om de twee tot drie dagen tot een lege accu leidde. De oplossing was het gebruiken van een zonnepaneel om de accu op te laden. Hiervoor werd een open-source oplossing van Adafruit gebruikt.

Het tweede probleem was de locatie van de sensoren en radiomodules. De sensor moet zich op de arm van het gereedschap, dat een bewegend onderdeel is, bevinden. Op de machine worden alle bewegende onderdelen beschermd door metalen behuizingen, die als een kooi van Faraday werken. Ondanks de kleine afmetingen en de efficiëntie was de geïntegreerde antenne nutteloos. Dit werd opgelost door een externe antenne aan te sluiten aan de buitenkant van de behuizing.

Het onderdeel voor de stroomdetectie is een samenstelling van split-core stroomtransformatoren en Hall-effect-sensoren voor elke fase. Het combineren van twee sensoren vereist kalibratie, die door Würth Elektronik werd uitgevoerd.

### Snellere prototyping

Een proof-of-concept maken met open-source componenten kan de prototyping-tijd dramatisch verminderen. Het combineren van kant-en-klare boards met standaard pinning en sensoren met standaard connectoren maakt testen en experimenteren met de opstelling eenvoudig.

Het toepassen van twee fases in de proof-of-concept prototyping liet het aanmaken van een effectief model in de eerste fase toe, wat dan in de tweede fase kon worden geïmplementeerd. De tweede fase zal lokale modellen uitrollen op de microcontroller en enkel het absolute minimum aan data versturen. De nodige data zal naar de cloud worden verstuurd met behulp van de Adrastea-I mobiele telefoonmodule.

Würth Elektronik biedt gratis SDK's in Arduino-stijl voor verschillende processoren en verkoopt de boards. Deze kunnen eenvoudig worden aangepast met behulp van data (PCB en BoM) van Würth Elektronik of Adafruit's Awesome Feather GitHub [4].

Deze use-case toont aan dat het gebruik van open-source standaarden voor prototyping flexibiliteit biedt, resulterend in een enorme implementatiesnelheid. 

### Over de auteurs



**Miroslav Adamov** studeerde fysica en informatica aan de Universiteit van Belgrado, Servië. Daarna deed hij verder wetenschappelijk werk aan TU-Berlin, WIAS Berlin, FAU Erlangen/Nürnberg en het Center of private equity research in München. Na een aantal jaren in quantitative finance kwam hij in 2015 als Senior Business Analyst bij Würth Elektronik terecht. In 2017 nam hij de functie van Senior

IoT Solution Architect over met primaire focus op conceptualisatie en implementatie van industriële IoT-oplossingen.



**Adithya Madanahalli** studeerde af aan de Technische Universiteit van München met een MSc. in Communicatietechniek. Daarna werkte hij ettelijke jaren als software-ingenieur op het gebied van draadloze connectiviteit en sensoren. Sinds 2022 is Adithya IoT-ingenieur bij Würth Elektronik eiSos in de bedrijfseenheid voor draadloze connectiviteit en sensoren. Daar werkt hij aan het ontwerp en

ontwikkeling van IoT-oplossingen, met focus op hardware, ingebouwde software en end-to-end beveiliging.



**Dr. Jan Gieseler** ontving een Dipl.-Phys. van de Universiteit van Karlsruhe in Duitsland, en een MPhys. in opto-elektronica en lasers van Heriot Watt University in Schotland, gevolgd door een doctoraat in Fotonica van ICFO in Barcelona, Spanje. Daarna werkte hij verder als postdoctoraal onderzoeker in fundamenteel onderzoek bij

ETH Zürich, Harvard University en ICFO. In 2020 kwam Jan bij DigitalLab bij IAV in Berlijn, Duitsland. Daar werkt hij als datawetenschapper met een primaire focus op data-engineering, tijdsreanalyse en IoT- en slimme sensoroplossingen.



**Bernd Grimm** is afgestudeerd in bedrijfseconomie en informatietechnologie. Sinds hij in 2008 in de elektrotechnische groothandel begon, werkte hij met zijn teams aan talrijke projecten met een sterke focus op klantenservice. Bij Fega & Schmitt is hij sinds 2019 de industrie- en faciliteitsleider voor projectbeheer. In deze rol werkt hij samen met zijn team aan het Be Linked-project, waarvan het

doel is om voor Fega & Schmitt het thema "dienstverlening gekoppeld aan digitalisering & AI" op te zetten.



**Eduard Richter** werkte zijn studies af als gecertificeerd elektrotechnicus en Bachelor of Business Administration. Sinds 2017 werkt hij in de elektrische groothandel als technical key account manager. Zijn taak is de services van FEGA & Schmitt te plaatsen bij bestaande en nieuwe klanten. Met zijn verkoopervaring is hij betrokken bij de ontwikkeling en verbetering van de services.



# Reed-relais

vreemde onderdelen

David Ashton (Australië)

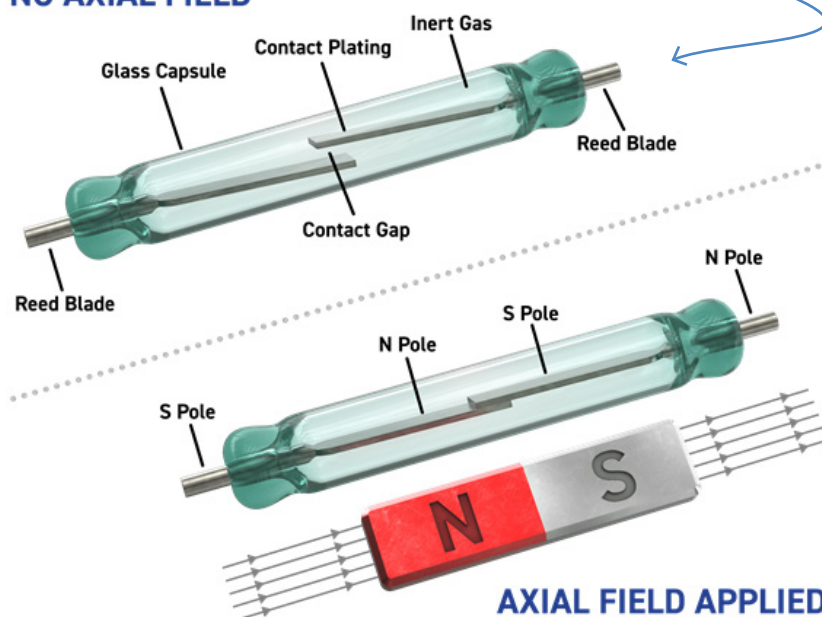
Hoewel de halfgeleiderindustrie enkele geweldige innovaties heeft gebracht, gaat er soms niets boven een echte schakelaar! Hier duiken we in de wereld van de reed-relais, componenten die op grote schaal werden gebruikt in vroegere telefooncentrales.

Reed-relais zijn veelzijdige componenten die kunnen worden gebruikt voor toepassingen waar de echte isolatie vereist is die een fysieke schakelaar biedt. Ze zijn gebaseerd op een reed-schakelaar, een samenstel uit twee stukken van een magnetische legering, doorgaans nikkel-ijzer 'half-om-half'. De contacten worden zo in een glazen buisje ('reed') gemonteerd dat ze elkaar bijna raken, en hun uiteinden worden van een contactmateriaal voorzien. Wanneer een magnetisch veld dicht bij het buisje wordt gebracht, worden beide stukken magnetisch materiaal gemagnetiseerd zodat hun uiteinden elkaar aantrekken – en bingo: er is contact. Wanneer het magnetisch veld wordt weggenomen, gaat de schakelaar weer open (figuur 1). Bij reed-relais wordt het magnetisch veld door een spoel gegenereerd; ze schakelen doorgaans sneller dan mechanische relais. Hoewel ze verondersteld worden

dendervrij te schakelen, kunnen ze onder bepaalde omstandigheden toch last hebben van contactdender, vooral als de spoel wordt aangestuurd met een hogere dan de nominale spanning. De spoel van een reed-relais heeft meestal de vorm van een dunne draad die om het reed gewikkeld is. Een typisch reed heeft 50 ampèrewindingen nodig om te werken. Dus, 50 draadwindingen waar 1 A door loopt doen het relais werken, en evenzo 5000 windingen waar 10 mA door loopt. Bij dergelijke stroomniveaus kunnen ze zo worden geconstrueerd dat ze redelijk gevoelig zijn.

De spoel en het reed kunnen ook hermetisch in een behuizing worden ingebouwd, waardoor ze opmerkelijk robuust zijn. Sommige types hebben zelfs een metalen afscherming in de behuizing zodat externe magnetische velden niet resulteren in ongewenst aantrekken van het relais. Fabrikanten hebben ook een paar trucs waarmee reed-relais kunnen worden gebouwd als normaal-gesloten of wisselcontact [1]. **Figuur 2** toont diverse reeds en reed-relais. Reed-schakelaars blijven populair voor een hele reeks toepassingen dankzij het eenvoudige gebruik. Bij deurschakelaars

## NO AXIAL FIELD



Figuur 1. Het hart van een reed-relais is een reed-schakelaar die met een magnetisch veld wordt bediend (bron: Pickering Electronics).

voor alarmsystemen wordt de reedschakelaar aan het deurkozijn bevestigd en de magneet aan de deur. Als de deur gesloten is, komen de magneet en de schakelaar dicht bij elkaar en is het reed gesloten. Als de deur wordt geopend, gaat het contact open en de resulterende onderbreking van de stroomkring activeert het alarm. Ik had ooit een autoalarm dat twee reeds gebruikte die op de voorruit waren bevestigd. Met een magneet in een sleutelhanger werd een basiscode ingevoerd om het alarm te deactiveren. Voor contactloze toepassingen als deze zijn reed-schakelaars bijzonder handig.

Ze hebben ook in menig Elektor-project een rol gespeeld. Een project van jaren geleden dat me te binnen schiet, controleerde de werking van de gloeilampen in je auto. De bekabeling van de betreffende lamp, bijvoorbeeld het remlicht, werd zo gemodificeerd dat de stroom door een vrij

dikke draad ging die om een reed-schakelaar werd gewikkeld om zo een zelfgemaakt reed-relais te construeren. De schakelaar zelf stuurde een LED aan, synchroon met het schakelen van de betreffende lamp. Als een van de lampen doorbrandde, liep er slechts de helft van de stroom en dat was onvoldoende om het relais te doen aantrekken. Dit project is, net als vele andere uit de 60-jarige geschiedenis van Elektor, te vinden op de (Engelstalige) website van Elektor [2].

Tegenwoordig ondervinden reed-relais in sommige toepassingen enige concurrentie

van Hall-effect sensoren, omdat deze fysiek veel kleiner zijn en in staat zijn magnetische velden elektronisch in plaats van mechanisch te detecteren. In termen van eenvoud en isolatie winnen reed-relais echter ruimschoots, en daarom worden ze nog steeds veel gebruikt.

Als dit artikel je nieuwsgierigheid heeft geprikkeld, hebben leveranciers zoals Pickering Electronics een aantal heel goede handleidingen [3] en andere bronnen [1] waar je meer te weten kunt komen. ◀

220179-03

## WEBLINKS

- [1] "Reed RelayMate," Pickering Electronics, April 2011: <https://bit.ly/3qhVRKS>
- [2] "Car Lights Failure Indicator," Elektor 3/1978: <https://bit.ly/3tisNoq>
- [3] "Reed Relay Basics," Pickering Electronics: <https://bit.ly/37AU5hf>



Figuur 2. Een verzameling reed-relais. Linksonder een wisselschakelaar (twee contacten aan de linkerkant). Rechtsonder is een kaal reed te zien. De rest illustreert de grote verscheidenheid aan afmetingen en behuizingen die verkrijgbaar zijn.

# Low-profile lineaire connectoren vereenvoudigen multisignaal-databeheer

## Een bijdrage van Omnetics

Voor de high-density elektronische apparaten van tegenwoordig moeten meer signalen van de bron naar displays en andere verwerkingsschakelingen worden geleid. Deze verbindingen transporteren vaak meerdere signalen en vereisen langwerpige connectoren met een groot aantal pinnen naast elkaar om bij een display of het ontwerp in het algemeen te passen. Tegelijkertijd worden diezelfde apparaten gebruikt in robuuste en draagbare apparatuur op voertuigen en robots, of op het lichaam gedragen. High-density elektronica, draagbare apparatuur, robotica, ruimtevaartelektronica en wearables hebben stuk voor stuk robuuste, lichte oplossingen nodig waarbij de bandbreedte zo groot mogelijk is bij een zo klein mogelijke footprint.

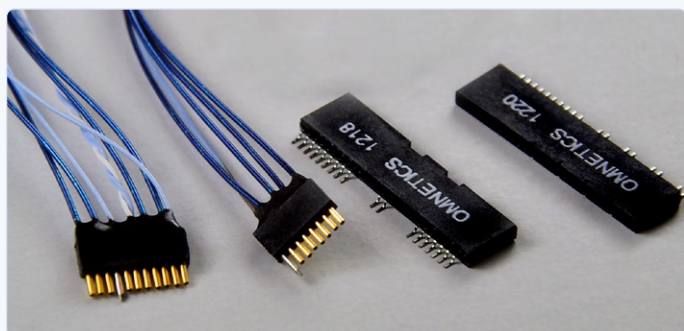
Nieuwe sensoren, detectoren, injectoren en kleine motoren voor robuuste mobiliteit worden ontworpen voor microstromen en -spanningen, om de digitalisering van de steeds kleiner wordende elektronische modules te ondersteunen. Optische en analoge positiegegevens worden verwerkt via een A/D-converter op de drager of het apparaat. Daartoe moeten de signaalsnelheid en het aantal signalen sterk toenemen. Bundelvormende antenne- en communicatiesystemen worden gebruikt om specifieke gebieden te berispen. Deze systemen vereisen veel deelsignalen, vergelijkbaar met die bij een fasegestuurde antenne.

Enkelkaart-computers kunnen deze nieuwe high-speed datastromen verwerken dankzij galliumarsenide en andere chiptechnologieën, die met zeer lage spanningen en minimale stromen werken. Het ontwerp van nieuwe bedradingssystemen omvat het gebruik van differentiële digitale signalen: signalen in tegenfase in combinatie met een retouraansluiting om de signaalkring te sluiten. Ten slotte moet elke set differentiële aders worden afgeschermd om te voorkomen dat de deze elkaar beïnvloeden of storen. Een

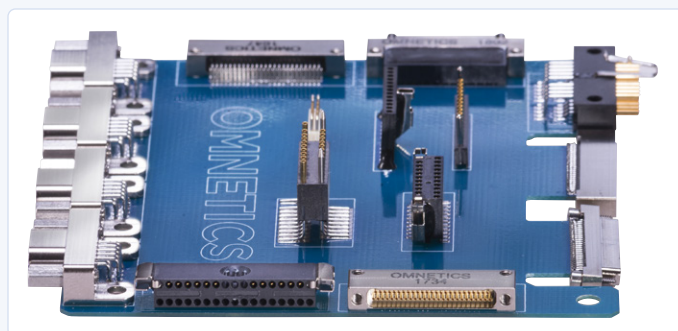
complete kabelboom kan gemakkelijk 30 tot 40 aders hebben, welk aantal exponentieel kan toenemen afhankelijk van de functie van de betreffende signalen. Micro- en nanobedrading en -connectoren lossen het ruimte- en gewichtprobleem op terwijl de prestaties passen bij die van de high-speed elektronica in het veld.

Deze geavanceerde systemen zijn klein en robuust, maar zijn in hoge mate blootgesteld aan storingen uit de omgeving, omdat ze daar worden ingezet waar de actie plaatsvindt. De ontwerpers richten zich in plaats daarvan op micro- en nanobedrading en -connectoren, omdat die goed passen bij digitale elektronica en in het veld bruikbaar zijn. Door al in een vroeg stadium van de systeemontwikkeling met de ontwerpers van kabels en connectoren samen te werken, kunnen het algemene ontwerp en de algemene prestaties van kabel- en connectoroplossingen aanzienlijk worden verbeterd. Naarmate de dichtheid van de elektronica toeneemt, zullen de signaalinhoud, de datasnelheid, de impedantie, mogelijke overspraak, de ruis- of de EMI-gevoeligheid binnen het systeem al in een vroeg stadium in overweging moeten worden genomen. Een interconnectiespecialist kan helpen bij de beoordeling van het belangrijkste draadtype, de diameter, de afscherming en de retourbedrading. Bij digitale signalen zijn de stijgtijd van de blokvolgen en de impedantie van de bedrading van belang. Dat was altijd al zo bij de RF-technologie en is nu van cruciaal belang aangezien de datasnelheid toeneemt. Sommige meervoudige digitale signalen worden getransporteerd met NRZ-spanningsniveaus (non-return to zero) zoals bij PAM-4 en kunnen gevoeliger zijn voor problemen met de signaal/ruis-verhouding. Dit wordt onder controle gehouden door een zorgvuldig ontwerp van de bedrading, de onderlinge afstand en de pinning van de connectoren.

Een standaardkabel kan gemakkelijk gigabit-signalen transporteren met differential-pair aders en een speciale retourverbinding.



Miniatuur-stripconnectoren.



Voorbeeldprint met stripconnectoren.





*Haakse nanoconnector met vergrendeling.*

Zoals al opgemerkt worden de aders afzonderlijk afgeschermd van andere adergroepen in de kabel. Naarmate de datasnelheid toeneemt, moeten de aard- of retourleidingen even snel zijn als de overgedragen signalen. Hierdoor moeten zowel de indeling van de aardleidingen als de capaciteit van de gebruikte printplaten veranderen.

Een platte micro- of nanoconnector moet zich vaak conformeren aan de printplaat met betrekking tot routing en pinafstanden. (Opmerking: een of twee reserve-connectorpinnen voor extra aardverbindingen maakt een herontwerp bij de ontwikkeling van een systeem vaak overbodig.) Veel leveranciers van connectoren bieden ontwerpen aan met standaard IPC-pads en through-hole aansluitingen, maar de IPC-normen zijn al tamelijk oud en voor nieuwere printplaten kunnen aangepaste aansluitingen en een dito pinafstand nodig zijn. Bedrijven die hoogwaardige connectoren ontwerpen, kunnen zowel standaard-formaten aanbieden als interconnectiesystemen die speciaal ontworpen zijn om aan nieuwe ontwerpcriteria te voldoen.

Ontwerpers wordt aangeraden om de militaire specificaties die zijn vastgelegd voor Micro-D (MIL-DTL-83513) en/of Nano-D (MIL-DTL 32139), als uitgangspunt te nemen. Deze twee specificaties zijn ontworpen door een team van connectorspecialisten van militaire toeleveringsbedrijven. De nadruk lag op de definitie van een reeks toepassingen in ruige en extreme omgevingsomstandigheden in de defensie-industrie. Het betrouwbaarheids gedeelte van de specificaties is gericht op insteken en losnemen, en fysieke omstandigheden als schokken, trillingen, corrosie en onderdompeling. Deze specificaties kunnen worden gebruikt als een betrouwbaarheidscriteria voor nieuwere connectoren die worden ontwikkeld, die kleiner en lichter zijn, en voor connectoren die in satelliettoepassingen worden gebruikt, of in andere zware omstandigheden.

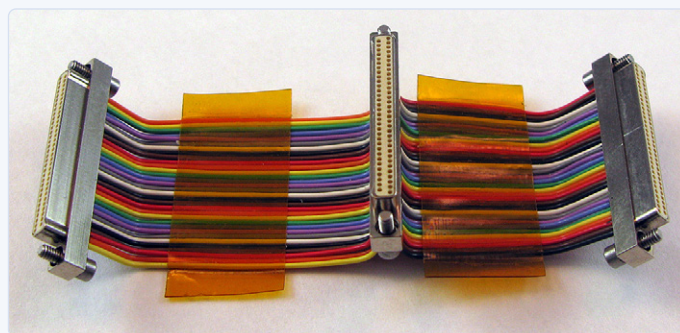
Platte miniatuurconnectoren evolueren snel en lijken in twee categorieën te vallen. Oudere modellen omvatten platte connectoren die zijn ontworpen voor de commerciële markt en die in beperkte mate zijn getest en gecertificeerd, maar die voor veel toepassingen uitstekend voldoen. Voor nieuwere toepassingen moet gebruik worden gemaakt van materialen en ontwerpen met elementen die volgens militaire normen zijn beproefd. Bedrijven zoals Omnetics Connector Corp. maken gebruik van stevige contactelementen van BeCu (berylliumkoper) die in overeenstemming zijn met de militaire specificaties, en die (eveneens conform militaire specificaties) zijn vernikkeld of verguld om de hoogste betrouwbaarheid in de industrie te garanderen. Uit proeven waarbij de connectoren herhaald worden ingestoken en losgenomen, blijkt een constante signaalintegriteit tot meer dan 2000 contactcycli. Deze platte connectoren zijn uitstekend bestand tegen schokken en trillingen, en hebben proeven doorstaan die verder gaan dan wat nodig is voor elektronica voor militaire toepassingen of voor een rover die op Mars aan het werk is. Systeemontwerpers kunnen monsters van deze platte connectoren aanvragen voor een eerste test van hun ontwerp. Platte microconnectoren met een steek van 1,27 mm (0,050") en platte nanoconnectoren met een pinafstand van 0,635 mm (0,025") zijn gevestigde normen en gemakkelijk verkrijgbaar.

Systeemontwerpers kunnen beginnen met de ontwikkeling van een aangepaste platte connector van militaire kwaliteit, in samenwerking met een connectorontwerper die met online massive modelling de connector precies op de toepassing afstemt. Wanneer het nieuwe ontwerp voldoet, kan een prototype worden besteld om de vorm, de passing en de werking te controleren alvorens verder te gaan. 3D-geprinte modellen kunnen snel naar het systeemteam worden gestuurd. De laatste stap om ervoor te zorgen dat het interconnectiesysteem aan de eisen van de moderne schakelingen voldoet, is het doornemen van de test- en eventuele unieke kwaliteitsnormen die voor uw toepassing vereist zijn. Bespreek de omgevings- of eventuele elektrische specificaties die van belang kunnen zijn met de ontwerper van de connector. .

220507-03



*Diverse stripconnectoren.*



*Kabelboom met stripconnectoren.*

# Slim – Innovatief – Kosteneffectief

GateMate FPGA's worden ontwikkeld en geproduceerd in Duitsland

## Een bijdrage van Cologne Chip

Cologne Chip AG uit Keulen is al meer dan 25 jaar een bekende naam op de markt als producent van telecommunicatiechips. Als Duitse chipfabrikant is het bedrijf er gedurende zijn hele geschiedenis in geslaagd industriegiganten als Siemens, Infineon en Intel voorbij te streven op het gebied van ISDN-chips. Twee jaar geleden presenteerde Cologne Chip op Embedded World in Neurenberg zijn nieuwste productfamilie aan zijn klanten: de GateMate FPGA's.

## Nieuwe architectuur en productielocatie in Duitsland voor bevoorradings- en planningszekerheid

De kern van de GateMate FPGA's heeft een nieuwe architectuur gekregen, die in Duitsland is ontwikkeld en op essentiële punten al gepatenteerd is. Aangezien het bedrijf een *fabless semiconductor manufacturer* is, werd bij de keuze van de productielocatie gelet op korte afstanden. Zo worden de chips vervaardigd in samenwerking met Globalfoundries in Fab 1 in Dresden.



Het bedrijf zorgt zo voor een korte leveringsketen die – vooral voor klanten in Europa – maximale leveringszekerheid en planning mogelijk maakt. Juist nu worden veel FPGA-gebruikers getroffen

door vertragingen bij de leveringen deels exorbitante prijsstijgingen. Niet zo voor de klanten van Cologne Chip. Door een uitstekende planning vooraf en het aanhouden van voorraden kan de levering aan afnemers te allen tijde worden gegarandeerd. Ook het risico van handelsbeperkingen of hoge douanerechten wordt met GateMate tot een minimum beperkt.

Technisch gezien is de nieuwe architectuur gebaseerd op zogenaamde 'Cologne Programmable Elements' (CPE's) – logische elementen met elk acht combinatorische ingangen in een zogenaamde 'LUT tree'. Elk van deze CPE's kan worden geconfigureerd met 2×4 of 1×8 ingangen en heeft dus maximaal twee uitgangen.

Door extra koppelingsmogelijkheden kunnen typische poortschakelingen bijvoorbeeld zonder cascadering worden uitgevoerd. Een intelligente *routing engine* maakt het mogelijk om multipliers van willekeurige grootte efficiënt op elk punt in de chip te configureren. Dit resulteert in een zeer hoge combinatorische dichtheid. Daardoor zijn de GateMate FPGA's ook geschikt voor de realisatie van bijvoorbeeld AI-functies.

## Doelmarkten en -toepassingen

Cologne Chip noemt low-end en low-power toepassingen als algemene doelmarkten. Overal waar kleinere FPGA's van ongeveer 20.000 logische elementen worden gebruikt, biedt de GateMate A1 FPGA een goed en kosteneffectief alternatief voor eerder gebruikte FPGA's.

Naast het gepatenteerde productieproces hebben de GateMate FPGA's ook een in hoge mate schaalbaar prestatiepotentieel. De core-spanning en klokfrequentie kunnen bijvoorbeeld worden

## Belangrijkste eigenschappen van GateMate FPGA's

### Nieuwe CPE-architectuur

- › 20.480 programmable logic elements (CPE's) voor combinatorische en sequentiële logica
- › 40.960 latches/flipflops binnen programmeerbare elementen
- › CPE bestaat uit LUT tree met 8 ingangen
- › Elke CPE configureerbaar als 2-bit full-adder of 2x2 vermenigvuldiger

### Gering stroomverbruik

- › Globalfoundries™ 28 nm SLP-proces
- › 3 bedrijfsmodi: low-power, economy, speed
- › Geen bijzonder grote opstartstromen
- › Slechts twee voedingsspanningen nodig, die in willekeurige volgorde kunnen worden aangelegd

### Bijzondere kenmerken

- › 4 programmeerbare PLL's
- › Snelle configuratie met quad SPI-interface tot maximaal 100 MHz
- › Multi-chip configuratie
- › 1.280 Kbit dual-ported block-RAM
- › Alle 162 GPIO's te configureren als single-ended of LVDS differential pairs
- › DDR-ondersteuning voor alle GPIO-cellen
- › 2,5 GB/s SERDES-controller

### Behuizing

- › 324-ball BGA-behuizing (15 x 15 mm)

gevarieerd om de verwerkingssnelheid met een factor 2,5 te schalen. Dit is ook dynamisch mogelijk tijdens de werking van de FPGA. De drie bedrijfsmodi – Low-Power, Economy en Speed – kunnen eenvoudig worden ingesteld door de core-spanning op 0,9 V, 1,0 V of 1,1 V te zetten. Hoe hoger de spanning, des te hoger de prestaties. Hierdoor kan de chip worden gebruikt voor een zeer breed scala aan toepassingen.

### Laagste 'Total Cost of Ownership' en open-source software support

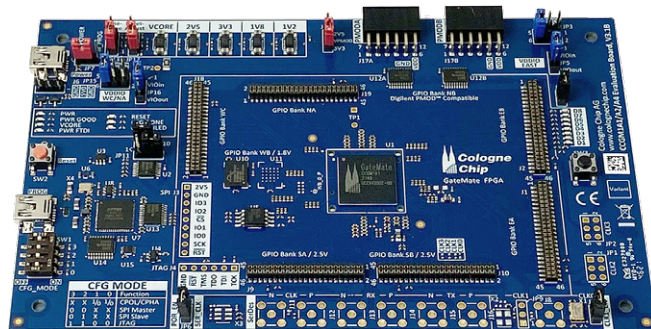
Als het gaat om kostenefficiëntie, legt Cologne Chip grote nadruk op de laagste specifieke kosten. Voor gebruikers van FPGA's is het belangrijk om de totale kosten van het gebruik van een bepaalde FPGA in de gaten te houden. Aan een goedkope chip alleen heb je niet veel zolang de kosten voor diverse periferie exorbitant hoog zijn. GateMate FPGA's hebben bijvoorbeeld slechts twee voedingspanningen nodig. Eén core-spanning en één I/O-spanning, zodat geen extra spanningsregelaars nodig zijn.

Bij de keuze van een geschikte PCB heeft de ontwikkelaar het net zo makkelijk: een PCB met slechts twee signaallagen, dus vier lagen, is voldoende om alle signalen te routen en zo kosten te besparen op extra PCB-lagen. Ook het bijhouden van de voorraad wordt vereenvoudigd, zeker als GateMate voor verschillende eindproducten wordt gebruikt. Er zijn geen 'speed grades' of soortgelijke afgeleide uitvoeringen.

Cologne Chip richt zich ook op kostenefficiëntie en flexibiliteit in de software-omgeving. Maar dat is niet de enige reden om te kiezen voor een open-source toolchain: de synthesetool "Yosys". Als er al Verilog- of VHDL-code beschikbaar is, kan deze eenvoudig met Yosys worden gesynthetiseerd in de architectuur. Het nu nog gepatenteerde "GateMate Place & Route" is gratis beschikbaar en kan na eenmalige registratie als gebruiker worden gedownload van de website van Cologne Chip. Met automatische clock skew-optimalisatie neemt de tool het porten van een schakeling naar de FPGA voor zijn rekening.

### FPGA's en evaluatiekits uit voorraad leverbaar

Vandaag de dag is het niet vanzelfsprekend dat Cologne Chip zowel hun FPGA's als de GateMate Starter Kits uit voorraad leverbaar heeft. Zelfs in 2022 kan Cologne Chip zijn klanten dus binnen enkele dagen voorzien van productiehoeveelheden FPGA's.

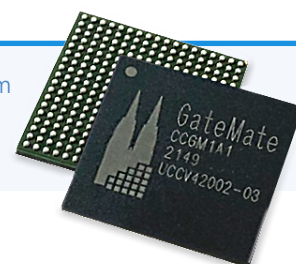


De Starter Kit zelf bevat een evaluatieboard met de GateMate A1 FPGA, een kabelset en een extra programmer – zodat de klant eenvoudig aan de slag kan met de GateMate FPGA's. ◀

220515-03

### WEBLINK

[1] Website: [www.colognechip.com](http://www.colognechip.com)





# Tools voor de ontwikkeling van goedkope sensoren



Stuart Cording  
(namens Mouser Electronics)

Als het erom gaat de wereld om ons heen in de gaten te houden, vertrouwen engineers op sensoren om fysische grootheden zoals vochtigheid te meten en deze om te zetten in signalen waar computers mee uit de voeten kunnen. Het team dat de sensoren specificeert, moet niet alleen rekening houden met de meetnauwkeurigheid en het meetbereik, maar ook met andere aspecten zoals robuustheid en bescherming tegen het binnendringen van stof en vloeistoffen. Naarmate de sensorprestaties toenemen en de geschiktheid voor de doelomgeving toeneemt, stijgen onvermijdelijk ook de kosten van de sensor. Dit veroorzaakt problemen bij de uitrol van de sensoren voor algemeen gebruik, aangezien hoge aanschafkosten een bredere toepassing ervan in de weg kunnen staan.

Een voorbeeld hiervan is de meting van stofdeeltjes, waarbij sensoren gegevens verzamelen om de luchtverontreiniging te kwantificeren. Gravimetrische sensoren die geschikt zijn om zeer nauwkeurige metingen van zwevende deeltjes te verrichten, zijn duur. Er kan echter op worden vertrouwd dat ze de nodige gegevens leveren ter ondersteuning van het inleiden van optimale tegenmaatregelen, zoals wijzigingen in de verkeersdoorstroming in steden. Omdat dit steeds belangrijke wordt, zijn er meer detectoren nodig tegen een prijs die een bredere inzet voor een meer gedetailleerd begrip van het probleem mogelijk maakt. Als gevolg daarvan wordt veel moeite gedaan om goedkopere alternatieve sensoren met vergelijkbare prestaties te ontwikkelen [1].

Dit is het compromis waar veel ontwerpers mee te maken krijgen. Er moet iets worden gemeten, maar de totale kosten, systeemgrootte, stroomverbruik en andere factoren moeten worden afgewogen tegen nauwkeurigheid, lineariteit en hysteresis van de sensor. Er moet testapparatuur worden gevonden om deze problemen op te lossen, zodat de sensor die wordt ontwikkeld kan worden geëvalueerd, vergeleken en eventueel gekalibreerd ten opzichte van een nauwkeuriger systeem.



Figuur 1. Langdurige gegevensverzameling wordt ondersteund door de Extech 250 W-milieu meters wanneer deze gekoppeld zijn aan een smartphone of tablet met Bluetooth en de ExView-app.



Figuur 2. De handheld MachineryMate 800 (MAC800) kan de trillingen van pompen, motoren, ventilatoren en lagers controleren.

## Vergelijk je sensor met milieumetingen

Handmeters zijn ideaal voor eenvoudige sensorontwerpen, zodat ze in een testopstelling naast de te ontwikkelen toepassing kunnen worden geplaatst of gemonteerd. Batterijgevoede apparaten vermijden de noodzaak van een voedingskabel en kabeldoorvoer, terwijl het display groot en duidelijk moet zijn om het aflezen van de gemaakte metingen te vergemakkelijken. Een uitstekende keuze voor een breed scala aan gegevensverzamelings taken zijn de Extech 250 W Bluetooth Connected milieumeters [2]. Vijf modellen dekken alle factoren, van windsnelheid en geluidsniveau tot vochtigheid, luchttemperatuur, rotatiesnelheid en lichtintensiteit (**figuur 1**).

Met afmetingen van slechts 150 × 53 × 28 mm en een gewicht van 80,5 g meet de RH250W de relatieve vochtigheid van 0 tot 100% met een nauwkeurigheid van ±5% en de omgevingstemperatuur van -10 °C tot 60 °C met een nauwkeurigheid van ±1 °C. Zoals alle apparaten in de serie wordt de voeding verzorgd door drie meegeleverde AAA-batterijen (1,5 V). Een automatische uitschakelfunctie beschermt de batterijen. Bovenaan in het midden bevindt zich een groot LC-display met achtergrondverlichting dat naast de huidige meting ook maximum- en minimumwaarden kan weergeven. Voor een correcte positionering van de meter voor langdurige gegevensverzameling is voorzien in een standaard statiefbevestigingsschroef (1/4").

Voor lichtintensiteitsmetingen levert Extech de LT250W. Gegevens worden tweemaal per seconde verzameld en dekken een lichtintensiteit tot 100.000 lux. Onder 9999 lux is de maximale resolutie 1 lux met een nauwkeurigheid van ±4% van de uitgelezen waarde. Daarboven verandert de resolutie in 10 lux voor waarden ≥10.000 lux en 100 lux voor ≥100.000 lux, beide met een nauwkeurigheid van ±5% van de uitgelezen waarde.

Het hele assortiment Extech-milieumeters is voorzien van een Bluetooth-interface die datatransmissie over een bereik van 90 m ondersteunt (als zender en ontvanger elkaar zien). Metingen kunnen worden verzameld op een smartphone of tablet met behulp van de ExView-app, beschikbaar voor iOS- [3] en Android- [4] apparaten. In totaal kunnen acht meters op één apparaat worden aangesloten. Een akoestisch alarm kan ook worden ingesteld voor minimum- en maximumwaarden. Gegevens kunnen gemakkelijk worden geïmporteerd in analysetools dankzij het gebruik van het gangbare CSV-formaat (kommagescheiden waarden), en foto's van de testopstelling die je met je smartphone hebt gemaakt, kunnen worden geïntegreerd in PDF-rapporten.

## Trillingen en voorspellend onderhoud

Velen van ons kennen wel een ingenieur die het griezelige vermogen heeft om te 'weten' wanneer een apparaat het einde van zijn levensduur nadert. Jarenlang luisteren naar de geluiden en het voelen van de trillingen van motoren en transportbanden geven hem een bijna goddelijk vermogen om naderende defecten te voelen aankomen. De sterk geautomatiseerde industriële systemen van tegenwoordig vereisen echter iets meer digitaal. Om tijdens de ontwikkeling van voorspellende onderhoudsoplossingen



*Figuur 3. De EMpro II-energiemeters van Phoenix Contact (met en zonder display) maken bewaking op afstand mogelijk.*

het verschil tussen 'goede' en 'slechte' trillingen vast te stellen, kunnen ontwikkelaars zich wenden tot de Amphenol Wilcoxon MachineryMate, een serie handheld trillingsmeterkits.

De MachineryMate 200 [5] (MAC200) is een handheld trillingsmonitoring- en analyse-instrument voor het diagnosticeren van storingen aan motoren, pompen, ventilatoren en lagers. Dit instrument werkt 50 uur op twee AA-batterijen (1,5 V) en levert de meetresultaten in de vorm van kleurcodes. De eerste is de ISO-waarde zoals gespecificeerd door de ISO 10816-1 snelheidstabel. Weergegeven in mm/s of inch/s, wordt de trillingssnelheid gegeven voor een frequentiebereik 10 Hz tot 1 kHz (600...60.000 rpm) of 2 Hz tot 1 kHz (120...60.000 rpm). Geluiden ten gevolge van versleten lagers kunnen ook worden gemeten; de resultaten worden aangegeven in Bearing Damage Units (BDU), met groene markering van waarden onder de 50, tot een maximum van 100 BDU.

Ten slotte biedt de meter ook een trillingsanalyse, waarmee de gebruiker kan vaststellen of de machine uit balans is, verkeerd is uitgelijnd, of dat montagebouten of funderingen los zitten.

Wanneer je kiest voor de MachineryMate 800 (MAC800), kunnen resultaten van verschillende machines en hun testpunten worden geregistreerd en overgebracht naar een PC via de USB-docking cradle (**figuur 2**). Met de meegeleverde DataMate PC-software [6] kunnen machinegegevens en zelfs historische gegevens worden vergeleken om problemen en trends op te sporen. Andere optionele extra's zijn een stroboscooplampje en een Bluetooth-hoofdtelefoon waarmee de gebruiker de signalen van de versnellingsmeter kan beluisteren.

## Bijhouden van het energieverbruik

We moeten allemaal bijdragen aan een vermindering van het energieverbruik, ongeacht dat groene of andere energie is. Bij het bouwen van complexe machines helpt het dus om een energiemeter te hebben voor monitoring en verdere analyse. Apparaten zoals de Phoenix Contact EMpro II zijn gebruiksvriendelijk en bieden



Figuur 4. De Klein Tools IR1 infrarood digitale thermometer, compleet met handige draagkoffer, maakt temperatuurmeting op veilige afstand mogelijk.

een scala aan aansluitmogelijkheden om het energieverbruik in realtime op te vragen (figuur 3).

De unit is leverbaar voor paneelmontage met display of als model voor DIN-rail montage zonder display, en is geschikt voor één-, twee- en driefase-installaties. De EMpro II [7] heeft een Modbus TCP-interface maar is ook verkrijgbaar met ondersteuning voor Modbus RTU, PROFINET en Ethernet/IP. Stroommetingen worden uitgevoerd met behulp van stroomtransformatoren of Rogowski-spoelen, terwijl de spanning van de fasen wordt bewaakt via directe verbindingen.

De geïntegreerde meertalige webserver biedt een duidelijke en moderne interface, die de gebruiker door alle instellingen leidt. Hij biedt ook realtime toegang tot metingen, alsmede definitie van alarmen en geïntegreerde logging. Er is ook een REST-API, die de integratie in zelf ontwikkelde industriële webtoepassingen vergemakkelijkt.

### Temperatuurmeting op afstand

Tijdens de ontwikkeling van systemen worden componenten vaak heet, vooral in vermogensomzetters en motor-inverters. Vanwege de vaak hoge spanningen is een contactloze methode voor temperatuurmeting raadzaam. Handheld infrarood digitale thermometers, zoals de Klein Tools IR1 [8], zijn dan de perfecte meetoplossing (figuur 4).

Het apparaat wordt gevoed uit een (meegeleverde) 9V-blokbatterij, die vijf uur gebruik mogelijk maakt met ingeschakelde achtergrondverlichting. De levensduur van de batterij wordt verlengd door een automatische uitschakelfunctie. De meetresultaten worden weergegeven in graden celsius en fahrenheit, en het ondersteunde temperatuurbereik loopt van -20 °C tot 400 °C (-4 °F tot 752 °F). Een geïntegreerde laser zorgt ervoor dat de sensor correct op het te meten onderdeel wordt gericht. Met een distance-to-spot ratio van 10:1 kan een gebiedje met een diameter van 13 mm worden gemeten op een afstand van 127 mm, of 25 mm in diameter op een afstand van 254 mm. Voor het draaggemak wordt een koffer meegeleverd.

### Steeds betere sensoren

Om betere beslissingen te nemen, machinestoringen eerder op te sporen of ons milieu beter te beschermen, bouwen ontwikkelaars detectieoplossingen die zo dicht mogelijk bij de beste meetapparatuur van dit moment liggen, terwijl de kosten zo laag zijn dat ze op grotere schaal kunnen worden toegepast. De hier besproken test- en meetapparatuur helpt hen daarbij. Door gegevens te leveren over de relevante fysieke grootheden die dan kunnen worden vergeleken met de resultaten van de goedkope sensor die ze hebben ontwikkeld, kunnen teams de nauwkeurigheid, lineariteit en hysteresis van hun eigen ontwerpen verbeteren. ◀

220524-03

## WEBLINKS

- [1] Een overzicht van goedkope sensoren voor stofdeeltjes vanuit ontwikkelaarsperspectief: [www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7730878/](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7730878/)
- [2] Extech 250W Bluetooth Connected milieumeters : <https://bit.ly/extech-250W>
- [3] ExView in Apple Store: <https://apps.apple.com/us/app/exview/id1547400277>
- [4] ExView in Google Play Store: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.extech.exview2&hl=en&gl=US>
- [5] Amphenol Wilcoxon MachineryMate™ trillingsmeterkits : <https://bit.ly/MachineryMate>
- [6] DataMate gebruikershandleiding: [https://buy.wilcoxon.com/amfile/file/download/file\\_id/611/product\\_id/387/](https://buy.wilcoxon.com/amfile/file/download/file_id/611/product_id/387/)
- [7] Phoenix Contact EMpro II energiemeters : <https://bit.ly/phoenix-contact-empro-ii>
- [8] Klein Tools IR1 10:1 infrarood thermometer met laser: <https://bit.ly/klein-tools-ir1>



November 15–18, 2022

# Driving sustainable progress.

Discover the future today.  
At electronica 2022.

**Get your ticket now!**

[electronica.de/tickets](https://electronica.de/tickets)

# Polyfuses

## vreemde onderdelen

David Ashton (Australië)

Heb je overal zekeringen liggen – maar net niet de goede om het zojuist gesprongen exemplaar te vervangen? Je bent niet de enige! Er is echter een alternatief – de polyfuse. Lees hier hoe zijn slimme chemische constructie ervoor zorgt dat hij zichzelf reset.

Hoe vaak heb je al een zekering opgeblazen? De 'zelfmoord-zekering' is een prima onderdeel om schade te voorkomen aan de waardevolle schakeling die je net hebt opgebouwd. Maar daarna moet je op jacht naar de juiste vervanging. En als je het probleem dat de zekering deed springen niet hebt opgelost, dan knalt de nieuwe zekering er ook uit, wat alles alleen maar erger maakt! Zou het niet mooi zijn als we een zichzelf resettende zekering hadden? Nou, er bestaan natuurlijk zekeringautomaten. Dat zijn echter elektromechanische componenten die je met de hand moet resetten, en ze zijn voor kleinere stromen dan 1 A amper te vinden. Bovendien zijn ze het best geschikt voor hoogspanningstoepassingen (nou ja, wat wij elektronici hoog noemen) zoals schakelpanelen.

Maar er bestaat een component die precies doet wat we willen, en die laagspanningsschakelingen kan beveiligen die tot ongeveer 100 mA verbruiken. Dat is de polyfuse. Polyfuses zijn min of meer vergelijkbaar met weerstanden met een positieve temperatuurcoëfficiënt (PTC), in die zin dat ze aanvankelijk een lage weerstand hebben. In tegenstelling tot PTC's is het echter de zelfverwarming die door een (te) grote stroom wordt veroorzaakt, die ervoor zorgt dat ze een dermate hoge weerstand krijgen dat de stroom tot een

veilige waarde wordt beperkt. Ze werden in 1939 ontdekt en gepatenteerd door Gerald Pearson van de Bell Laboratories, en worden nog steeds veel gebruikt in professionele elektronische apparatuur.

Deze componenten bevatten een organische polymeer die geïmpregneerd is met koolstofdeeltjes. Het polymeer heeft gewoonlijk een kristallijne toestand, waarbij de koolstofdeeltjes contact maken en kleine stromen goed geleiden. Bij een grotere stroom wordt de koolstof warmer, waardoor het polymeer uitzet tot een amorf toestand. Dit heeft tot gevolg dat de koolstofdeeltjes slechter contact maken, waardoor de weerstand toeneemt en de stroom afneemt. De reststroom die onder foutomstandigheden vloeit, zal de component doorgaans warm genoeg houden om de stroom te beperken – tot de oorzaak van de overbelasting is verholpen. Op dat moment koelt de polyfuse weer af, zodat de normale bedrijfsstroom weer kan lopen.

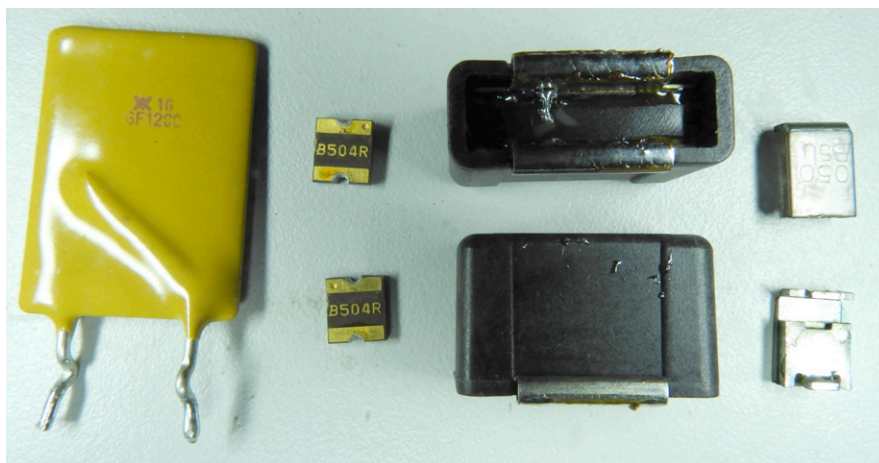
Polyfuses spreken met een korte maar merkbare vertraging aan. Daardoor bieden ze geen bescherming tegen grote overspanningen en stroompieken. Hun belangrijkste voordeel is dat ze zichzelf resetten, waardoor ze zeer geschikt zijn voor bescherming tegen kortstondige overbelasting en kortslui-

ting in bijvoorbeeld PoE-schakelingen (Power-over-Ethernet).

Zij zijn verkrijgbaar in veel verschillende uitvoeringen, als through-hole- en als SMD-types, zoals afgebeeld in **figuur 1**, en worden geleverd voor nominale stromen van 100 mA tot ongeveer 5 A. Ze zijn meestal bedoeld voor laagspanningsschakelingen tot ongeveer 30 V. Hun specificaties omvatten een *houdstroom*, de stroom waarbij zij nooit zullen uitschakelen, en een *uitschakelstroom*, de minimale stroom waarbij ze gegarandeerd zullen aanspreken. De uitschakelstroom is gewoonlijk ongeveer tweemaal de houdstroom. Omdat polyfuses voor hun werking afhankelijk zijn van een temperatuurstijging, veranderen hun specificaties bij hogere omgevingstemperaturen. Na een uitschakelconditie neemt hun weerstand vrij snel tot een lagere waarde af, maar het kan lang duren, soms dagen, voordat ze hun oorspronkelijke lage weerstand hebben bereikt. Daar moet je bij het ontwerpen rekening mee te houden.

Als goedkope en compacte component zijn polyfuses zeer geschikt voor 'inbouwen en vergeten'-beveiliging in schakelingen die af en toe aan overbelasting onderhevig kunnen zijn. ◀

220302-03



Figuur 1. Een kleine verzameling polyfuses, waaronder een geel through-hole-type (links) en diverse exemplaren voor oppervlaktemontage.

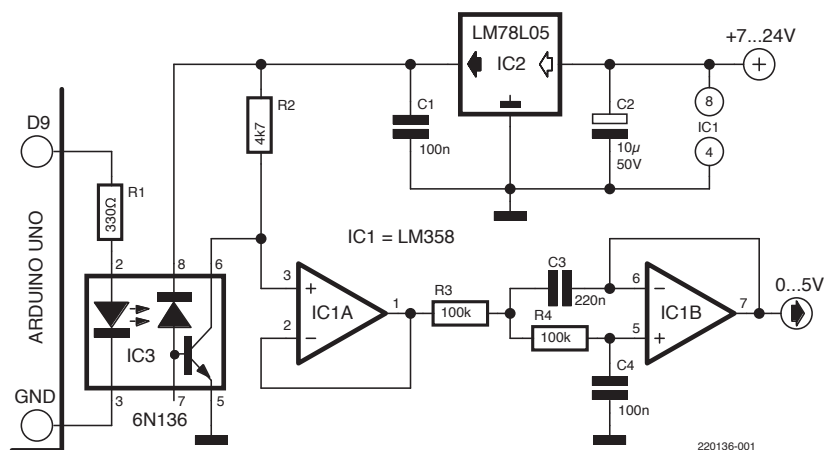


# Geïsoleerde analoge uitgang voor Arduino Uno

Giovanni Carrera (Italië)

Dit project gebruikt de PWM-uitgang van een Arduino Uno om een volledig geïsoleerde analoge uitgang met een bereik van 0...5 V of meer te realiseren.

Het gebruik van een gemiddeld PWM-sigitaal is niet vergelijkbaar met een echte DAC, maar het biedt voordelen in termen van eenvoud omdat het digitale PWM-sigitaal met een optocoupler geïsoleerd kan worden.



Figuur 1. Het eenvoudige schema.

In besturingssystemen van industriële installaties is het altijd raadzaam om zowel de ingangen als de uitgangen van en naar het veld te isoleren. Dit voorkomt storingen veroorzaakt door stroompieken, blikseminslag of andere EMI-bronnen en ook door verschillen in aardpotentiaal. Arduino Uno- of andere ATmega328-gebaseerde systemen hebben geen echte analoge uitgang, maar deze kan worden gerealiseerd door gebruik te maken van een PWM-uitgang die met een laagdoorlaatfilter wordt gemiddeld. Het gebruik van een gemiddeld 8-bit PWM-sigitaal is niet vergelijkbaar met een echte DAC. Wat isolatie betreft, biedt het echter het onbetwistbare voordeel van eenvoud, aangezien kan worden volstaan met een optocoupler om het digitale PWM-sigitaal te isoleren.

## De Arduino-PWM

Een Arduino Uno heeft verschillende pinnen (D3, D5, D6, D9, D10 en D11) die kunnen worden geconfigureerd als PWM-uitgang. Voor dit project heb ik pin D9 gebruikt omdat de andere al voor diverse zaken werden gebruikt (LCD, SD en RTC).

Het PWM-sigitaal op de pinnen D9 en D10 wordt gegenereerd door Timer1 van de ATmega328. Deze heeft een prescaler die deelt door 1,

8, 64, 256 of 1024, afhankelijk van de drie minst significante bits van het register TCCR1B. De standaardwaarde van de prescaler, ingesteld door de Arduino IDE, is gelijk aan  $N_p = 64$  (TCCR1B, bits 2...0 = 110), wat deze uitgangsfrequentie oplevert:

$$\text{PWM-frequentie} = \text{CPUClock} / (2 \times N_p \times \text{TOP}) = 16000000 / (2 \times 64 \times 255) = 490,196 \text{ Hz}$$

waarbij TOP de maximum timer/counter-waarde is.

Bij gebruik van een standaard-optocoupler met fototransistor, zoals de 4N25, is de frequentie beperkt vanwege de hoge overgangstijden, zodat ik een snellere optocoupler met fotodiode en open collector-uitgang heb gebruikt, zoals de 6N136. Om de uitgangsruis te elimineren heb ik een actief tweede-orde Sallen-Key laagdoorlaatfilter gebruikt met een afsnijfrequentie van ongeveer 11,2 Hz.

## De schakeling

Het schema, getekend in **figuur 1**, is vrij eenvoudig. De isolatie wordt bereikt met een optocoupler; uiteraard moet voor deze schakeling



een andere voeding worden gebruikt dan voor de Arduino. Als de isolatie niet nodig is, wordt het nog eenvoudiger. Sluit het filter aan op de PWM-uitgang. In dat geval is zelfs de referentie IC2 niet nodig. Ik raad aan voor IC1 een dual-opamp te gebruiken die geschikt is voor enkelzijdige voeding, zoals de LM358. Deze heeft een voedingsspanning nodig van meer dan 7 V (maar minder dan 32 V) om een uitgangsspanningsbereik van 5 V te hebben. En let op: over de regelaar valt ook 2 V.

Het voordeel van de open collector-uitgang van de optocoupler is dat we gemakkelijk een ander uitgangsbereik kan verkrijgen. Bij gebruik van een referentiespanning van 10 V en  $R_2 = 10\text{ k}\Omega$  wordt het uitgangsbereik 0...10 V, om maar een voorbeeld te noemen. In dit geval moet de LM78L05 worden vervangen door een LM317 met de juiste omringende componenten.

De condensatoren die voor het filter worden gebruikt, moeten worden nagemeten met een capaciteitsmeter. Voor mijn prototype heb ik voor C3 een aantal 220nF-condensatoren genomen en gezocht naar een waarde die in de buurt komt van 200 nF.

En voor C4 heb ik een waarde gekozen die de helft is van C3.

## Test

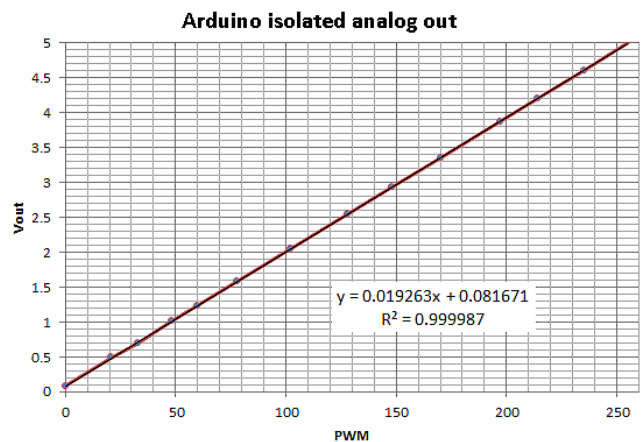
**Figuur 2** toont een lineaire regressie-plot van de 14 meetpunten van mijn prototype. De testomstandigheden zijn:

- PWM-frequentie = 490,196 Hz
- $V_{in} = 12\text{ V}$
- $V_{ref} = 5,00\text{ V}$

De standaardafwijking is ongeveer 6,1 mV, dus de resultaten zijn zeer goed bij de standaard PWM-frequentie. Ik heb het systeem ook getest met een frequentie van 3921,569 Hz, maar toen was de standaardafwijking 39 mV. De grootste fouten worden gevonden bij een grote duty cycle-waarde. Dan zijn de pulsen smal en is de stijgtijd hoog; dit verschijnsel veroorzaakt niet-lineariteit. De periode is  $T = 1/3921,569 = 255\text{ }\mu\text{s}$ . De smalste puls heeft een duur van ongeveer  $1\text{ }\mu\text{s}$ , ongeveer dezelfde waarde als de stijgtijd van de pulsen. De oorzaak van de niet-lineariteit is juist aan dit verschijnsel te wijten. Bij gebruik van de standaardfrequentie van 490,196 Hz heeft de kleinste puls een duur die acht maal zo groot is, zodat de lineariteit sterk wordt verbeterd.

## Het Arduino-programma

Om het systeem te testen, gebruikte ik een Arduino Uno met een LCD en een



Figuur 2. De kalibratiekromme.



### Listing 1. Broncode [1]

```
// program to test Arduino Uno PWM at 3.9 kHz
// G. Carrera 30 sept 2016

#include <LiquidCrystal.h>

int PWMpin = 9;           // PWM out on digital pin 9
int analogPin = 0;        // potentiometer connected to A0
int val = 0;              // variable to store the read value
char spacestring[17] = "                ";

// initialize the library with the numbers of the interface pins
LiquidCrystal lcd(7, 6, 5, 4, 3, 2);

void setup() {
  pinMode(PWMpin, OUTPUT); // sets the pin as output
  lcd.begin(16, 2);        // set up number of columns and rows
  lcd.setCursor(0, 0);     // set the cursor to column 0, line 0
  lcd.print("Stalker PWM"); // Print a message to the LCD
}

void loop() {
  val = analogRead(analogPin) >> 2; // read the potentiometer as 8 bit
  analogWrite(PWMpin, val);
  val = 255-val;                  // complement
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(spacestring);
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(val);
  delay(500);
}
```



## ONDERDELENLIJST

### Weerstanden:

R1 = 330  $\Omega$ , 5%

R2 = 5k1, 5%

R3 = 100 k, 5%

R4 = 100 k, 1%, metaalfilm

### Condensatoren:

C1 = 100 n, keramisch

C2 = 10  $\mu$ /50 V elco

C3 = 200 n, mylar, 2%

C4 = 100 n, mylar, 2%

### Halfgeleiders:

IC1 = LM358 dual opamp

IC2 = LM78L05 spanningsregelaar

IC3 = 6N136

### Diversen:

Arduino Uno-board

potmeter aangesloten analoge ingang A0 om de duty cycle van de PWM te variëren. De broncode van de Arduino-sketch is afgedrukt in **listing 1**.

220136-03

## Vragen of opmerkingen?

Hebt u technische vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar de auteur via [g.carrera@elettronicae-maker.it](mailto:g.carrera@elettronicae-maker.it) of naar de redactie van Elektor via [redactie@elektor.com](mailto:redactie@elektor.com).



## GERELATEERDE PRODUCTEN

> **Arduino Uno Rev3 (SKU 15877)**  
[www.elektor.nl/15877](http://www.elektor.nl/15877)

> **W. A. Smith, Ultimate Arduino Uno Hardware Manual (Elektor 2021, SKU 19678)**  
[www.elektor.nl/19678](http://www.elektor.nl/19678)

## WEBLINK

[1] Broncode: [www.elektormagazine.nl/220136-03](http://www.elektormagazine.nl/220136-03)

# Deel je ideeën en elektronica projecten

*eender welke  
moeilijkheidsgraad*

op [www.elektor-labs.com](http://www.elektor-labs.com)  
en wordt beroemd!!



Start nu een nieuw project op:  
[www.elektor-labs.com](http://www.elektor-labs.com)

design > share > sell



# Oost West Lab Best

## ...ontdekt de Theremin



Gottfried Karenovics (Duitsland) en Eric Bogers (Elektor)

Vraag mensen of ze weten wat een Theremin is, en in de meeste gevallen zul je geen antwoord krijgen. Een paar menen te weten dat de Beach Boys in het nummer Good Vibrations een Theremin hebben gebruikt – maar dat klopt niet helemaal: daar ging het om een later ontwikkeld en eigenlijk geheel ander (want niet aanraakloos) instrument, een zogenaamde Electro-Theremin [1]...

*Al in zijn jeugd had Gottfried Karenovics (jaargang 1943, gepensioneerd chemieleraar) gelezen dat het mogelijk was “in het veld tussen twee antennes” muziek te maken – zonder snaren of toetsen aan te raken. De gedachte liet hem niet meer los.*

“In 2008 stuitte ik in het internet op Lydia Kavina [2][3][4], de beste Thereminspeelster ter wereld en achternaam van Lev Termen (later Léon Theremin) die het gelijknamige instrument in 1920 had uitgevonden en in 1928 heeft gepatenteerd [5]. Ik wilde per se ook zo’n instrument bezitten. De Theremins die in de handel te koop zijn (de meeste van Moog) waren te duur, en daarom besloot ik een eigen exemplaar te ontwikkelen. En dan niet zomaar eentje – ik wilde de ‘Steinway onder de Theremins’ bouwen.”

*Op elektronica gebied is de heer Karenovics autodidact; hij heeft talrijke transistorschakelingen ontwikkeld, onder andere een schakeling om*

*zeer kleine warmtestromingen te detecteren in het kader van zijn promotie-onderzoek aan de Universiteit Dortmund. De ontwikkeling en bouw van de Theremin namen geruime tijd in beslag; in 2013 was zijn (eerste) instrument – in concertkwaliteit – gereed (figuren 1 en 2).*

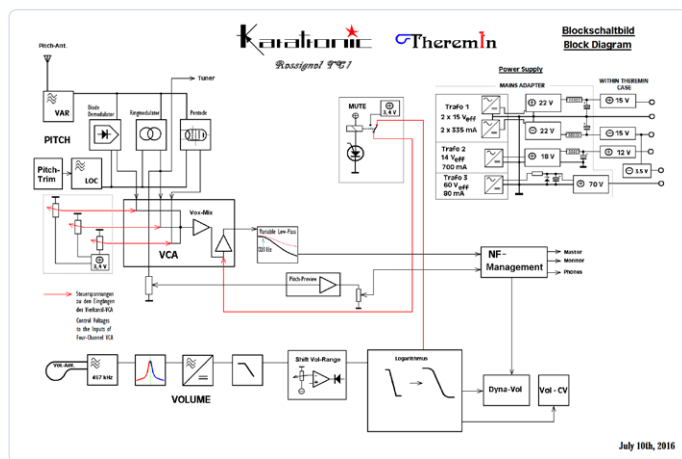
“Mijn Theremin heeft drie oscillatoren: twee voor de toonhoogte (een lokaal en een variabel) en een voor de volumeregeling. Ik heb de oscillatorschakelingen met assistentie van LTSpice ontworpen en stap voor stap verbeterd en geoptimaliseerd – tot het punt waar ze niet slechts bevredigend maar perfect functioneerden. De LC-oscillatoren van mijn prototype werken bij 530 kHz. De antenneschakeling is een seriekring bestaande uit twee spoelen met een kleine trimcondensator daartussen. Wanneer de resonantiefrequentie precies wordt getroffen, wordt het ‘toonhoogte-veld’ fraai cilindrisch en lineair.”

“De volume-oscillator werkt op 467 kHz. De steile filterschakeling

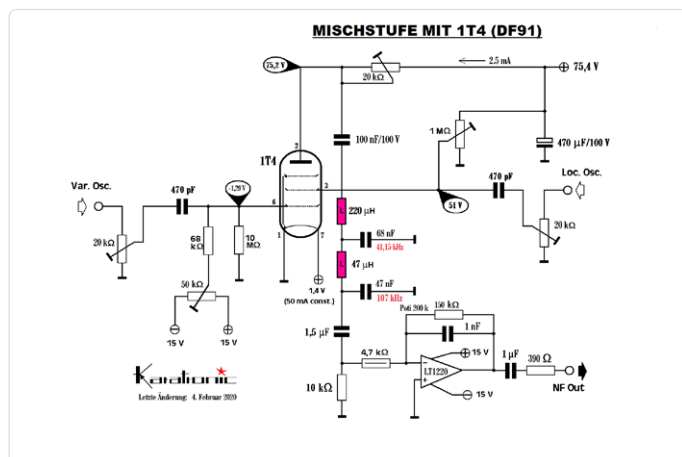




Figuur 1. De Theremin van Gottfried Karenovics in volle glorie.



Figuur 2. Blokschema van de zelfbouw-Theremin.



Figuur 3. De mengtrap is opgebouwd rond een 1T4.

(een seriekring in de eerste trap en een parallelkring in de terugkoppellus) zorgt voor een groot regelbereik – wanneer je je linkerhand in of direct boven de lusantenne houdt, wordt het geluid volledig onderdrukt. Door je linkerhand omhoog te bewegen neemt het volume met 100 dB toe.”

“De toonhoogte-regeling bestaat uit drie demodulatorschakelingen: een ringmodulator, een diode-demodulator en een schakeling rond een miniatuur-pentode (een 1T4 met een anodespanning van 70 V en een gloeistroom van 50 mA). Deze drie signalen kunnen met een ‘mengpaneeltje’ worden samengevoegd en leveren een fraaie klank (figuur 3).”

“In tegenstelling tot de instrumenten van marktleider Moog biedt mijn Theremin een unieke frequentiestabiliteit; het instrument behoudt zijn instellingen gedurende jaren – omdat ik kwalitatief hoogwaardige onderdelen heb gebruikt, zoals micacondensatoren en ferriet-potkernspoelen in de frequentiebepalende schakelingen. De Moog Etherwave raakt al binnen enkele weken tot enkele maanden ontstemd en moet dan opnieuw worden afgeregeld, wat nog niet zo eenvoudig is.”

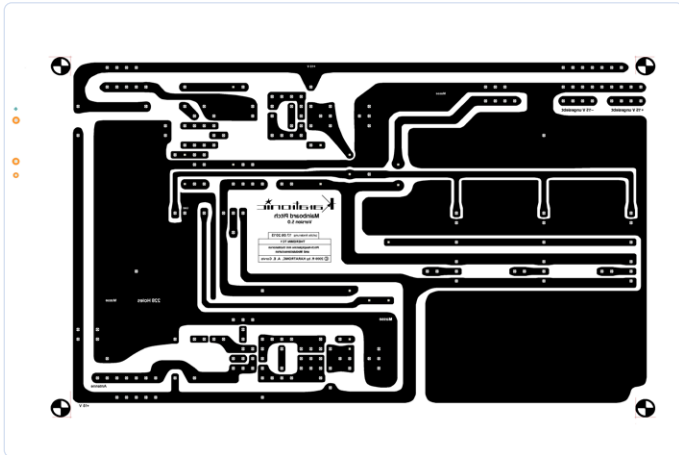
Tijdens een bezoek aan Colmar (Elzas) heeft Lydia Kavina het instrument van de heer Karenovics bespeeld; de klank van de zelfbouw-Theremin is haar bijzonder goed bevallen.

Een probleem bij een Theremin is natuurlijk dat de speler/spelster niet snel even de bladmuziek kan ombladeren; dat zou catastrofale gevolgen hebben voor toonhoogte en volume. De heer Karenovics werkt daarom aan een bladmuziek-rolmachine, waarmee de tot een rol aan elkaar geplakte bladmuziek met behulp van pedalen vooruit en terug gerold kan worden. Hiertoe heeft hij een platte behuizing geconstrueerd met aluminiumrollen aan de zijkanten, die met behulp van servomotoren en tandriemen worden aangedreven. Helaas werkt dat tot nog toe alleen goed bij dunne rollen; bij dikkere rollen (dus langere muziekstukken) gaat het papier golven en loopt dan vast. Daar moet dus nog het een en ander aan gebeuren, bijvoorbeeld met meenemer- en slipkoppelingen.

“Voor de behuizing van mijn Theremin heb ik plexiglas gekozen, omdat dit de elektromagnetische velden niet of nauwelijks beïnvloedt. De printen voor de elektronica heb ik zelf ontworpen – in Microsoft Paint getekend, en daarna zelf belicht en geëtst (figuren 4 en 5). Paint is een heel simpel programma, maar het helpt keurig rechte printsporen te tekenen en de printen overzichtelijk te houden.”

In zijn werkplaats (figuur 6) heeft de heer Karenovics niet uitsluitend aan zijn Theremin gebouwd. Omstreeks 1997 ontwikkelde en bouwde hij een elektrosmog-detector voor laagfrequente elektrische en magnetische stoorvelden; het is een handzaam apparaatje geworden waarvan hij 20 stuks aan een kleine zelfstandige in de buurt heeft verkocht. En onlangs heeft hij een tijdschakelaar gebouwd op basis van een 7555, die de luchtpomp van een orgel inschakelt en na een vast ingestelde tijd van 3 uur weer uitschakelt – de organist vergat namelijk regelmatig zelf de motor van de pomp uit te schakelen.

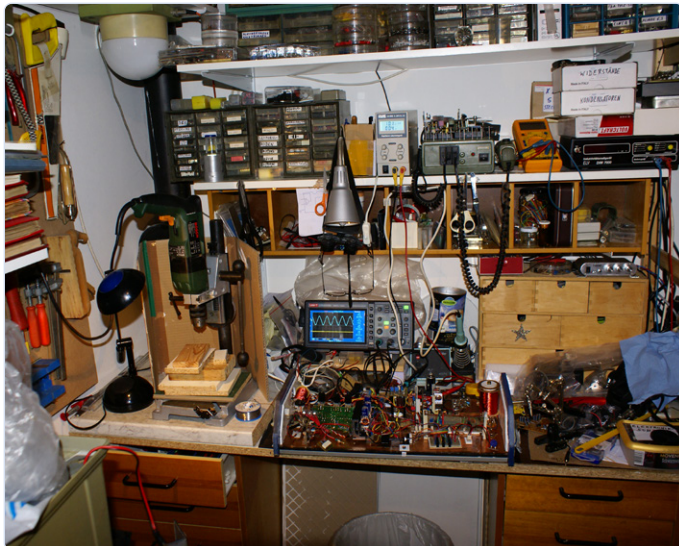
“Om een Theremin te kunnen bespelen, is een muzikaal gehoor onontbeerlijk; daarnaast kan het geen kwaad wanneer je al een



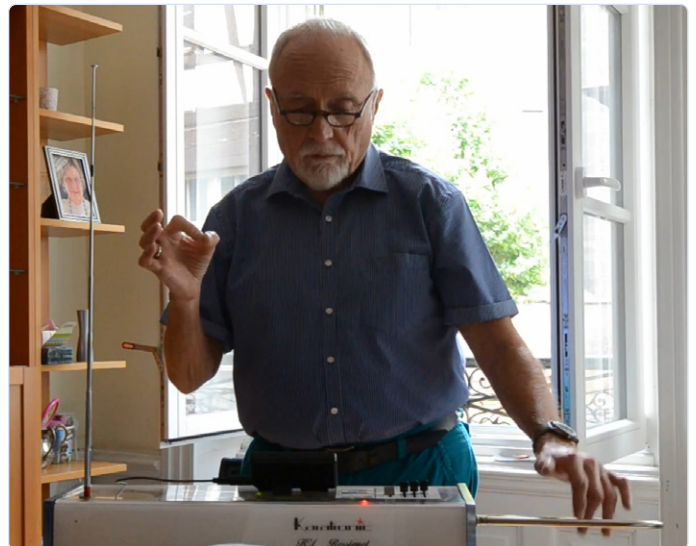
Figuur 4. Ook met Microsoft Paint kunnen nette printen worden ontworpen.



Figuur 5. Is bier het geheim van een goed geëteste print?



Figuur 6. Hier wordt nog steeds veel werk verzet.



Figuur 7. De heer Karenovics bij een uitvoering, natuurlijk op eigen instrument.

ander instrument kunt bespelen. Regelmatig oefenen is absoluut noodzakelijk om een soort spiergeheugen te trainen, zodat na verloop van tijd je arm 'vanzelf' weet waar welke toon zit. En stiekem hoop ik nog altijd dat een firma zich zodanig voor mijn instrument interesseert om het in serie te bouwen..."

200717-03

### Vragen of opmerkingen?

Hebt u vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar de auteur of naar de redactie van Elektor via [redactie@elektor.com](mailto:redactie@elektor.com).

### WEBLINKS

- [1] De Elektro-Theremin, bekend van Good Vibrations: <https://en.wikipedia.org/wiki/Electro-Theremin>
- [2] De website van Lydia Kavina: [www.lydiakavina.com/](http://www.lydiakavina.com/)
- [3] Biografie van Lydia Kavina: [https://en.wikipedia.org/wiki/Lydia\\_Kavina](https://en.wikipedia.org/wiki/Lydia_Kavina)
- [4] Zo goed klinkt een Theremin: [www.youtube.com/watch?v=tXgkXTSTXgQ](https://www.youtube.com/watch?v=tXgkXTSTXgQ)
- [5] Biografie van Lev Termen: [https://nl.wikipedia.org/wiki/L%C3%A9on\\_Theremin](https://nl.wikipedia.org/wiki/L%C3%A9on_Theremin)



# E-FFWD

## electronica fast forward 2022 powered by Elektor

15 - 18 november 2022,  
electronica, München

### de deelnemers en het programma

Udo Bormann (Elektor)

Het evalueren van alle inzendingen was spannend; de jury – bestaande uit onze redacteuren, ingenieurs en experts – heeft verschillende start-ups, scale-ups en bedrijven bekeken die nieuwe technologieën hebben gedemonstreerd. Maar nu is het tijd voor de resultaten en met veel genoegen presenteren we de definitieve deelnemerlijst voor de electronica fast forward 2022 – powered by Elektor. We hebben negen deelnemers geselecteerd – elk met een technologie die indruk op onze jury heeft gemaakt. Van het dunste inductieve laadapparaat tot een autonoom rijdend wiel – we stellen u uitstekende technologieën voor en de teams die deze mogelijk hebben gemaakt. Bezoek ons op electronica 2022 op onze stand in hal B4.440. Maak kennis met de deelnemers en bekijk hun technologie. Dit is misschien wel de beste kans om in een vroeg stadium mee te doen met innovatieve technologie die de toekomst van de elektronica kan veranderen!

Tijdens een ceremonie op vrijdag om 11:00 uur zullen we drie startup-awards uitreiken en de bijbehorende prijzen overhandigen. De winnaars krijgen een deel van een Elektor-marketingbudget van in totaal € 150.000.



Dit zijn de deelnemers aan **electronica fast forward 2022 – powered by Elektor**, in alfabetische volgorde.

#### AirHood (Frankrijk)

AirHood is een draagbare afzuigkap voor fornuis/kookplaat die vet, rook en kookluchtjes daar reduceert waar ze ontstaan, en die de vorming van oliefilm op oppervlakken tegengaat. Hij houdt de lucht en het aanrecht schoon en geeft een vriendelijk maar niet opdringerig tintje aan elke keuken. <https://theairhood.com>



#### AMSEL GmbH (Duitsland)

AMSEL staat voor *Advanced Materials and Surfaces for Environment and Life*. AMSEL GmbH streeft naar innovatieve en ecologische chemie-



vrije oplossingen voor oppervlaktetechniek door het gebruik van de compacte, veilige, gebruikers- en milieuvriendelijke eBlaze-technologie. Doelstellingen zoals bubble-free en residue-free solderen van vermogenselektronica, bubble-free hechting van conformal coating, en het creëren van een luchtdichte lijmverbinding in elektronica-behuizingen kunnen worden opgelost met inline eBlaze-behandeling.

### Ecurie Aix – RWTH Aachen University Project (Duitsland)

De naam van dit team verwijst naar de autosportgeschiedenis van de regio Aken. Op minder dan een uur afstand ligt het beroemde racecircuit Spa-Francorchamps, waar niet alleen de wereldberoemde Raidillon de l'Eau Rouge ligt, maar ook het Formule 1-team Ecurie Francorchamps zijn thuisbasis had – dat destijds de motorsport domineerde. Het Franse woord voor raceteam, Ecurie, werd overgenomen in de naam van het RWTH-team en gecombineerd met Aix-la Chapelle, de Franse naam voor Aken. Het Ecurie-team zal hun nieuwste ontwikkelingsproject, de autonoom rijdende eax01, presenteren.

<https://ecurie-aix.de>



kunnen maken dan ze anders zouden kunnen. Met de LumenPnP, een desktop pick-and-place machine die de printplaatassemblage automatiseert, hoef je nooit meer met de hand je printplaten te assembleren. En met deze open-source machine is uitbesteden niet nodig.

### Treesense (Duitsland)

Treesense stelt mensen in staat de wereld der bomen beter te begrijpen. Het bedrijf stelt alles in het werk om ervoor te zorgen dat mensen de eindige hulpbronnen van het ecosysteem duurzaam kunnen gebruiken. Dat betreft vooral schoon water en lucht, bodemvruchtbaarheid, een gezond klimaat en biotoop, en bescherming van soorten – en vooral ook de recreatieve mogelijkheden van bossen. Treesense onderzoekt en ontwikkelt technologieën op basis van de nieuwste wetenschappelijke inzichten om bomen als centraal onderdeel van ons ecosysteem te behandelen.

<https://treesense.net>



### V-Juice (Duitsland)

V-Juice wordt het slimste en beste oplaadapparaat dat je kunt kopen. Het is het dunste en minst opvallende laadstation dat overal waar een stukje oppervlak beschikbaar is, kan worden geïnstalleerd en verwijderd en weer geïnstalleerd...

<https://v-juice.xyz>

**V-Juice**



### QUADRUPED Robotics (Duitsland)



QUADRUPED Robotics is gespecialiseerd in de ontwikkeling en distributie van onderzoeks- en ontwikkelingscomponenten. Bij QUADRUPED Robotics ligt de nadruk meer op applicatieontwikkeling voor meerbenige robots, vooral gebaseerd op Unitree-producten.

<https://quadruped.de>

### Voltera (Canada)

Voltera maakt additieve elektronica-platforms waarmee productontwikkelaars de innovatieve oplossingen van vandaag kunnen ontwerpen – of ze nu stijf, zacht, flexibel of rekbaar zijn. Ze helpen je de brug te slaan tussen wat je kunt doen en wat je zou willen doen met elektronica.

<https://voltera.io>



### Opulo (Verenigde Staten)

Het doel van Opulo is om machines te maken waarmee mensen op grotere schaal producten



### wheel.me (Zweden)

wheel.me is 's werelds eerste autonome wiel dat bestaat uit een robotische component, indoor navigatietechnologie en data-analyse, waardoor je alles wat je maar wilt moeiteloos kunt laten bewegen.

<https://wheel.me>

**wheel\_me**

Ben je van plan de electronica-beurs te bezoeken? Vergeet de electronica fast forward-stand niet, waar we dit jaar ons eigen speelveld hebben waar de deelnemers hun technologie in actie laten zien. Wil je een specifieke deelnemer zijn technologie zien presenteren, bekijk dan het programma hiernaast en noteer het in je agenda. Alle presentaties vinden plaats in hal B4, stand 440. Elektor heeft daar uiteraard een eigen plekje, en we willen je daar graag ontmoeten.

Tijdens een ceremonie op vrijdag om 11:00 uur zullen we drie startup-awards uitreiken en de prijzen overhandigen. De winnaars krijgen een deel van een Elektor-marketingbudget van in totaal € 150.000.

Natuurlijk heeft Elektor hier een eigen plekje; we kijken er naar uit je daar te ontmoeten. 

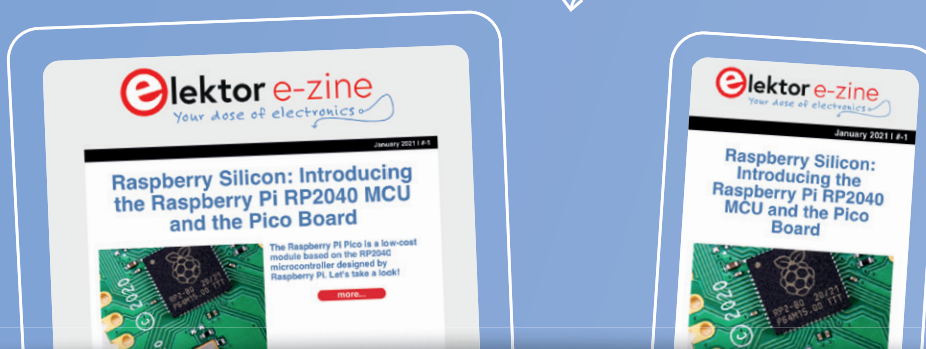
220422-03

*Dit is het officiële programma* 

| Programma            |        |         |                                      |
|----------------------|--------|---------|--------------------------------------|
| Dag                  | Begint | Eindigt | Wie                                  |
| Dinsdag<br>15 nov.   | 10:00  | 18:00   | Expert Meetup                        |
|                      | 11:00  | 11:30   | Treesense                            |
|                      | 11:45  | 12:15   | QUADRUPEd Robotics                   |
|                      | 12:30  | 13:00   | AMSEL                                |
|                      | 13:15  | 13:45   | Ecurie Aix                           |
|                      | 14:00  | 14:30   | Voltera                              |
|                      | 14:45  | 15:15   | wheel.me                             |
|                      | 15:30  | 16:00   | Opulo                                |
|                      | 16:15  | 16:45   | Airhood                              |
| Woensdag<br>16 nov.  | 10:45  | 11:15   | V-Juice                              |
|                      | 11:30  | 12:00   | Voltera                              |
|                      | 12:15  | 12:30   | wheel.me                             |
|                      | 12:45  | 13:15   | Ecurie Aix                           |
|                      | 13:30  | 14:00   | Treesense                            |
|                      | 14:15  | 14:45   | AMSEL                                |
|                      | 15:00  | 15:30   | Opulo                                |
|                      | 16:00  | 16:15   | QUADRUPEd Robotics                   |
|                      | 16:30  | 17:00   | Airhood                              |
| Donderdag<br>17 nov. | 10:30  | 12:00   | Officiële pitch, Cyber Forum Hall B4 |
|                      | 13:00  | 13:30   | Voltera                              |
|                      | 14:00  | 14:30   | QUADRUPEd Robotics                   |
|                      | 15:00  | 15:30   | Ecurie Aix                           |
| Vrijdag<br>18 nov.   | 11:00  | 11:30   | Ceremonie                            |

# elektor e-zine

Your dose of electronics



Elke week dat u zich niet inschrijft voor ons Elektor E-zine mist u leuke elektronica-gerelateerde artikelen en projecten!

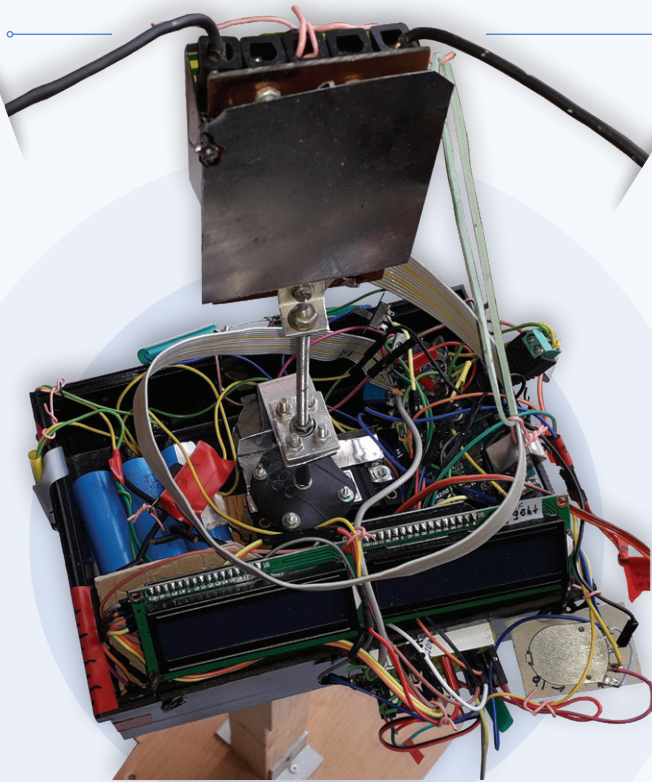
Dus, waarom nog langer wachten? Abonneer u vandaag nog op [www.elektor.nl/ezine](http://www.elektor.nl/ezine) en ontvang bovendien een gratis Raspberry Pi projectboek!



**elektor**  
design > share > sell

# Radio-richting-zoeker

spoor verloren weersensoren op



Prototype van de radiorichtingzoeker.

Rolf Hase (Duitsland)

Als je meerdere draadloze sensoren rond een weerstation hebt opgesteld, kan het gebeuren dat je een of meer van deze sensoren niet meer kunt vinden. Misschien zijn ze overwoekerd door struiken, of heb je gewoon vergeten waar je ze hebt geplaatst. Dit project kan helpen. Je kunt gebruik maken van radiorichtingzoekers om draadloze sensoren te lokaliseren.

Een goed weerstation kan niet alleen de luchttemperatuur, luchtdruk en luchtvochtigheid meten, maar ook min of meer betrouwbare informatie verschaffen over de verdere ontwikkeling van het weer. Daartoe moeten echter ook de windrichting, de windsnelheid, de hoeveelheid en duur van de neerslag, het niveau van de zonnestraling en andere parameters worden gemeten, die allemaal worden geëvalueerd door geavanceerde microcontroller-software in het weerstation. Hiervoor is een groot aantal passende sensoren nodig, die meestal draadloos met het weerstation zijn verbonden ("connect and forget"). Hier zijn we vooral geïnteresseerd in 433MHz-modules.

Om met behulp van radiorichtingzoekers (Radio Direction Finding, RDF) een zoekgeraakte weersensor te lokaliseren,

moet je eerst weten hoe een weerstation werkt. Dit betekent niet dat je het specifieke pulsschema van een bepaald merk moet kennen, maar wel dat je inzicht moet krijgen in het dataverkeer. Afgezien van Manchester- of Ethernet-codes zijn er niet zoveel verschillende manieren om een serieel bitpatroon uit te zenden, en met de rtl\_433 software [1] kun je het dataverkeer van elke sensor gemakkelijk decoderen, ook al is de software ontworpen voor een heel scala aan frequenties. Er is zelfs een gecompileerde versie online beschikbaar, maar alleen voor 433 MHz.

## De principes

We mogen aannemen dat de zendfrequentie van een weerstation in de ISM-band (industrial, scientific, medical) bij 433,92 MHz of 868 MHz ligt, gesta-

biliseerd door een resonator – daarmee verraden we geen geheimen. Maar dit is meteen het probleem: alle zenders in de omgeving – je eigen exemplaren en die van je burens – werken op één of beide van deze frequenties. Deze apparaten, die gewoonlijk worden gevoed door twee AA-batterijen, zenden met een afgestraald vermogen in het mW-bereik en met een zeer kleine duty cycle, zodat ze bijzonder energie-efficiënt zijn. Er worden één tot drie datapakketten verzonden, gescheiden door zeer lange intervallen, in ons geval 44 s (**figuur 1**). Dit gebeurt met een uiterst nauwkeurige timing, aangezien zelfs het eenvoudigste weerstation dezelfde nauwkeurigheid heeft als een kristalgestuurde klok.

Dankzij deze precisie kan een slimme hobbyist of maker zijn eigen sensor prioriteit geven door een kleine DIL-schakelaar in de positieve voedingslijn van de ontvanger op te nemen. Wanneer de juiste knop gedurende twee tot drie seconden ingedrukt wordt gehouden, gaat het weerstation in de zoekmodus waarbij de ontvanger gedurende twee tot drie minuten van stroom wordt voorzien (waarover later meer). Het ontvangersymbool knippert dan. Zodra je sensor wordt gedetecteerd, druk je op de DIL-schakelaar. Op deze manier is je eigen sensor de enige die in het tijdsregister wordt gemarkeerd. Nadat



de zoekmodus is afgelopen, schakel je de stroom weer in, en alles werkt weer als vanouds gedurende langere tijd.

Een laag stroomverbruik is ook belangrijk bij ontvangers in weerstations, aangezien de meeste op batterijen werken. Ze maken gebruik van de uiterst nauwkeurige timing van de steeds terugkerende datapakket-transmissies om de ontvanger op het juiste moment in te schakelen, onder besturing van een schakelsignaal. Als je een breedbandontvanger (zoals mijn goede oude ICOM PCR1000 [2]) in de buurt van de ontvanger houdt, kun je het geluid van de superregeneratieve ontvanger (ook bekend onder de namen reflexontvanger of reflexaudion) horen opstarten vlak voordat het datapakket arriveert. Tegenwoordig is superregeneratieve werking zelfs in het UHF-bereik mogelijk dankzij de moderne halfgeleiderstechnologie. De ruis op de PCR1000 komt van de hoge versterking die wordt bereikt door afwisselend wel en niet te oscilleren. Natuurlijk worden op dit gebied ook superheterodyne ('superhet') ontvangers gebruikt. Het verschil is dat een superhet-ontvanger een gevoeligheid heeft van  $-112$  dBm, terwijl een eenvoudige ontvanger ongeveer  $6$  dBm slechter is. Daarmee genoeg over weerstations, RF en elektronica, als voorbereiding het echte onderwerp: radiorichtingzoeken.

## Van idee...

We hebben de volgende uitgangssituatie: de sensor en het weerstation werken naar behoren, maar we moeten de sensor terugvinden. Een oscilloscoop – zoals mijn PicoScope, gekocht bij de Elektor Store, met zijn uitstekende digitale triggerkarakteristieken – is hierbij een grote hulp. Voor mijn richtingzoekende ontvanger heb ik een compacte Aural RX 4MM5 superhet-ontvanger [3] gebruikt. Voor de eerste tests om de relevante datapakketjes op te nemen, is alles wat nodig is een korte antenne (ongeveer  $16$  cm lang) aangesloten op de superhet-ontvanger die hoog boven de rest van de hardware is gemonteerd. De bouw instructies in de datasheet moeten in zoverre in acht worden genomen dat ofwel een klein stuk printplaat ofwel op zijn minst relatief dikke draden moeten worden gebruikt als massa-soldeerpunt. Veel andere typen superhet-ontvangers die door de auteur zijn getest, vertoon-



*Figuur 1. De 433MHz-band is zeer druk bezet. Signalen van verschillende zendmodules zijn hier zichtbaar. De pulsreeks in het midden is degene die we willen.*



*Figuur 2. Timing is cruciaal voor de selectie van de middelste puls.*

den oncontroleerbare en aanhoudende oscillaties.

Voor de eerste oriëntatie heb ik een oortelefoon-interface, bestaande uit een weerstand van  $470\ \Omega$  en een kleine elektrolytische condensator, aangesloten op de pulsuitgang (pen 14 van de RX 4MM5). Parallel hieraan bewaakte ik alles op de PCR1000, ook met een korte draadantenne van ongeveer  $16$  cm lang. De oscilloscoop moet ingesteld worden op single-shot trigger mode, omdat dit de enige manier is om te triggeren op de gewenste gebeurtenis (de relevante pulsreeks).

Om het juiste gegevenspakket uit te filteren, heb ik een batterij-reset uitgevoerd op het ontvangende weerstation (door letterlijk de batterij eruit te halen en weer te plaatsen),

omdat dit automatisch het zoeken naar de sensor start. Het weerstation toont dan onmiddellijk een geldige waarde zodra die van de sensor komt, en de timing daarvan zou ook moeten overeenkomen met het signaal op de oscilloscoop als er geen interferentie is van een ander signaal.

De puls- en pauzeduur van het pakket kunnen worden afgelezen van het oscilloscoopscherm (figuur 2, opgenomen van het volttooid apparaat). De lengte van het betreffende pakket is  $321$  ms, terwijl een ander pakket een lengte had van  $340$  ms. Deze procedure is dus relatief tijdskritisch, maar uitvoerbaar, en het bespaart zoeken naar een ID-nummer binnen de pulsen. De op deze manier bepaalde tijden zullen niet veranderen, en zijn ingevoerd in de

software van de radiorichtingzoeker. De golfvorm toont ook de afname van het signaalniveau ten gevolge van het schakelen van de antennes door de PIN-diodes (waarover later meer). Door het grote dynamische bereik van deze meting worden diverse fouten vermeden die onvermijdelijk optreden bij handmatige richtingbepaling. De digitale L/H-overgang in de bovenste rode golfvorm in figuur 1 geeft aan dat de Arduino zowel de juiste (middelste) puls als de pulsonderbreking heeft herkend, en kort daarna het niveau van de tweede puls heeft gemeten, dat wordt weergegeven in de onderste regel van het display. De evaluatie van het signaalniveau houdt ook risico's in, aangezien het laagdoorlaatfilter een signaalfank produceert die, via de signaalsterkte (nabijheid van de zender) en de drempelwaarde, van invloed is op de tijd die de Arduino als evaluatiecriterium gebruikt. Deze methode is echter betrouwbaar gebleken. Een alternatieve benadering is het meten van de lengte van het datasignaal (de getriggerde pulsen) met behulp van een sample-and-hold schakeling, maar dit zou betekenen dat we te maken krijgen met tijdconstanten.

Omdat ik mij niet wilde uitsloven zoals de deelnemers aan een vossenjacht (zie **kader**), is het beter om de richtingzoeker te laten draaien door een servomotor in plaats van door de gebruiker. Het is maar een kleine stap van dit idee tot geautomatiseerde werking met een servo.

Het bleek echter niet zo eenvoudig om een bruikbaar apparaat te ontwikkelen. Ik bouwde namelijk eerst een 70 cm Yagi-antenne met zes elementen, vanwege de geringe bandbreedte, en gebruikte die voor tests in de tuin. Deze waren zeer tijdrovend vanwege de lange signaalintervallen, en leverden uiteindelijk geen bruikbare resultaten op. Een constructie vergelijkbaar met die van een vossenjachtontvanger [4][5] is eigenlijk beter: een los, hand-held apparaat met een RF-dichte behuizing en een eigen voeding, zonder een irritante kabel die bij beweging het RF-veld zou kunnen veranderen. Bovendien heeft de oscilloscoop voor daadwerkelijk gebruik op een weerstation een moeilijke taak: hij moet elke 44 seconden het juiste (en zeer korte) signaal uitfilteren uit talloze andere signalen en het signaalniveau relatief constant houden, ondanks grote fluctuaties. Dat is gewoon hopeloos, dus het gebruik van een servo om

de antenne(s) automatisch te laten draaien is het enige alternatief.

### ...naar schakeling

Boeken zoals Alois Krischke's *Rothammel's Antenna Book* staan vol met fraaie antennepatronen. Om zulke patronen vast te leggen heb je ideale vrije veld-omstandigheden en nauwkeurige testapparatuur nodig. In dit geval gaat het echter niet om exacte waarden voor elke hoek, maar alleen om de richting van het minimum. Bovendien wil je de buurt niet lastig vallen met een CW-zender. Om de te verwachten richtingskarakteristiek grofweg te meten, plaatste ik een kleine, goedkope zendmodule met resonator (een afstandsbediening voor een draadloos stopcontact die op 433,92 MHz werkt en waarvan de knop ingedrukt wordt vastgezet, kan ook kortstondig voor dit doel worden gebruikt) zo ver mogelijk van mijn huis vandaan (7 tot 8 m).

Aan ontvangerzijde gebruikte ik een potentiometer om de hoek van de servo proportioneel te regelen (wat toch al nodig was voor het dynamisch testen van de mechanische constructie), samen met een gradenboog om het antennepatroon met intervallen van 30 graden te registreren. Hiervoor heb ik geschikte besturingsprogramma's geladen. Met wat ik van deze proeven had geleerd, stelde ik een richtingzoekende ontvanger samen die bestond uit de elementen die in het schema van **figuur 3** zijn aangegeven. De twee  $\lambda/4$  antennes staan haaks op elkaar. De PIN-dioden zorgen ervoor dat de twee antennes nooit tegelijk worden ingeschakeld en dat ze elkaar zo min mogelijk beïnvloeden.

Indien **filtering** noodzakelijk is, kan een laagdoorlaat T-filter bestaande uit twee luchtkernspoelen van verzilverd koperdraad (drie windingen op een vorm van 3 mm) en een condensator van 2,2 pF rechtstreeks op elke antenne worden aangesloten (niet afgebeeld in het schema). Een print is hier een goed idee omdat dit een lage, compacte constructie met antenneaansluitingen en PIN-diodes mogelijk maakt. De condensatoren dienen als soldeer'pennen'.

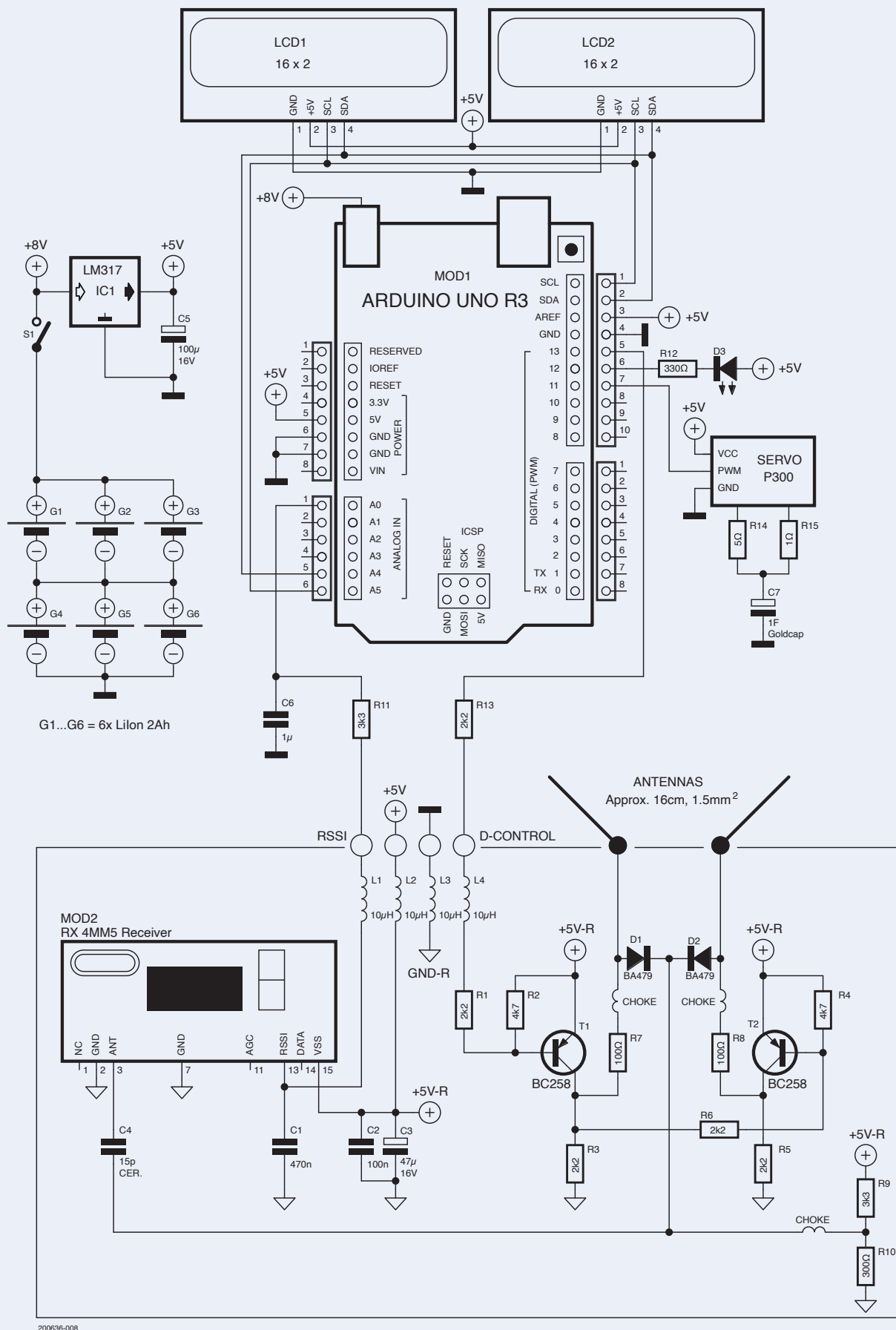
De superhet-**ontvangermodule** RX 4MM5 ontvangt de signalen van de antennes en geeft onder andere de signaalsterkte (RSSI) door. Dit analoge signaal, met een bereik van ongeveer 1,2 V (bij -120 dBm) tot 2,2 V (bij -30 dBm), is het enige signaal dat wordt

gebruikt. Het wordt afgevlakt door een laagdoorlaatfilter (3,3 k $\Omega$ /1  $\mu$ F) en aangesloten op analoge ingang AO van de Arduino. De **Arduino** voert drie taken uit: hij evalueert het gefilterde RSSI-signaal van de ontvanger en toont het resultaat op een tweetal 16x2-displaymodules; hij schakelt de twee antennes afzonderlijk in; en hij stuurt de servo in de juiste posities voor het uitvoeren van de metingen.

De **servo** heeft een bereik van ongeveer 180 graden in zes stappen van 30 graden, vanaf helemaal links, voor een totaal van zeven meetpunten. Wanneer een geldig datapakket wordt gedetecteerd, wordt de meetwaarde van de eerste puls, die overeenkomt met de linker antenne, weergegeven op de bovenste regel van het linker **display**. Vóór de tweede puls van hetzelfde pakket van drie pulsen wordt de rechterantenne door de PIN-diodes ingeschakeld, waarna de waarde van de tweede puls na een insteltijd van enkele milliseconden wordt gemeten en op de onderste regel van het display wordt weergegeven. Daarna draait de servo verder en wacht op het volgende datapakket.

Het minimum van de gemeten waarden geeft de richting aan naar de zender, zoals hieronder nader wordt besproken. Het rechter display is, samen met de potentiometer rechts en het breadboard, bedoeld voor diagnose en gedetailleerder onderzoek (zoals het aansturen van de servo met de potentiometer in het beginstadium van de ontwikkeling).

Zoals te verwachten is, staat het minimum ongeveer loodrecht op de schijnbare richtingsoriëntatie van de twee antennes, die in een hoek van 90 graden ten opzichte van elkaar zijn opgesteld, zoals te zien is in het prototype. Hoewel de antennes elektrisch gescheiden zijn door de BA479-diodes, werkt de linker antenne als een director voor de rechter antenne onder een bepaalde hoek (in overeenstemming met de theorie van Yagi-antennes met één of meer directors, een dipool en een reflector), maar omdat hij daarvoor te lang is, werkt hij meer als een reflector en verzwakt hij het signaal in die richting. Dit is goed te zien op het display (**figuur 4**), waar de antenne visueel naar de reeds bekende positie van een weersensor op ongeveer 5 m afstand wijst. Van links naar rechts zien we deze waarden (in paren): 4: 50/43, 5: 47/34 en 6: 51/46. Met name de waarde 34



Figuur 3. Schema van de richtingzoeker-ontvanger. -R: ontvangerkant;  $\lambda/4$ -smoorspoel: 16 cm 0,2 mm koperdraad op 3mm-vorm. Aansluiting op roterende antennemodule: 14-aderige flexibele lintkabel, 50 cm ( $3 \times \lambda/4$ ). BA479: PIN-diode.





Figuur 4. Informatie op het display.

voor de rechterantenne (onderaan op het display), die in deze positie door de linkerantenne wordt afgedekt, laat precies dit effect zien. De richtinggevoeligheid is dus duidelijk gedefinieerd. Een ander criterium is de grootte van de waarden, aangezien de veldsterkte afneemt met het kwadraat van de afstand ten gevolge van het groter wordende oppervlak.

Voor autonoom gebruik van de richtingzoeker-ontvanger wordt hij gevoed door zes lithium-ion batterijen (twee sets van drie in serie geschakeld). De uitgangsspanning van de batterijen wordt door een vaste spanningsregelaar (LM317) teruggebracht tot 5 V voor de voeding van de elektronica. Merk op dat de voedingsspanning van de antenneschakeling rechtstreeks van pin 15 van de ontvangermodule moet worden afgenomen.

### Softwaretaken

Iedereen die (zoals ik) veel heeft geprogrammeerd in assembleertaal, waar de software heel dicht bij de computer-hardware staat en real-time overwegingen meestal minder relevant zijn, heeft twijfels of een hogere taal, zoals de C-variant van de Arduino, wel real-time kan functioneren als het gaat om tijdkritische toepassingen. Alles lijkt heel eenvoudig, maar hogere talen hebben hun interne conventies die je moet kennen of met vallen en opstaan moet leren.

Het initialisatiegedeelte van de sketch [6] behoeft geen nadere toelichting. De drempelwaarde is daar gedefinieerd en moet eventueel worden aangepast. Een opmerkelijke parameter is een insteltijd van enkele seconden om de Arduino op te laten warmen. In tegenstelling tot de ESP32, die alleen schattingen van analoge waarden geeft, heeft de Atmel ATmega328 een nauwkeurige A/D-omzetter, die hier wordt gebruikt. De analoge waarde wordt gelezen aan het begin van de hoofd `loop()`. Hiervoor zijn er de twee routines `MessWert` en `TestWert`, die alleen verschillen in het aantal metingen afhankelijk van de beschikbare tijd. De lengte van de High-puls wordt gemeten na een ontdenderbewerking. Dit wordt gedaan

door het tijdsverschil te meten met de functie `millis()`, zodat de beginwaarde moet worden opgeslagen. Net als bij metingen met de oscilloscoop moet de High-puls een duur hebben van 63 tot 76 ms. Als aan deze voorwaarde is voldaan, wordt de vlag `Block1` op 1 gezet. Vervolgens wordt ook de pauzetijd gemeten. Als de totale tijd tussen 117 en 127 ms ligt, is de betreffende sensor gevonden en wordt `Block1` op 2 gezet. Na een wachttijd voor de opgaande flank van de tweede puls (`delay(20)`), wordt `Wert2` bepaald voor dezelfde horizontale draaiing en later op het display onder `Wert1` geschreven. De rest is ongecompliceerd. De zeven posities van het LCD kunnen met de parameter `k` worden geadresseerd, tot maximaal de 37ste seconde, of met voldoende afstand tot de 44ste seconde, waar de volgende meting van het sensor-datapakket plaatsvindt.

De vraag of de Arduino real-time taken aankan, kan softwarematig worden opgelost met precies deze opstelling van `while`- en `for`-lussen. Ik moest de lussen wel doorlopend nummeren, omdat ik anders na een tiental lussen de draad kwijtraakte. Terwijl de software op de puls wacht, mag hij niets anders doen dan wachten. Met name het aansturen van het display heeft bijna 20 ms nodig, wat natuurlijk niet mogelijk is bij een pulslengte van 75 ms of een pauze van 50 ms. We weten echter dat nadat een datapakket is gedetecteerd, het kanaal 44 seconden stil zal zijn. Dat is meer dan genoeg tijd.

De relevante puls- en pauzetijden worden met een bepaalde tolerantie bepaald. Ook de triggerdrempel voor de puls is belangrijk. Dit wordt geregeld door middeling over een redelijk tijdsinterval. Zoals eerder gezegd, werkt het allemaal precies zoals het hier is geprogrammeerd. Je moet daarom voorzichtig zijn met wijzigingen anders dan de numerieke parameters voor de pulsen, tenzij je de lusstructuur intact laat. Sommige van de hulpprogramma's die ik online vond en aanpaste, bijvoorbeeld voor de servobesturing, zijn opgenomen in de download bij dit artikel [6] en kunnen worden gebruikt voor je eigen experimenten.

### Compartmentatie

Goede afscherming is belangrijk voor radio-richtingzoekers, en de ontvanger is bovendien ondergebracht in een vertind plaatstalen behuizing als afscherming tegen sterke mobiele basisstations. Mijn ervaring met het bouwen van RF-apparatuur (versterkers en converters) met printplaten in gescheiden compartimenten kwam hier goed van pas. Ik heb de delen van de printplaat op maat geknipt voor de bestaande antenne-aansluitdoos en ze op hun plaats gesoldeerd, met tussenliggende compartimenten voor de versterkertrappen zo dicht mogelijk bij de antenne. Het informatieblad voor de superhet-ontvanger beveelt een groot massavlak aan, dus heb ik die op een stuk printplaat gemonteerd. Als je geen ervaring hebt met striplijnen, zijn geëtsde printbanen problematisch in het UHF-bereik.

Het apparaat is gebouwd als een compacte eenheid, zodat geen afscherming van het binnencompartiment nodig is en alleen de ontvanger als geheel ter afscherming in gesoldeerd blik is behuïsd. Vrijstaande bouw of gebruik van de module in bijvoorbeeld een weerstation is alleen mogelijk als de massa-aansluitingen van de pinnen kort en niet te dun worden gehouden, met waar nodig ontkoppelcondensatoren.

Om de eerder genoemde redenen moet de mechanische constructie zo autonoom mogelijk zijn. De voeding wordt verzorgd door zes standaard lithium-ion cellen, wat meer is dan we elektrisch nodig hebben, maar dit zorgt voor een betrouwbare werking en een beetje reserve. Ik heb een vierkante staaf op een basisplaat geschroefd en bovenop een bakelieten doos gemonteerd voor de batterijen, de Arduino-print en de servo, met de servo in het midden. Boven de servo heb ik een metalen plaatje gemonteerd waarin een klein kogellager met een M4-draadeind is aangebracht. De ontvanger is aan de bovenkant van deze staaf met een kleine beugel gemonteerd. De elektrische verbinding met de ontvanger wordt verzorgd door een dunne, elastisch opgehangen 14-aderige lintkabel van ongeveer 50 cm lang. Dat correspondeert met  $3 \times \lambda/4$  en helpt de 10µH-smoorspoelen die in alle aansluitingen van de ontvanger zijn opgenomen.

Zoveel aansluitdraden als in de foto zijn

eigenlijk niet nodig, omdat alle signaal- en voedingslijnen aan weerszijden massalijnen hebben. Dit zorgt voor een goede afscherming en is slechts marginaal slechter dan coax.

Aanvankelijk installeerde ik een miniatuurservo omdat de antenneconstructie zeer gemakkelijk te roteren was. Dat bleek een vergissing te zijn, want er moet ook rekening worden gehouden met traagheid. De servo, waarvan de motor wordt aangedreven door een brugschakeling, is dom en geeft zijn volle vermogen zodra hij wordt ingeschakeld, zodat het kleine tandwielkastje al snel versleten was. Gelukkig had ik een servo van het type PS300 met een groter koppel in mijn onderdelenkast. Je leeft en leert. Voor de zekerheid heb ik meteen een RC-T-netwerk in de motoraansluiting opgenomen, bestaande uit twee weerstanden ( $1\ \Omega$  en  $5\ \Omega$ ) en twee Goldcaps (in totaal 1 F), waardoor het opstarten met ongeveer 1 seconde wordt vertraagd. Verder heb ik een rubberen sluitring uit een binnenband van een fiets gesneden en op de drager geschroefd. De draadstang wordt door deze ring aangedreven, waardoor schokkerige bewegingen worden gedempt. Deze maatregelen hebben het probleem van de (te) dynamische aandrijving opgelost.

Als het gaat om radiatorichtingzoekers in de radioamateurwereld, moet zeker de zogenaamde Spandau-richtingzoeker worden genoemd; deze is nog steeds verkrijgbaar bij Funkamateurl.de [7]. In het VHF-bereik wordt hij gebruikt met meer gekoppelde antennes dan hier geschikt zou zijn. In de tijd van de Koude Oorlog werd de Spandau-richtingzoeker in West-Berlijn gebruikt voor de jacht op Stasi-spionnen. Natuurlijk speelde de extreem geringe duty cycle van de weersensoren (400 ms in 44 s) toen geen rol. Op de technische schaal, die geen bovengrens kent, zou koppeling van de twee methoden met gebruikmaking van BA479-schakeldiodes zeker denkbaar zijn. ◀

200636-03

## De gewone radioamateur

Wie jaagt daar op vossen in veld, bos en weiland? De sportieve radioamateur, zo'n gezonde kerel!



(foto: K. Theurich, uit Funkamateurl 9/88, met vriendelijke toestemming van de Funkamateurl-redactie)

We kunnen niet zeggen dat de gewone radioamateur (imperitus scintillae vulgaris) een eenzaam, troosteloos koptelefoon-dragend bestaan leidt in zijn radiohut, luisterend naar vervormde, luidruchtig tsjilpende geluiden en zich voedend met lauwe pizza en zoete, kleverige drankjes. Een oplettende waarnemer kan soms kleurrijk geklede figuren met vreemde buisvormige metalen constructies over de velden zien bewegen en door de bosjes zien kruipen. Waarom doen radioamateurs zulke

dingen? Is het een gemeenschappelijke inspanning om voedsel te verzamelen, of misschien een ongewoon soort paringsritueel?

Nee, niets van dat alles. Deze radioamateurs doen aan vossenjacht, wat niet wil zeggen dat ze op onschuldige dieren schieten. In plaats daarvan doen ze mee aan een vreedzame radiosport, of meer formeel, aan radioamateur-richtingzoeken in de terminologie van de DARC. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een lichtgewicht draagbare ontvanger, in combinatie met een kaart en een kompas, om in het terrein verborgen zenders op te sporen, meestal opererend in de 80m-band (3,579 MHz) of – moeilijker – in de 2m-band (144,5 MHz). Dit kan een vriendelijke recreatieve activiteit zijn voor mensen van alle leeftijden, maar (vooral in Oost-Europa) zijn er ook serieuze en inspannende wedstrijden, tot en met wereldkampioenschappen. Voor beschrijvingen en meer informatie, zie [5].

## Vragen of opmerkingen?

Hebt u technische vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar de auteur via [rolf.hase@arcor.de](mailto:rolf.hase@arcor.de) of naar de redactie van Elektor via [redactie@elektor.com](mailto:redactie@elektor.com).



## GERELATEERDE PRODUCEN

- Arduino Uno Rev3 (SKU 15877)  
[www.elektor.nl/15877](http://www.elektor.nl/15877)
- PicoScope 2204A USB Oscilloscope (10 MHz) (SKU 17303)  
[www.elektor.nl/17303](http://www.elektor.nl/17303)



## WEBLINKS

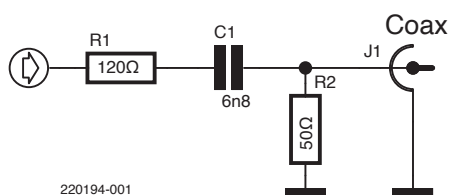
- [1] rtl\_433 op GitHub: [https://github.com/merbanan/rtl\\_433](https://github.com/merbanan/rtl_433)
- [2] IC-PCR1000:  
[www.funkamateurl.de/typenblaetter-1.html?file=tl\\_files/downloads/typenblaetter/frei/IC-PCR1000\\_typ.pdf](http://www.funkamateurl.de/typenblaetter-1.html?file=tl_files/downloads/typenblaetter/frei/IC-PCR1000_typ.pdf)
- [3] RX 4MM5: [www.velleman.eu/downloads/7/rx4mm5\\_usersmanual.pdf](http://www.velleman.eu/downloads/7/rx4mm5_usersmanual.pdf)
- [4] Over "vossenjacht":  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Amateur\\_radio\\_direction\\_finding](https://en.wikipedia.org/wiki/Amateur_radio_direction_finding)
- [5] Wat is ARDF? (Duitstalig): <https://ardf.darc.de/pubrel/wasist.htm>
- [6] Downloads bij dit artikel: [www.elektormagazine.nl/200636-03](http://www.elektormagazine.nl/200636-03)
- [7] Spandau-richtingzoeker in "Funkamateurl" 9-11/2011 (Duitstalig):  
[www.box73.de/product\\_info.php?products\\_id=2503](http://www.box73.de/product_info.php?products_id=2503)

# Schat de interne ruis van een IC

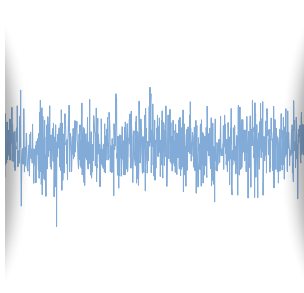
een eenvoudige methode

Mario Rotigni (Italië)

Met een eenvoudige sonde kun je de interne ruis van geïntegreerde schakelingen beoordelen. Bouw en gebruik van de probe kan nuttige informatie opleveren en kan je in staat stellen de doeltreffendheid te controleren van een wijziging die is uitgevoerd om de geleide emissie op de voedings- of signaallijnen te reduceren. Dit kan helpen bij EMC-debugging.



Figuur 1. Het 150Ω-netwerk.



De bron van elektromagnetische emissie bij moderne elektronische apparatuur is vaak te herleiden tot een geïntegreerde schakeling. De industrie heeft internationale normen ontwikkeld die specifieke testmethoden op het niveau van de geïntegreerde schakeling specificeren en waarvoor geen dure infrastructuur vereist is. Een in de halfgeleider-industrie populaire methode wordt voorgesteld in IEC61967-4. Deze methode wordt "150  $\Omega$  direct coupling" genoemd, en maakt het mogelijk de elektromagnetische ruis te meten die aanwezig is op één specifieke pin van een geïntegreerde schakeling. Hiervoor is de eenvoudige interfaceschakeling nodig die in **figuur 1** is afgebeeld (het 150- $\Omega$ -netwerk). De ingang (links) is verbonden met het meetpunt in kwestie. Connector J1 wordt gewoonlijk aangesloten op een spectrumanalyzer die de ruisamplitude in het frequentiedomein weergeeft. Het 150- $\Omega$ -netwerk is in feite een hoogdoorlaatfilter en vervult twee belangrijke taken. In de eerste plaats belast het het meetpunt met een bekende impedantie (ongeveer 150  $\Omega$ , zoals je waarschijnlijk al vermoedde), waardoor verschillende metingen kunnen worden vergeleken, omdat deze onder dezelfde omstandigheden zijn verricht. In de tweede plaats vormt het netwerk de vereiste 50 $\Omega$ -impedantie voor het meetinstrument. De condensator voorkomt bovendien dat er een te hoog DC-niveau op de uiterst gevoelige ingang van de spectrumanalyzer terecht kan komen. Technisch gezien wordt de geleide emissie van het te analyseren knooppunt gemeten – de onbedoelde RF-spanning die zich via de fysieke verbindingen voortplant.

## Metingen

De meting van de afgestraalde emissie vormt gewoonlijk een aanvulling op het onderzoek van geïntegreerde schakelingen, maar dat is niet het onderwerp van dit artikel. Het is mogelijk op de voedingspinen te meten, meestal met een koppelcondensator van 6,8 nF, maar ook op ingangs- of uitgangspinnen. Aangezien uitgangspinnen actief kunnen zijn, bijvoorbeeld wanneer een kloksignaal aan een externe component wordt doorgegeven, is het van belang de waarde van de koppelcondensator aan te passen aan de maximale capacitieve belasting die in de datasheet van de te testen geïntegreerde schakeling wordt vermeld. De kantelfrequentie van het netwerk is 174 kHz met 6,8 nF en 24 MHz met 50 pF. Boven de kantelfrequentie, in de voor metingen bruikbare frequentieband, bedraagt de verzwakking idealiter een constante 15 dB.

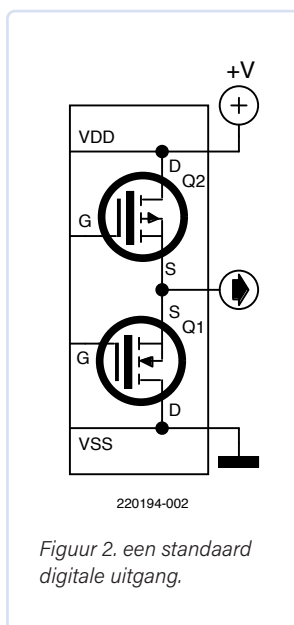
Voor de formele toepassing van de methode moet het 150 $\Omega$ -netwerk in een testprint worden geïntegreerd volgens nauwkeurige layout-regels. Dezelfde methode kan in het thuislab op een minder formele manier worden toegepast door het netwerk op een interessant net van onze print te implementeren of door het als een probe uit te voeren. De herhaalbaarheid en stabiliteit van de metingen komen op deze manier



in het gedrang, waardoor onzekerheid ontstaat met betrekking tot de belastingsimpedantie en de frequentierespons. De resultaten maken het echter mogelijk tendensen te zien, wat helpt bij het reduceren van de ruis. Het is bijvoorbeeld mogelijk om verschillende ontkoppelcondensatoren bij één specifieke voeding te evalueren, of de invloed van de verschillende uitsturingsniveaus te beoordelen die veel moderne microcontrollers voor hun GPIO-pinnen bieden.

### Pre-conformiteitstests

Interessant is dat wanneer de probe wordt toegepast op een statische digitale uitgangspin, we een idee krijgen van de ruis op de interne voedingsrails. In feite (zie **figuur 2**), wanneer de uitgangspin een hoog logisch niveau heeft, is de PMOS-transistor in geleiding en heeft een lage weerstand; dat biedt toegang tot de interne voedingslijnen. Bij een laag niveau geeft de NMOS-transistor toegang tot de interne VSS. Het zou interessant kunnen zijn om verschillende perifere schakelingen van een microcontroller in en uit te schakelen en het effect op de geproduceerde ruis te bekijken. Deze tests kunnen deel uitmaken van



pre-compliance elektromagnetische tests. In principe zou een kalibratie een sonde betrouwbaarder kunnen maken, maar de onzekerheid die wordt veroorzaakt door de verbinding met de te testen component blijft een lastig op te lossen probleem. ◀

220194-03

### Over de auteur



Mario Rotigni werd geboren in 1958 in Bergamo (Italië); hij behaalde een diploma in elektrotechniek in 1977. Hij ontdekte elektronica als een hobby toen hij 14 was. In 1978 werd elektronica zijn beroep. Hij werkte in R&D aan het ontwerp van procesinstrumentatie voor gebruik in zeer 'vijandige' elektromagnetische omgevingen. Na het ontwerpen van automatische testapparatuur voor microcontrollers, trad hij in dienst bij een grote halfgeleiderfabrikant, waar hij verschillende functies bekleedde in engineering, ontwerp en nu in R&D in de Automotive Product Group.

### Vragen of opmerkingen?

Hebt u technische vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar de auteur via [m.rotigni@eletronicaemaker.it](mailto:m.rotigni@eletronicaemaker.it) of naar de redactie van Elektor via [redactie@elektor.com](mailto:redactie@elektor.com).

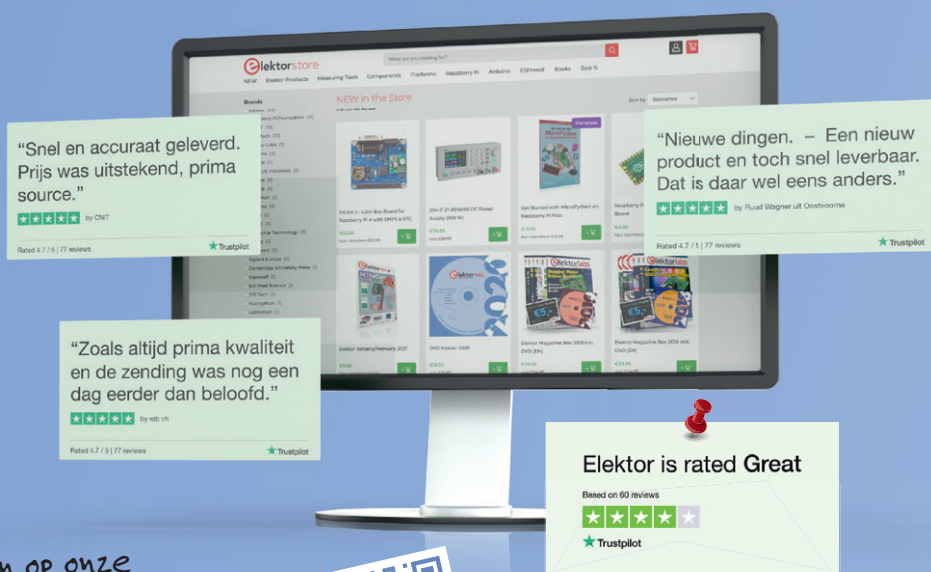
# Zij vertrouwen ons, u ook?

Wij houden van elektronica en van projecten, en doen ons uiterste best om aan de behoeften van onze klanten te voldoen.

De Elektor Store:  
**'Nooit duur,  
altijd verrassend'**

Bekijk meer beoordelingen op onze Trustpilot-pagina: [www.elektor.nl/TP](http://www.elektor.nl/TP)

of oordeel zelf door een bezoek te brengen aan onze Elektor Store, [www.elektor.nl](http://www.elektor.nl)



# ETHIEK IN ACTIE



powered by WEEF

**Don Akkermans (voorzitter, WEEF) en Shenja Panik (projectleider, WEEF)**

Het World Ethical Electronics Forum inspireert vernieuwers overal ter wereld met open discussies en publicaties over ethiek en duurzame ontwikkelingsdoelen. Doe mee aan het WEEF 2022 op 15 november 2022 – persoonlijk op electronica 2022 of live online – om uw ideeën te delen over milieuvriendelijke ontwerppraktijken, SDG's, ethische HR-praktijken, duurzame hulpbronnen, e-afvalbeheer, STEM-diversiteit en nog veel meer.

Eindelijk heeft de elektronica-industrie haar eigen discussieplatform over ethiek en economie – het World Ethical Electronics Forum (WEEF). Veel te lang hebben lobbyisten, activisten, NGO's en politici de discussie gedomineerd, en zij benadrukten slechts de slechte invloeden die elektronicabedrijven op mensen en de planeet hadden. Consumenten werden doorgaans afgeschilderd als willige slachtoffers van de marketingcampagnes van de elektronica-industrie, die hen zogenaamd in een eeuwigdurende koopgolf van producten hielden. Het beeld was somber: consumenten werden afgeschilderd als een naar de winkel rennende massa die producten kocht om behoeften te bevredigen waarvan ze niet eens wisten dat ze die hadden. Een lid van het Zweedse parlement stelde ooit (met een smiley) voor om wetten te maken die het koopproces 12 maanden stilleggen; de wereld zal dan binnen een jaar in een gelukkig groen oord veranderen! Die smiley was terecht: zelfs tijdens de recente lockdowns en het bijna totaal tot stilstand gekomen auto- en vliegverkeer is de CO<sub>2</sub>-uitstoot met slechts 4% verminderd. De koperseconomie stoppen is dus misschien niet de perfecte oplossing. Maar wat dan wel? Leuk weetje: in Amsterdam kun je poster-

grote cartoons vinden – een winkelmedewerker zegt: “We hebben niets te verkopen” en de klant antwoordt: “Dat is precies wat ik zoek.” Ja, er zit waarheid in de slogan ‘minder is meer’. Waarom de wereld vervuilen met airconditioningsystemen als eco-gebouwen een koel klimaat creëren dankzij slim gebruik van (vaak traditionele) materialen en een intelligent ontwerp?

Geen zorgen over dalende inkomsten als innovators en startups niet-elektronische oplossingen zouden vinden. Elektronische toepassingen zitten binnenkort toch bijna overal in. Zelfs in handdoeken. “Ping!” zegt de IoT-handdoek-app op je mobiel: “Doe me alsjeblieft in de was, want ik ben al zeven keer gebruikt.”

Meer elektronica in meer producten en meer robots en AI-gestuurde toepassingen in plaats van ouderwetse menskracht – het is een onstuitbare ontwikkeling. Dat is goed nieuws voor de industrie. Er zal genoeg kapitaal zijn om ook te investeren in de ontwikkeling van duurzame elektronica, eerlijke handel, duurzame distributie en sociaal personeelsbeleid – kortom, ethisch zakendoen. Als ondernemers en CEO's mensen en de planeet even hoog achten als winst, zullen bedrijven op de lange termijn betere veranderingen brengen dan kortzichtige politici en hun kortzichtige kiezers.

Dat was echter niet altijd het geval.



*Het eerste WEEF-forum in 2021 maakte duidelijk: ingenieurs zijn idealisten maar ook realisten. De industrie heeft geen behoefte aan agressieve alles-of niets-denkers.*





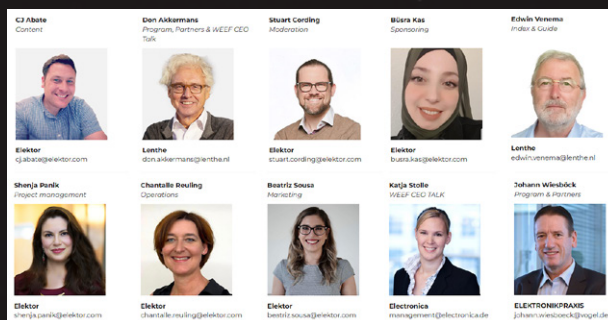
In 2014, toen Elektor de eerste adviezen, commentaren en artikelen over ethiek en elektronica lanceerde, konden veel CEO's en andere leiders in de sector hun lach niet onderdrukken. Ze vonden het ronduit naïef. Elektor moest hen eerst overtuigen van het **waarom** om van hun bedrijf ook 'een kracht voor het goede' te maken.

In 2022 gaat de vraag – en die van alle werknemers, klanten en aandeelhouders – niet meer over het **waarom**. De wereld wordt overspoeld door consultants, verenigingen, politici en NGO's die bedrijven vertellen dat ze moeten streven naar waarde in plaats van winst. Tegenwoordig ligt er dus meer nadruk op het **hoe** en het **wat** en **wanneer** te veranderen – om een begin te maken met het dichten van de kloven tussen industrie en natuur, tussen rijk en arm, tussen NGO's en bedrijven.

**Hoe** kan deze beweging worden versneld zonder winstgevendende bedrijven de nek om te draaien? Zou het lanceren van groene/ethische/sociale handelsmerken voor een versnelling zorgen? Stof tot nadenken. Het programmacomité van het WEEF is ervan overtuigd dat louter 'groene labels' niet zullen helpen. Neem B Corp: beantwoord 200 vragen en als je bij 40% daarvan een groen vlaggetje krijgt, bingo, kunnen



Het roemruchte citaat van Michael Douglas uit de film 'Wallstreet' van 1987. Zou het beter zijn om te zeggen "Groene hebzucht is goed?"



Neem contact op met het WEEF-comité als je geïnterviewd wilt worden, een toespraak wilt houden of een verklaring wilt afleggen. Bezoek <https://worldethicalelectronicsforum.com>.



de PR-managers trots aan pers en publiek meedelen dat "alles goed is (bij ons); slaap lekker!".

Het lijkt meer op een gelikt marketinginstrument dan op iets anders. Het is geen toeval dat de CEO van B Corp onder vuur ligt van zijn eigen leden sinds hij Nestlé aan boord heeft gehaald. "Hoe kun je Nestlé accepteren als hun CEO stelt dat toegang tot water geen mensenrecht is?" Dat is een gerechtvaardigde vraag.

**Doe mee aan WEEF 2022 op 15 november 2022 - persoonlijk op elektronica 2022 of live online - om je ideeën te delen.**

Anderen omarmen de komst van al die labels. "Hoe meer hoe beter", stellen ze; discussies over de geldigheid geven grond aan veel geruchten. Hé, waarom heeft jouw bedrijf (nog) geen keurmerk? Klanten en kopers hebben de keuze om over te stappen op producten en diensten van bedrijven die getest en gelabeld zijn.

Hoe denk **jij** over labels? Wat is jouw mening en commentaar in deze welles/nietes-discussie? Misschien ben je niet tevreden met zwart-wit keuzemogelijkheden en geef je de voorkeur aan een genuanceerder standpunt.

En nu de persoonlijke kern van de zaak: heb je zelf de moed om openlijk voor een individuele e-BELOFTE te gaan die wij in de komende maanden zullen introduceren? Een belofte die de grondbeginselen omvat

van ethisch zakelijk gedrag op persoonlijk niveau? Durf je eerlijk te praten over je dromen en twijfels?

Als dat zo is, wil je misschien anderen inspireren? Daarom nodigen we u uit om deel uit te maken van onze nieuwe WEEF-community – mensen die bereid zijn om de daad bij het woord te voegen.

Mogen we je interviewen? Mogen we je uitspraken publiceren? Kunnen we een cartoon tonen die je waardeert? Kunnen we een video streamen waarin je praat over ethische elektronica? Heb je al een video die je wilt delen? Kan onze redactie een 'ethisch paspoort' maken voor jouw en voor het bedrijf waarvoor je werkt? Kortom – laten we in discussie gaan! ◀

Stuur Shenja een e-mail via [shenja.panik@elektor.com](mailto:shenja.panik@elektor.com), en we nemen binnen 24 uur contact met je op. We hopen je te ontmoeten op ons forum (online of live) en in onze gedrukte ethiek-gids.

220394-03

#### **Doe mee met WEEF**

Geïnteresseerd in ethiek en elektronica? Het programmacomité nodigt ethische ingenieurs en leiders die serieus betrokken zijn bij het ethische beleid van hun bedrijven, universiteiten, actiegroepen, NGO's en verenigingen uit om zich te melden. Laat het ons ook weten als u een toespraak wilt houden, een video wilt bijdragen of wilt deelnemen aan een debat over ethische elektronica. Bezoek [WorldEthicalElectronicsForum.com](https://WorldEthicalElectronicsForum.com) voor meer informatie en om u aan te melden voor de WEEF-nieuwsbrief.



**LENTHE**  
Immer bloeyende





# Zonder ethiek geen duurzaam ondernemen

vraaggesprek met professor Stefan Heinemann

**Edwin Venema (Lenthe Foundation)**

Kan een elektronicabedrijf duurzaam en winstgevend zijn zonder bedrijfsethiek?

Professor Stefan Heinemann duikt in de details.

Ethiek en zakendoen worden vaak als tegenstrijdig beschouwd. Ethiek zou de winstgevendheid alleen maar in de weg staan en een politiek correcte reactie zijn op de woke-cultuur. Een 'vakje om aan te vinken', om daarna de handen vrij te hebben voor 'echt' zakendoen. Volgens Stefan Heinemann (filosoof, theoloog en hoogleraar bedrijfsethiek) is die zienswijze volkomen achterhaald: ethiek en zaken doen zijn twee zijden van dezelfde medaille. Zonder zakelijke ethiek is duurzaam, en daarmee winstgevend, ondernemen gewoon niet langer mogelijk. Als zakelijke partner van veel andere industrieën heeft de elektronica-industrie bijna een morele

verplichting om een voortrekkersrol te spelen bij de grote paradigma-veranderingen van deze eeuw: digitalisering en duurzaamheid. En, jawel, Heinemann is positief over de bindende krachten van het goede: "Er is altijd hoop. We kunnen nog steeds vorm geven aan de toekomst. Maar vergeet niet: zakelijke ethiek in de elektronica begint bij... jou!"

**Edwin Venema:** *Ethisch zakendoen klinkt zo vanzelfsprekend. Wie kan daar nou tegen zijn?*

**Stefan Heinemann:** Ethiek lijkt wel vanzelfsprekend, maar het is niet eenvoudig. Ethiek gaat over de theorie van de moraliteit. Het gaat over onze acties en uitspraken over wat

goed en kwaad is. Soms lijkt het verschil daartussen heel vanzelfsprekend. Niemand twijfelt eraan dat het verkeerd is om je kinderen te doden. Maar die ethische rode lijn kan in de praktijk een stuk smaller worden, zeker als het gaat om zakendoen. Je zou kunnen zeggen dat de hele economie enkele onethische fundamenteën heeft. Luke Skywalker zou het 'the Dark Side' noemen. Maar gelukkig is er ook een, in mijn ogen veel grotere, zonnige kant. Ik ben ervan overtuigd dat de elektronica-industrie een centrale rol zou kunnen, en moeten, spelen bij het komen tot digitale oplossingen. Maar digitalisering moet geen doel op zich zijn (afgezien van het feit dat ook analoge oplossingen in dit verband nog steeds een rol spelen): het ondersteunt uiteindelijk duurzame bedrijven, klanten en onze samenleving als geheel. Investeren in ethiek is het beste dat je kunt doen, dicht bij de waardecreatie van het bedrijf zelf.



*Uncle Ben, de  
adoptievader van  
Spiderman bracht  
het heel mooi onder  
woorden: “Grote  
macht brengt een grote  
verantwoordelijkheid  
met zich mee”.*

Dit vraagt ook om moreel leiderschap en rolmodellen. Dat is een uitdaging in een zeer diverse sector met eenmansbedrijfjes, kleine familiebedrijven en grote multinationals. Je moet een positie als leider zien te verwerven om op een meer systematische manier met ethiek bezig te zijn. Niet als kuddegedrag (iedereen doet het), maar heel bewust van onze positie: wij hebben een pioniersrol. We zien het belang, voor onze klanten en voor de klanten van onze klanten. Benjamin Parker (Uncle Ben, de adoptievader van Spiderman) bracht het heel mooi onder woorden: “Grote macht brengt een grote verantwoordelijkheid met zich mee”.

Ik ben ervan overtuigd dat er maar twee mogelijkheden zijn. We kunnen ethiek zien als een onderdeel van ons bedrijfssucces, of als een vorm van ‘moreel witwassen’ en/of passief afwachten tot opgelegde regelgeving ons dwingt om op een andere manier zaken te gaan doen.

**Venema:** Wet- en regelgeving wordt vaak gezien als onvermijdelijke ‘compliance’...

**Heinemann:** Compliance is de meer formele, wettelijke manier om gedrag ‘van bovenaf’ af te dwingen. Ethiek gaat over de vrijheid om iets ‘van binnenuit’ te doen. Het gaat om interne motivatie. Kijk naar het emissieschandaal bij Volkswagen: ze hadden miljarden dollar kunnen besparen als de interne structuur en bedrijfscultuur moreel acceptabel gedrag meer hadden ondersteund.

Compliance is afgedwongen moraliteit en is minder effectief dan persoonlijke integriteit. Daarom zijn de toon en het gedrag van bedrijfsleiders zo belangrijk. We hebben rolmodellen nodig.

**Venema:** Kunt u enkele specifieke rolmodellen noemen?

**Heinemann:** Dat is heel lastig. Want wat betekent het precies als je zegt dat een persoon of een bedrijf ‘ethisch’ is? Zijn de mensen, de cijfers en de producten ‘ethisch’? Geen enkele persoon of bedrijf op de wereld is 100% ethisch. Je kunt voorbeelden geven van kleine of grote bedrijven die hun CO<sub>2</sub>-footprint sterker reduceren dan de wet voorschrijft. Maar dat betekent nog

niet dat die bedrijven 100% ethisch werken. Goede voorbeelden uit de toeleveringsketen die proberen een verschil te maken zonder failliet te gaan, zijn en blijven belangrijk. Een mooie klus voor de WEEF-index, zou ik zeggen. Maar vergeet niet: we zijn ook maar mensen; we zondigen en we maken fouten.

**Venema:** Als ethiek begint met persoonlijke integriteit, wordt het ingewikkelder bij bedrijven, zeker op de hoogste niveaus: je persoonlijke verantwoordelijkheid wordt verdund in de dynamiek van organisaties en van de politieke realiteit.

**Heinemann:** Verantwoordelijkheid kan diffuus zijn in bedrijven, sectoren en samenlevingen, dat is waar. Wie is precies verantwoordelijk voor wat? Wat kan ik doen als individu? Ik kan mijn verantwoordelijkheid rechtstreeks op de schouders van anderen plaatsen. “Let George do it”, zeggen de Amerikanen. Laat iemand anders dat milieuvriendelijke gedoe maar regelen! Horen, zien en zwijgen. Voor het ontwikkelen van persoonlijke verantwoordelijkheid heb je een omgeving en een samenleving nodig die dat stimuleert en in de gaten houdt. Daarin kan WEEF een faciliterende rol spelen. Nodig (jonge) mensen uit om hierover mee te praten; geef ze een stem. Maar denk niet dat dat voldoende is; uiteindelijk moet het systeem veranderen. Iedereen die nu leeft, of je nou vijf bent of vijftig, hoort bij de laatste generatie die nog in staat zal zijn die verandering in het systeem te maken.

**Venema:** Dat klinkt nogal onheilsPELLend.

**Heinemann:** Er is hoop! De wereld is zoals hij is. In deze wereld kunnen we het goede doen. Als christen noem ik dat de ‘schepping’, maar hoe je het ook noemt, we

kunnen onze planeet beter maken. Ik ben geen fatalist die zegt dat het voorbij is.

**Venema:** Zelfs met de wijdverbreide angst voor kunstmatige intelligentie die uiteindelijk het einde van de mensheid zal veroorzaken?

**Heinemann:** In een eerder vraaggesprek met Elektor heb ik gezegd: “De optimist denkt dat onze wereld de beste van alle mogelijke werelden is; de pessimist vreest dat de optimist wel eens gelijk zou kunnen hebben.” Ik zou mezelf beschrijven als een AI-realist. AI vormt de wereld, inderdaad. Maar wie geeft de AI vorm?

Kijk, als we de toekomst en de verdere ontwikkeling en het gebruik van kunstmatige intelligentie niet ethisch veiligstellen, hebben we straks misschien nog tijdens ons leven een universele kunstmatige intelligentie, die ons misschien zal straffen omdat we hem hebben gemaakt. Alleen mensen kunnen moreel handelen, liefhebben, lijden, denken en creatief, verward, gevaarlijk, boeiend of saai zijn. Het zou verkeerd zijn AI fundamenteel af te wijzen uit angst dat de wereld ten kwade zou kunnen veranderen; we kunnen AI beter voorzien van de wil om de wereld ten goede te veranderen. Voor bedrijven is AI een grote kans om digitalisering en duurzaamheid te combineren voor succesvolle legitieme bedrijfsmodellen. Daarbij moet ook kritisch worden gekeken naar de beveiliging van de data, en dat moet verder gaan dan wettelijk vereist is, daarbij moet maatschappelijke verantwoordelijkheid worden genomen.

**Venema:** Wat is, naast onze eigen rol, de rol van de andere belanghebbenden?

**Heinemann:** Ethiek raakt iedereen. Op microniveau zijn er de individuele medewerkers en werkgevers die we al hebben genoemd. Op mesoniveau hebben we de bedrijven. En op macroniveau de sectorplatformen en regeringen. Op deze hogere niveaus gaat het meer over ethische randvoorwaarden. We zijn op weg naar een veel meer gediversifieerde en dynamische nieuwe wereldorde, waar de systeemconcurrentie altijd een concurrentie is tussen ethische overtuigingen over hoe de samenleving zich zou moeten ontwikkelen.





*Het moet voor een  
elektronicabedrijf  
duidelijk worden dat  
ethiek geen filantropie  
is, maar essentieel is voor  
een succesvol, duurzaam  
bedrijf.*

Autocratieën zijn ethisch altijd lastiger dan democratieën. Maar het is ingewikkelder dan het lijkt. Een verstandig milieubeleid van een 'fout' regime hoeft niet verkeerd te zijn. En andersom: vrije keuze genereert niet automatisch verstandige beslissingen of leiders: de verkiezingen in de Verenigde Staten in 2016 hebben dat pijnlijk duidelijk gemaakt.

**Venema:** Consumenten lijken een cruciale rol te spelen als het gaat om ethisch zakendoen.

**Heinemann:** Consumenten kunnen grote veranderingen brengen, bijvoorbeeld naar een minder materialistische wereld. De EU heeft, met zijn richtlijnen, dit proces al versneld in de richting van meer persoonlijke verantwoordelijkheid en minder materialisatie. Tegelijkertijd lijken de democratische en digitale geletterdheid achteruit te gaan, waarschijnlijk versneld door de pandemie. Er mag dan veel vrijheid zijn in westerse samenlevingen, maar daar heb je niet veel aan als je analfabeet bent. Veel mensen doen niets met hun vrijheid, ze gaan bijvoorbeeld niet stemmen. Dat is een echt probleem, want we willen natuurlijk geen gedigitaliseerde autocratie, zoals in China.

Consumptie heeft veel structurele overeenkomsten met democratie. Je stemt door iets te kopen. Niet iedereen koopt producten

die hij echt nodig heeft, soms kopen we dingen omdat ze worden gepresenteerd met 'slimme' marketing. De elektronica-industrie zal moeten accepteren dat het idee van eeuwige groei achterhaald is. We moeten op een andere manier gaan denken. Groei is duurzame ontwikkeling, groei is groei in innovatie, groei in winst, maar niet langer groei in omzetcijfers. Daarom hebben bedrijven een ander soort mensen nodig, met andere competenties, en een ander soort leiderschap.

**Venema:** Zou een Ethische Code, of beter nog een Gedragscode, elektronicabedrijven kunnen helpen?

**Heinemann:** Een Code werkt misschien. Zoals bij alle vrijwillige verplichtingen ligt het er aan hoe serieus de bedrijven ermee omgaan. En het ligt er aan hoe ze worden ingevoerd – bij voorkeur niet met

een opgeheven vingertje – en hoe slim ze worden geïntegreerd en intern gecommuniceerd en verankerd in de dagelijkse bedrijfsvoering. Het moet voor een elektronicabedrijf duidelijk worden dat ethiek geen filantropie is, maar essentieel is voor een succesvol, duurzaam bedrijf. Zoals ik al zei: het gaat niet om praten, maar om doen. We moeten het toepasbaar maken. We praten allemaal over een vrije, vreedzame wereld, maar hoe komen we daar?

**Venema:** Sommige SDG's (vooral SDG 5, 9 en 12) zouden heel goed expliciet en uitdrukkelijk in een Ethische Code passen. Dat komt overeen met de veelgebruikte stelling dat ethische codes een weerspiegeling zouden moeten zijn van de SDG's als basis voor een toekomstige wereld waarin economie, milieu en sociale factoren eerlijk en duurzaam in balans zijn in de context van een zeer concurrerende kennis-economie. Hoe ziet u dat?

**Heinemann:** Als we het over ethiek hebben, is het nuttig om nog eens goed naar de SDG's te kijken. Dan kunnen we zien waar de aanknopingspunten voor elektronicabedrijven liggen, los van bestaande wet- en regelgeving van de overheid. Toch blijft het de vraag of dit heel zinvol is voor een elektronicabedrijf. Deze SDG's zijn meer inspirerend voor regeringen dan voor individuele bedrijven en het is niet

### Over prof. dr. Stefan Heinemann

Prof. dr. Stefan Heinemann is Professor of Business Ethics aan de FOM University of Applied Sciences en woordvoerder van het Ethics Ellipse Smart Hospital van Universitymedicine Essen. Hij werkt vooral aan het economisch en ethisch perspectief voor digitale geneeskunde en de healthcare-industrie. Hij gaat voor de tweede opeenvolgende keer bijdragen aan het WEEF Panel bij electronica Messe München. Heinemann is de Scientific Director van het HAUPTSTADTKONGRESS Lab (Springer Medicine, Wiso). Hij staat aan het hoofd van de vakgroep "Ethics of the Digital Health Economy & Medicine" bij het ifgs Institute for Health & Social Affairs van de FOM University of Applied Sciences, is lid van de "Working Group AI in Internal Medicine" in de commissie "Digital transformatie of internal medicine" en adviseur bij diverse educatieve en onderzoeksinstituten. Daarnaast is deze filosoof en theoloog lid van de wetenschappelijke adviesraad "Digital Transformation" van de AOK Nordost, lid van de adviesraad van het Institute for Patient Experience van de Universitymedicine Essen en lid van de sociale en medische adviesraad van de BARMER regional representation North Rhine-Westphalia. Hij zit ook in het bestuur van Cologne Science Round, is voorzitter van het bestuur van "Science City Essen" en lid van de raad van vertrouwenspersonen van sneep e.V., een studentennetwerk voor bedrijfsethiek. Heinemann is mede-initiator van [www.dataprotection-landscape.com](http://www.dataprotection-landscape.com) als platform voor multidimensionale databescherming.







eenvoudig om ze te implementeren en monitoren in een bedrijfsomgeving. Het projecteren van SDG's in ethische codes, en uiteindelijk in de dagelijkse strategie van bedrijven, lijkt me lastig, maar niet onmogelijk. WEEF zou kunnen beginnen met kijken naar bestaande kaders, zoals de SDG's, maar bijvoorbeeld ook naar andere millenniumdoelen van EU-duurzaamheids-groep. Ze zouden die kunnen lezen (wat bijna niemand lijkt te doen...) en ze vertalen in praktische stappen voor de implementatie. Dat kan de industrie meer zichtbaar maken met ethiek als een verbindend thema, terwijl de meeste mensen denken dat de elektronica te gefragmenteerd is om iets te bereiken.

**Venema:** Op welke manier zou WEEF daarbij kunnen helpen?

**Heinemann:** Met alleen een code of een manifest komen we er niet. Het is veel beter om te beginnen met een soort van handleiding voor bedrijven wat ze kunnen doen op het gebied van verkoop, omzet, klanten en producten, liefst met praktische voorbeelden. Dat kan helpen bij het toepassen van ethiek om een duurzame werking te hebben op het bedrijf en de samenleving. En om als bedrijf deel uit te maken van die samenleving.

Gezien de enorme diversiteit in onze industrie zullen we altijd naar oplossingen op maat moeten zoeken. Bijvoorbeeld met een stoplichtcode (groen, oranje, rood): wat doe je al? Waar sta je nu als bedrijf? Daar zou WEEF kunnen helpen met neutraal geformuleerde richtlijnen en advies voor de meeste bedrijven in de elektronica-industrie.

Het is ook belangrijk om eerst het laaghangende fruit te plukken. Kleine bedrijven kunnen zich geen grote investeringen veroorloven. Als zo'n ethische actie een FTE kost of een halve ton, dan zit dat er niet in. Grote bedrijven hebben die middelen vaak wel, maar op kleine bedrijven wordt zo een financiële druk gelegd. En dan kom je niet mee met de concurrentie, zeker als er ook regels van de overheid zijn. Een slimme aanpak is dus nodig. Misschien heb je een stagiair die de problematiek begrijpt en die alvast een basis kan

leggen voor zo'n handleiding of richtlijn. Dat is al een eerste stap.

WEEF zou kunnen helpen met materiaal om die eerste stappen te vergemakkelijken. Zo heb je meer kans op een gelijk speelveld op het gebied van ethiek. Checklists kunnen natuurlijk geen vervanging zijn voor advocaten en MVO-medewerkers, maar ze kunnen ook kleine bedrijven helpen in te stappen.

**Venema:** Wat zijn succesfactoren voor een initiatief zoals WEEF?

**Heinemann:** Kort gezegd zie ik drie basisvoorwaarden:

1. Transparantie en helderheid van het hele proces: wie zijn de initiatiefnemers en wat willen ze bereiken? Soms lijken dit soort initiatieven op 'greenwashing' of sluikreclame. Denk eerder aan een 'beweging' dan aan een 'organisatie'. Wees bescheiden en bereid om het project te stoppen wanneer de industrie of andere platforms klaar zijn om zelfstandig te handelen.
2. Betrek zowel grote als kleine bedrijven: haal hun mensen erbij, hun MVO-medewerker of oprichter; ga met ze aan tafel zitten en geef ze een stem. Denk bottom-up. Denk aan co-creatie en ontwikkel samen ideeën. Vergeet niet: 80% van de industrie bestaat uit kleine bedrijven, die vaak de toeleveranciers zijn van de grote bedrijven, dus houd rekening met de grootte van de bedrijven. Iedereen telt mee. Misschien is het mogelijk verschillende kleine bedrijven samen te nemen. Voor duurzame eindproducten moet een volledig duurzame leveringsketen worden opgezet. Dat is een gemeenschappelijk belang.
3. Nut en toepasbaarheid: kom niet met alleen een document, een belofte, of een code, maar met een praktische toolkit en misschien enkele sjablonen om het proces goed op gang te helpen. Probeer niet het wiel opnieuw uit te vinden: soms heeft de Kamer van Koophandel al zulke hulpmiddelen, alleen niet specifiek gericht op de elektronica-industrie. Pas die dan aan om ze toepasbaar te maken.

**Venema:** Tenslotte: wat moeten we doen aan de opleiding en training van elektronici met betrekking tot 'ethiek'?

**Heinemann:** Ethiek zou geïntegreerd moeten worden met economie. Het heeft geen zin om een leraar in de ethiek toe te voegen aan het curriculum en een vakje af te vinken. Het moet gekoppeld worden met alle disciplines en dus ook overal worden besproken als een organisch onderdeel van de opleiding. Ik heb veel samengewerkt met collega's om 'ethiek' in de breedste zin van het woord een vast onderdeel te maken van de managementopleiding in het hoger onderwijs. Dat gaat onder meer om initiatieven in onderwijs, onderzoek, overdracht naar bedrijven en het management van de universiteit zelf. Al met al zie ik vooruitgang, maar nog niet op grote schaal. Er is duidelijk ruimte voor meer vooruitgang. 

220433-03 (vertaling: Evelien Snel)

## Over de auteur

Edwin Venema heeft meer dan 30 jaar ervaring in journalistiek en content marketing. Hij werkt sinds 2003 met Lenthe. Als copywriter ([www.dekopijmeester.nl](http://www.dekopijmeester.nl)) helpt Venema mensen en organisaties met creatieve content die overtuigt.

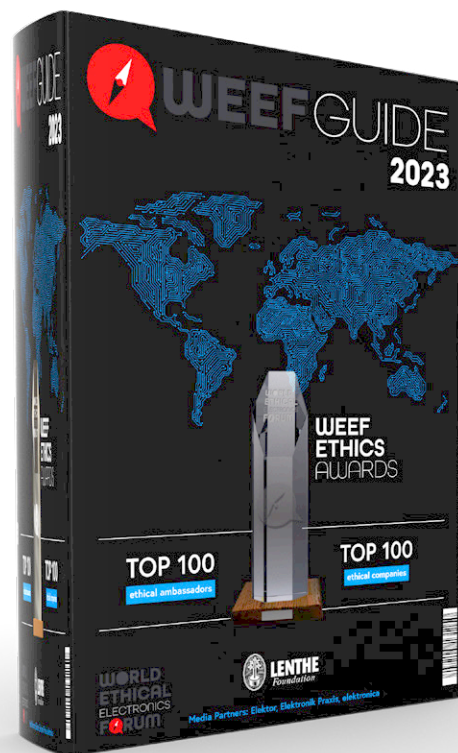
## Prof. Heinemann's keynote uit 2021

Bekijk Prof. Dr. Stefan Heinemann's keynote bij WEEF 2021, waar hij verschillende onderwerpen, waaronder duurzaamheid en bedrijfsethiek, behandelde.

<https://youtu.be/ELpxR6SuLb8?t=1621>



# De WEEF Index 2023



**Edwin Venema (Lenthe Foundation)**

In de komende maanden publiceren we de WEEF Index 2023, die zal worden verspreid onder honderdduizenden engineers en leidinggevend. In die index vind je profielen van ethische innovatoren die anderen inspireren om over het belang van ethische elektronica na te denken.

Appels en peren. Willekeurig. Verrassend. Twijfelachtig. Inspirerend. Vriendjespolitiek. Voor de vuist weg. Schandalig. Onoprecht. Gedurfd. Onevenwichtig. Stimulerend. Onverantwoord. Onmogelijk. Verbluffend. Belachelijk. Stom. Bemoedigend. Aandacht zoekend. Nepotisme. Bewonderenswaardig. Populisme. Lukraak. De juiste vakjes aanvinken. Provocerend. Een trucje. Ijdelheid. Verkeerd signaal. Goed signaal. Triggerend. Kortzichtig. Revolutionair. Oneerlijk. Eye-opener. Machtspolitiek. Eindelijk!

Dit zijn allemaal kwalificaties die worden gebruikt als organisaties of uitgevers ranglijsten publiceren, vooral als het gaat over individuen in de betreffende tak van de industrie. Het lijkt geen twijfel dat de nieuwe 2023 WEEF Ethics Index tot allerlei heftige reacties zal leiden. En dat is precies waarom we onze index als eerste in zijn soort uitbrengen.

## Diamanten ontstaan onder druk

De advocaat van de duivel zal veel vragen stellen: hoe kun je in vredesnaam de invloed van een individu op de ethiek in de elektronica-industrie bepalen? En als je er al in zou slagen om zo'n lijst samen te stellen, waarom zou je die dan willen hebben? Het antwoord op die laatste vraag is duidelijk: in kaart brengen welke personen de meeste invloed hebben op de ethiek in de elektronica is op zichzelf al een statement en wat ons betreft beslist meer dan een publiciteitsstunt. (Dat zou immers niet erg ethisch zijn...) Naast het strelen van de ijdelheid van de uitverkorenen en het irriteren van de zwaar gekneusde ego's van de onverkozenen, geeft zo'n index ook uitdrukking aan onze waardering en erkenning. Met het besef dat de uitgebrachte stemmen vaak het beste vertegenwoordigen dat een industrie of beroep te bieden heeft, kunnen ze dan dienen als rolmodellen, of als breekijzers om de deuren van een sector te openen. Wat? Staat uitgerekend hij of zij in die index? Zijn ze soms gek geworden, daar bij WEEF?

Weet je, zonder druk geen diamanten. Kijk maar eens naar de Oscar- of Emmy-uitreikingen.

## De vruchtbare aanpak

Het 'appels-en-peren'-argument wordt vaak aangevoerd. Verschillende mensen, verschillende bedrijven, verschillende verantwoordelijkheden. Natuurlijk, maar appels en peren zijn allebei vruchten, toch? Het gaat natuurlijk niet over de verschillen, maar juist om de overeenkomsten. Het gaat bij de index niet om zuivere wetenschap, maar meer om gezond verstand. Individen onderschrijven een belofte en vertegenwoordigen een visie, een baanbrekende methode of pure moed om tegen de stroom in te roeien of 'outside the box' te denken. Ze stimuleren ons denken en onze discussies over ethiek, een onderwerp dat nog flink onderbelicht



is in de elektronica-industrie. Er zijn in elk geval enkele legitieme vragen te beantwoorden:

- Hebben elektronici persoonlijk een ethische verantwoordelijkheid om hun vaardigheden te gebruiken voor méér dan het maken van winst?
- Zou ethiek een rol moeten spelen in hoe de leiders van elektronicabedrijven zakendoen?
- In hoeverre moeten zij zich bezighouden met onderwerpen zoals duurzame ontwikkeling, groene fabricage en maatschappelijke verantwoordelijkheid?
- Hoe beïnvloeden hun beslissingen de mensen en het milieu in de omgeving?
- Zouden hun samenwerkingsverbanden hulp moeten bieden bij geopolitieke geschillen?

### Het is geen ranglijst... nog niet

Een index is één ding; een ranglijst is iets anders. Als je zin hebt in verhitte discussies of controverses, dan is zo'n index een mooi begin; voor je het weet, heb je de poppen aan het dansen. We zijn voor een compromis gegaan bij onze eerste editie van onze WEEF-lijst van influencers. Een opstapje, zogezegd, naar toekomstige edities die misschien wel meer van een ranglijst zullen hebben. Voorlopig zetten we in op voortschrijdend inzicht.

De WEEF-index 2023 zal daarom een alfabetische lijst zijn van honderd influencers, plus een 'nummer één'. Die nummer één zal niet zo zeer een 'winnaar' zijn, maar meer een vaandeldrager, een inspirator; een *primus inter pares*, als het ware. Een wijze en rechtvaardige jury zal de keuze maken en de lijst van de overige 99 personen in de index bepalen.

### De jury

De jury zal online-nominaties beoordelen, zelf kandidaten aanwijzen en alle communicatie coördineren.

- Don Akkermans (managing director, Lenthe Foundation; voorzitter, WEEF)
- Johann Wiesbock (hoofdredacteur, Elektronik Praxis)
- Tessel Renzenbrink (onafhankelijk journalist, gespecialiseerd in ethiek)
- Priscilla Haring-Kuipers (journalist, Elektor)
- Shenja Panik (project manager, Elektor/WEEF)

### De criteria

De jury zal de volgende criteria in beschouwing nemen:

- Mate van invloed (in media, forums, sociale media en op collega's)

- Mate van innovatie (inclusief bijvoorbeeld integratie van SDG's)
- Bereidheid ideeën/concepten te delen met collega's

De kandidaten in de index zullen een aantal dingen gemeen hebben: ze durven de gebaande paden te verlaten en zijn effectief en zichtbaar in wat ze doen.

### De regels

- De online-nominaties worden aangekondigd en geopend.
- Nomineren gaat als volgt: geef een (korte) motivatie bij het nomineren van je favoriete kandidaten. Nominaties zonder motivatie worden niet in behandeling genomen; je mag zo veel kandidaten nomineren als je wilt, maar elke kandidaat slechts éénmaal. Meerdere nominaties voor één en de zelfde persoon vanaf één IP-adres worden gedetecteerd en tellen niet mee. Je mag jezelf nomineren, maar ook dat slechts één maal.
- Juryleden en medewerkers van Lenthe Foundation zijn van deelname uitgesloten.
- Het argument voor de genomineerde wordt opgenomen in een juryrapport. Hij of zij ontvangt een tastbare en vooral milieuvriendelijk ontworpen WEEF AWARD.
- De complete WEEF100 wordt gepubliceerd op de website van WEEF en op de websites van Lenthe Foundation en hun mediapartners Elektronik Praxis, electronica München en Elektor.

Ga naar [www.worldethicalelectronicsforum.com](http://www.worldethicalelectronicsforum.com) voor nieuws en verdere details. WEEF 2023 zal plaatsvinden op 15 november in München in Duitsland. ◀

220434-03 (vertaling: Evelien Snel)

### Over de auteur

Edwin Venema heeft meer dan 30 jaar ervaring in journalistiek en content marketing. Hij werkt sinds 2003 met Lenthe. Als copywriter ([www.dekopijmeester.nl](http://www.dekopijmeester.nl)) helpt Venema mensen en organisaties met creatieve content die overtuigt.

### Draag bij aan de WEEF Index

Wilt u bijdragen aan de 2023 WEEF Index? Neem dan contact op met de WEEF-projectmanager Shenja Panik via [shenja.panik@elektor.com](mailto:shenja.panik@elektor.com). Ga voor meer informatie naar [www.WorldEthicalElectronicsForum.com](http://www.WorldEthicalElectronicsForum.com).

**WORLD  
ETHICAL  
ELECTRONICS  
FORUM**



# Filtersoftware

## ontwerp-tools voor analoge filters

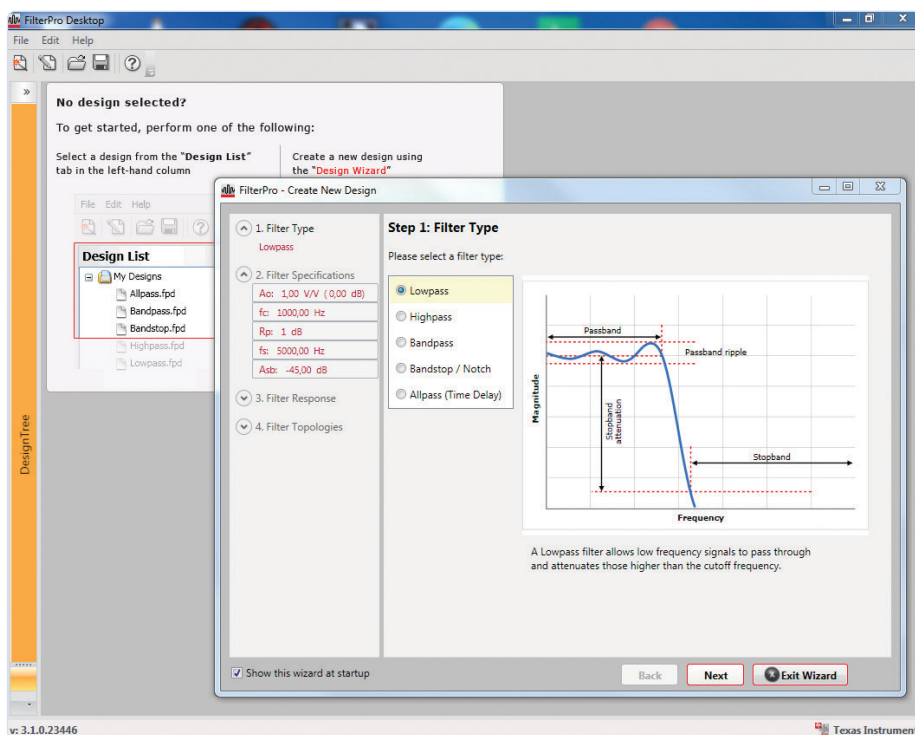
Alfred Rosenkränzer (Duitsland)

Wie de formules voor het ontwerpen van analoge filters kent (of op zijn minst weet te vinden), kan altijd de nodige berekeningen met de hand uitvoeren. Tegenwoordig lijkt die aanpak echter achterhaald als we meer willen dan een eenvoudig RC-netfilter. Tegenwoordig bestaat er software die het werk doet, en IC-fabrikanten stellen geschikte tools zelfs gratis ter beschikking. In dit artikel zullen we vooral kijken naar software van Texas Instruments.

In het artikel over het ontwerpen van actieve filters, dat is verschenen in Elektor Magazine november/december 2020 [1] hebben we gekeken naar actieve filterstructuren. In dat artikel hebben we het bestaan van gespecialiseerde software aangestipt die het ontwerpen van dergelijke configuraties aanzienlijk vereenvoudigt. Het is niet meer nodig om de wiskundige achtergronden in detail te kennen om het doel te bereiken, maar lezers die desondanks geïnteresseerd zijn in de formules kunnen die gemakkelijk in de literatuur vinden, bijvoorbeeld in "Tietze/Schenk" [2]. Als typisch voorbeeld van de beschikbare filter-ontwerpssoftware hebben we het desktop-programma *FilterPro* en zijn online-opvolger *Filter Design Tool* gekozen.

### FilterPro

Het desktop-programma *FilterPro* wordt al geruime tijd niet meer actief ontwikkeld door Texas Instruments, maar het blijft niettemin een zeer nuttig tool. De meest recente versie, die onder Windows draait, kan gratis worden gedownload van [3]. Na installatie en starten van het programma wordt de gebruiker verblijd met het scherm van **figuur 1**. Daar zien we de *Filter Wizard*.



Figuur 1. Het startmenu van FilterPro Desktop met de filterwizard.

Als de wizard niet automatisch verschijnt, kan hij worden gestart met de knop linksboven (het toverstafje). De wizard voert u stap voor stap door het ontwerpproces. In de eerste stap kiest u het filtertype (laagdoorlaat, hoogdoorlaat enzovoort). Rechts in het venster staan de

parameters die in de volgende stap moeten worden ingevoerd: doorlaatband, doorlaatrimpel, stopband enzovoort.

In de tweede stap voert u de specificatie van het filter in: zie **figuur 2**. De eerste parameter is de versterking van het filter. Hoewel in veel

toepassingen een versterking van meer dan één wenselijk is, wordt aanbevolen te beginnen met een versterking van precies éénmaal ("unity gain").

Bij het opgeven van de kantelfrequentie van het filter moet u bedenken dat sommige structuren zoals Bessel- en Butterworth-filters deze grootheid behandelen als de frequentie waarbij de signaalamplitude met 3 dB afneemt. Voor Chebyshev-filters daarentegen wordt de kantelfrequentie gespecificeerd als die frequentie waarbij de amplitude onder de toegestane rimpel komt.

Vervolgens voeren we de toegestane rimpel in de doorlaat-band in. Voor filters die geen rimpel vertonen, zoals de Bessel- en Butterworth-typen, kan hier de standaardwaarde worden aangehouden.

Er zijn twee manieren om de orde van het filter te specificeren. U kunt het vakje *Set Fixed* aanvinken en dan de gewenste orde invoeren in het vakje direct rechts daarvan (zie figuur 2) of u kunt, als het vakje niet is aangevinkt, de damping opgeven die voor de toepassing bij een bepaalde frequentie vereist is. Het programma zal dan automatisch een geschikte orde kiezen. Dat is een goede manier om de complexiteit van verschillende benaderingen te vergelijken.

In de derde stap kiest u de *Response Type*, dat wil zeggen de filterbenadering (zie **figuur 3**). De grafiek toont het verloop van de amplitude, de fase en de groepsvertraging als functie van de frequentie. U kunt het scrollwiel gebruiken om op een deel in te zoomen; u kunt ook klikken en slepen om de grafiek te verschuiven. Met een rechtsklik keert u terug naar de oorspronkelijke volledige weergave. Merk op dat de frequentie-as logaritmisch is.

In de vierde en laatste stap kiest u de topologie (**figuur 4**). Hier kunt u kiezen tussen *Multiple Feedback* voor single-ended versterkers, *Sallen-Key* (ook single-ended) en *Multiple Feedback (Fully Differential)*. Deze termen worden uitvoerig uitgelegd in [1].

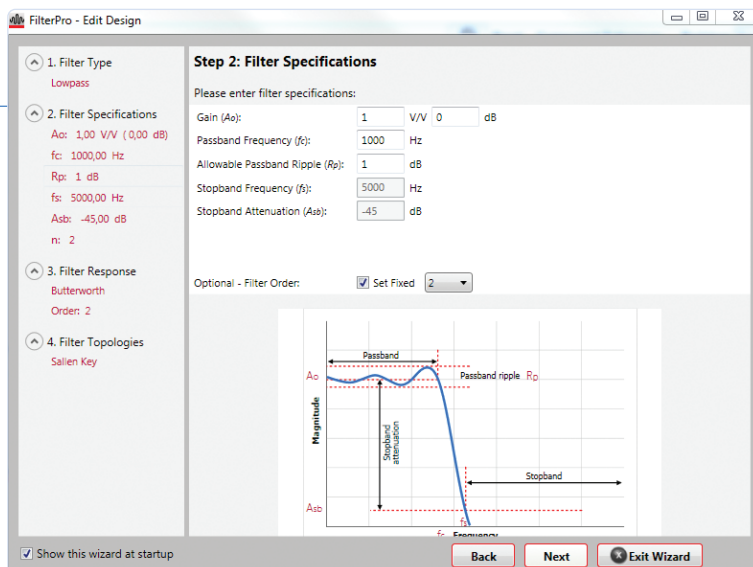
Wanneer u tenslotte op *Finish* klikt, verschijnen de schakeling met alle onderdelenwaarden, een tabel met de filterspecificatie, en twee grafieken die het verloop van amplitude, fase en groepsvertraging van het ontwerp tonen (**figuur 5**). Hier kunt u ook zoomen en scrollen.

Een belangrijke waarde in het midden van de tabel is *Min GBW reqd.* Dit is het minimale versterking/bandbreedte-product (gain-bandwidth product) dat de opamp moet hebben om de filterschakeling het gewenste gedrag te laten vertonen; hoe lager het gain-bandwidth product van het gebruikte IC is, des te slechter de schakeling zal presteren.

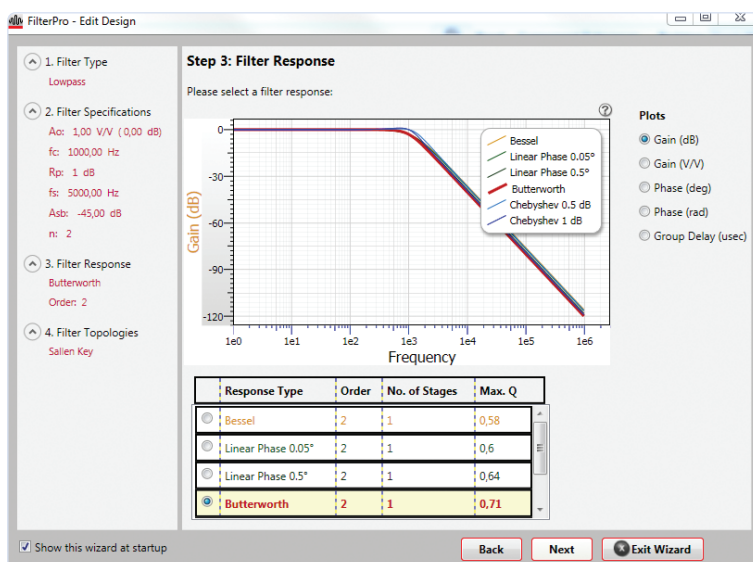
De parameter *QualityFactor (Q)* wordt ook toegelicht in [1].

## Een praktische toepassing

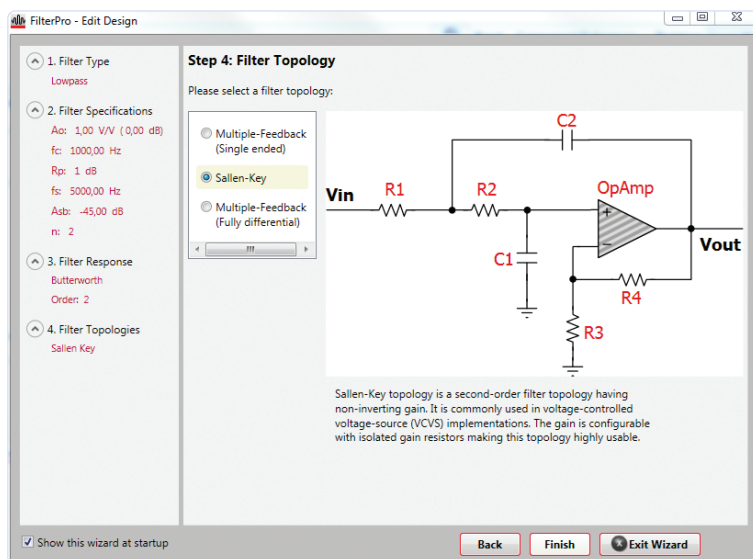
In tegenstelling tot hun passieve broertjes hebben actieve filters twee vrijheidsgraden bij de keuze van de onderdelenwaarden. Klik bijvoorbeeld op de waarde van C1 en verander deze van 10 nF in 1 nF (een factor tien kleiner), en C2 zal evenredig veranderen. De twee weerstandswaarden worden



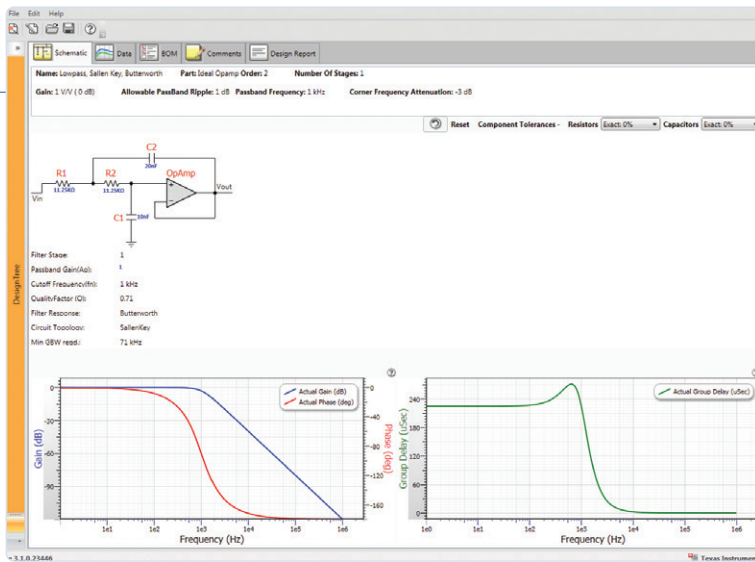
Figuur 2. Invoeren van de filterspecificaties.



Figuur 3. Filterrespons en -type.



Figuur 4. Keuze van een filtertopologie.



Figuur 5. Het resultaat: een compleet ontwerp plus grafieken van het filteredrag.

ook met een factor 10 vergroot. Beide reeksen onderdelenwaarden geven dezelfde filterrespons, hoewel andere eigenschappen (zoals ruis en vervorming) kunnen verschillen.

In audiotoeepassingen wordt meestal gekozen voor weerstandswaarden in een bereik van 1 kΩ tot 10 kΩ: dit biedt een goed compromis tussen ruis (die afneemt bij kleinere weerstandswaarden) en vervorming (die toeneemt bij kleinere weerstandswaarden vanwege de grotere stromen). Om tot praktische onderdelenwaarden te komen, is het een goed idee om eerst te experimenteren met de condensatoren: deze zijn doorgaans slechts verkrijgbaar in een relatief beperkt aantal waarden (E3...E12-reeksen), in tegenstelling tot weerstanden (E12...E96-reeksen).

Om de tweede vrijheidsgraad te begrijpen, ontkomen we er niet aan met formules te stoeien – of we dat nu leuk vinden of niet. De waarde van C1 kan vrij worden gekozen, maar er bestaat een minimum-verhouding tussen C2 en C1, die afhangt van de gekozen benadering, de orde en de versterking. Bij deze minimum-verhouding, en bij unity gain, zijn de beide weerstanden gelijk. Het *FilterPro Desktop*-programma toont deze minimale verhouding, onder de aanname van exacte condensatorwaarden.

Als de condensatoren uit een bepaalde E-reeks moeten worden gekozen, zal het programma die waarden kiezen die het dichtst bij het optimum liggen, en de verhouding tussen C2 en C1 zal toenemen. Dat leidt dan weer tot een wijziging van de weerstandswaarden: die zullen niet langer gelijk zijn.

In het bovenstaande voorbeeld zijn de waarden voor C1 en C2 precies 10 nF resp. 20 nF: een verhouding van 1:2. De twee

weerstanden hebben dezelfde waarde, namelijk 11,25 kΩ. Als we condensatoren uit de E12-serie moeten gebruiken, kunnen we voor C1 10 nF laten staan, maar moet C2 worden vergroot tot 22 nF; als gevolg daarvan heeft R1 dan een waarde van 7,68 kΩ en R2 een waarde van 14,65 kΩ.

Het momenteel beschikbare online-tool (waarover later meer) gedraagt zich op dezelfde manier. Helaas is het niet mogelijk de verhouding rechtstreeks op te geven; maar in plaats daarvan kunt u, rechtsboven in het venster van figuur 5, afzonderlijk voor de weerstanden en condensatoren aangeven of u de voorkeur geeft aan exacte waarden of dat waarden uit een bepaalde E-reeks moeten worden gebruikt. Wanneer de keuze beperkt is tot een waarde uit een E-serie, zullen de grafieken de respons tonen voor zowel de gespecificeerde E-waarden als voor de ideale waarden. Dit stelt u in staat een weloverwogen beslissing te nemen over welke afwijking van het ideaal aanvaardbaar is.

In bovenstaand voorbeeld is er echter een truc om de zaak te vereenvoudigen. Als de twee weerstanden een gelijke waarde hebben, dan moet C2 precies tweemaal de waarde van C1 zijn: deze specifieke variant wordt overigens beschreven in Tietze/Schenk. Voor een goede nauwkeurigheid kiezen we een gemakkelijk verkrijgbare component met een geschikte footprint en een acceptabele tolerantie voor C1; voor C2 schakelen we dan twee stuks dezelfde componenten parallel. Als de drie condensatoren uit dezelfde partij komen, zouden hun waarden goed overeen moeten komen. Elke afwijking van de nominale waarden kan worden gecorrigeerd door de weerstandswaarden aan te

passen: voer de gemeten capaciteit van C1 in het in figuur 5 getoonde venster in en u ziet de aangepaste weerstandswaarden (of de dichtstbijzijnde beschikbare waarden in de gespecificeerde E-reeks).

Bij het ontwerpen van een nauwkeurig wisselfilter is het ook een goed idee om in het hoogdoorlaat-netwerk dezelfde condensatorwaarden te gebruiken als in het laagdoorlaat-netwerk. Dit draagt bij tot een optimale overgang tussen de laagdoorlaat- en hoogdoorlaatkarakteristieken. Ook hier is het natuurlijk mogelijk om nauwkeuriger gespecificeerde capaciteits- en weerstandswaarden samen te stellen door twee of meer afzonderlijke componenten te combineren.

## Speciale eigenschappen

U kunt de resultaten van uw optimalisatie-experimenten opslaan voordat u een andere filterconfiguratie uitprobeert. Als u op het tabblad *Data* klikt in de rij bovenin het venster, ziet u de frequentierespons in de vorm van een tabel; u kunt dan *Export to Excel* gebruiken om de gegevens verder te verwerken – bijvoorbeeld om de resultaten te vergelijken met een prototype of voor documentatiedoeleinden. Het tabblad *BOM* produceert een onderdelenlijst. Met *Comments* kunt u uw aantekeningen toevoegen aan het ontwerp en *Design Report* maakt automatisch documentatie aan (maar zonder frequentierespons-tabel).

Het is de moeite waard de schakeling die u hebt ontworpen te simuleren alvorens deze daadwerkelijk te bouwen. Een bijzonder nuttige techniek voor het analyseren van de effecten van onderdelentoleranties is de Monte Carlo-simulatie. U kunt vele variaties



## GERELATEERDE PRODUCTEN

- **OWON SDS1104 Four-Channel Oscilloscope (100 MHz) (SKU 19514)**  
[www.elektor.nl/19514](http://www.elektor.nl/19514)
- **OWON XDM1041 Digital Multimeter (55000 count) (SKU 19715)**  
[www.elektor.nl/19715](http://www.elektor.nl/19715)
- **OWON AG051 Arbitrary Waveform Generator (5 MHz) (SKU 18874)**  
[www.elektor.nl/18874](http://www.elektor.nl/18874)



van een bepaald filter simuleren en hun prestaties direct met elkaar vergelijken.

Meertrapsfilters worden opgebouwd uit afzonderlijke eerste- en tweede-orde-filters. Merk op dat het cascaderen van twee identieke Butterworth-filters van de tweede orde geen Butterworth-filter van de vierde orde oplevert, maar een zogenoemd Linkwitz-Riley-filter (of "Butterworth-in-het-kwadraat") van de vierde orde.

U kunt een beetje experimenteren om te bepalen welke *kwaliiteitsfactor* (Q) van het ontwerp kan worden verwacht, en wat het vereiste versterking/bandbreedte-product van de opamp is.

Indien het filter een versterking moet hebben die groter is dan één, kan dat in de specificaties worden meegenomen. In het geval van een meertrapsfilter wordt de versterking gelijk over de verschillende trappen verdeeld. U kunt bekijken hoe de onderdelenwaarden veranderen naarmate de gewenste versterking toeneemt, en een te grote afwijking van onderdelenwaarden voorkomen. Het is natuurlijk altijd mogelijk de extra versterking in een afzonderlijke trap te implementeren; dit heeft het voordeel dat andere componentwaarden gelijk blijven als de versterking later nog moet worden gewijzigd.

Nog een opmerking: Texas Instruments onderhoudt de desktopversie van de software niet langer, en deze is ook niet langer beschikbaar op de servers van het bedrijf. Een snelle zoektocht op Internet naar "FilterPro desktop" voert echter snel naar werkende downloads, zoals [3]. Het programma draait even goed onder Windows 7 als onder Windows 10, en verbazend genoeg is het zelfs stabiel onder Windows

11. Bij het opstarten lijkt het programma af en toe een minuut of zo te pauzeren; maar daarna werkt alles zonder problemen. De volledige handleiding is te vinden op [4].

### Online-tools

De meer recente versie van de filtersoftware van Texas Instruments heet *Filter Design Tool* en is beschikbaar op [5]. Nadat u zich hebt geregistreerd, kunt u een filter gaan ontwerpen. Er is geen "Pro"-versie en dus ook geen kunstmatige gebruiksbepijking. De gebruikersinterface heeft een wat modernere uitstraling dan het desktopprogramma, maar de onderliggende functionaliteit is in grote lijnen hetzelfde.

Veranderingen ten opzichte van zijn voorganger zijn onder andere de mogelijkheid om de stapresponsie van het filter weer te geven. En als u in plaats van ideale waarden kiest voor waarden uit de E-reeks, dan hebt u ook de mogelijkheid om onderdelentoleranties op te geven, voor weerstanden en condensatoren afzonderlijk.

In de weergave van de frequentierespons (amplitude, fase en groepsvertraging) en in de grafiek van de staprespons ziet u een tolerantieband rond de ideale curve. Dit bespaart u latere Monte Carlo-simulaties van het ontwerp (hoewel ik u zou aanraden dit toch te doen, om aan de veilige kant te blijven).

De desktop-versie kan bandsperfilters berekenen op basis van de Sallen-Key topologie (niet ideaal: zie het artikel in [1]) en multiple feedback-topologieën, terwijl de online-versie alleen de Bainter-topologie biedt [6]. Meer gespecialiseerde ontwerpsoftware is op het Internet te vinden, die het ontwerp van filters met Fliege-topologie [7] en state-variable

bandsperfilters ondersteunt.

Het grootste nadeel van het online-tool is dat het moeilijker is om de onderdelenwaarden te manipuleren dan in de desktop-versie, en dat is de reden waarom ik de voorkeur geef aan die laatste. *Filter Design Tool* lijkt in ieder geval wel ondersteuning te bieden bij het berekenen van de minimaal haalbare condensatorverhouding.

Tenslotte nog een opmerking over het filter-tool van Analog Devices [8]: dit lijkt gefixeerd op een vaste condensatorverhouding van 1:1 of van 1:10. De grootste van deze verhoudingen pleegt tot een grote spreiding in onderdelenwaarden te leiden, wat naar mijn mening niet ideaal is. 

210041-03

### Een bijdrage van

Tekst: Alfred Rosenkränzer

Redactie: Dr. Thomas Scherer

Vertaling: Eric Bogers

Layout: Giel Dols

### Vragen of opmerkingen?

Hebt u technische vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel?

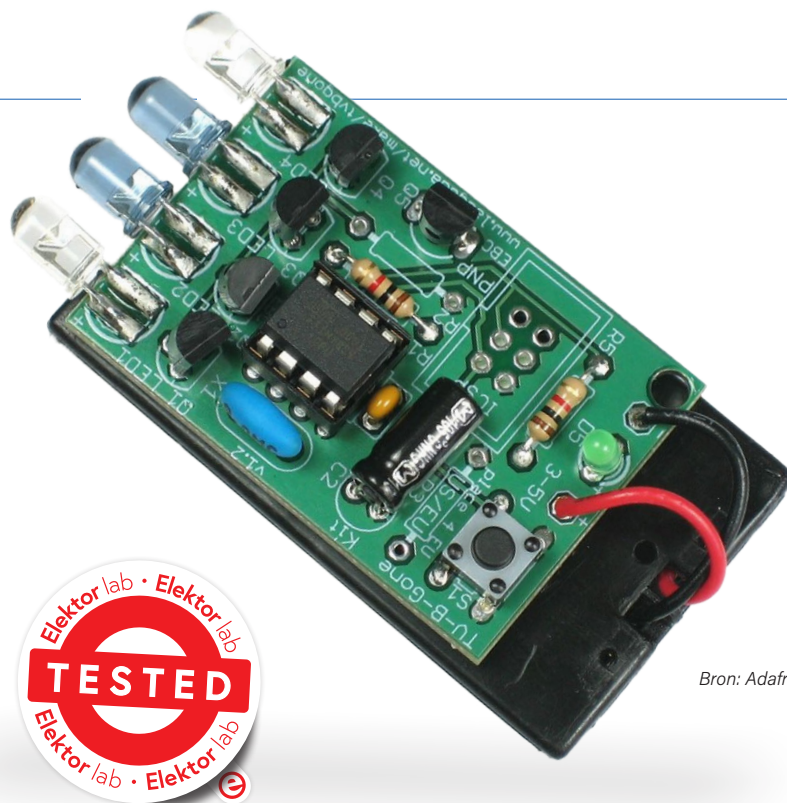
Stuur een e-mail naar de auteur via [alfred\\_rosenkraenzer@gmx.de](mailto:alfred_rosenkraenzer@gmx.de) of naar de redactie van Elektor via [redactie@elektor.com](mailto:redactie@elektor.com).

## WEBLINKS

- [1] A. Rosenkränzer, "Analoge elektronica ontwerpen – deel 2: actieve filters", Elektor Magazine november/december 2020: [www.elektormagazine.nl/magazine/elektor-161/59161](http://www.elektormagazine.nl/magazine/elektor-161/59161)
- [2] U. Tietze, C. Schenk and E. Gamm, "Electronic Circuits: Handbook for Design and Application," Springer: <http://tietze-schenk.com/tsbook.htm>
- [3] Download FilterPro Desktop V. 3.1.0.23446: [www.softpedia.com/get/Science-CAD/FilterPro-Desktop.shtml](http://www.softpedia.com/get/Science-CAD/FilterPro-Desktop.shtml)
- [4] FilterPro User's Guide: [www.ti.com/lit/an/sbfa001c/sbfa001c.pdf](http://www.ti.com/lit/an/sbfa001c/sbfa001c.pdf)
- [5] Online filter-designtool: <https://webench.ti.com/filter-design-tool/topology>
- [6] B. C. Baker, "Bandstop Filters and the Bainter Topology," Analog Applications Journal: [www.ti.com/lit/an/slyt613/slyt613.pdf](http://www.ti.com/lit/an/slyt613/slyt613.pdf)
- [7] Fliege-topology filter: <http://earmark.net/gesr/opamp/notch.htm>
- [8] Analog Filter Wizard (online): <https://tools.analog.com/en/filterwizard/>

# TV-B-Gone!

...of tenminste TV tabee



Bron: Adafruit

**Luc Lemmens (Elektor)**

Gaat u met vrienden dineren in een restaurant met een luide TV? Wilt u nietsvermoedende TV-kijkers voor de gek houden? Gewoon richten en klikken!



Lang, heel lang geleden werkten de draadloze afstandsbedieningen van sommige dure televisietoestellen met ultrasone signalen. Het verhaal gaat dat een eigenaar van zo'n luxe apparaat dit herhaaldelijk naar de leverancier terugbracht voor reparaties omdat de TV of de afstandsbediening een eigen leven leken te leiden: spontaan van kanaal wisselen, het volume wijzigen of zelfs uitschakelen... Tot wanhoop van de eigenaar en de reparateur kon de oorzaak van deze storing niet worden gevonden; in de reparatiewerkplaats werkte de TV namelijk probleemloos. Nadat de TV door de technicus voor de zoveelste keer in de woonkamer van de eigenaar werd teruggezet merkte de eigenaar toevallig op dat het geliefde huisdier – een papegaai – zijn snavel opende, waarna de TV onmiddellijk uitging. Blijkbaar imiteerde het dier het geluid

(onhoorbaar voor menselijke oren) van de afstandsbediening!

Of het verhaal waar is of niet zullen we nooit weten, maar het is in elk geval amusant. Naderhand, bij de opkomst van infrarood-afstandsbedieningen, kwamen er ook verhalen van kinderen (nee: volwassenen doen zo iets natuurlijk niet) die de TV van de burelen stoorde door stiekem voor het raam van hun woonkamer te gaan staan met een afstandsbediening. Voorwaarde daarbij is natuurlijk wel dat de afstandsbediening hetzelfde IR-protocol spreekt als de TV in kwestie. Bij de kit die we hier bespreken wordt geen risico genomen: deze verstuurt meer dan 230 verschillende IR-codes voor het uitschakelen van meer dan 230 verschillende merken en typen TV-toestellen, en zou tot op een afstand van 45 m moeten werken! De meeste TV's gebruiken dezelfde code voor het in- en het uitschakelen, dus deze afstandsbediening kan een TV eventueel ook (weer) aanzetten.

## De TV-B-Gone kit

Adafruit heeft een kit geproduceerd die een print en alle componenten bevat die nodig zijn om dit project, ontworpen door Mitch Altman, te bouwen. En deze is nu ook verkrijgbaar in de Elektor Store [1]. Zoals tegenwoordig bij veel producten het geval is, wordt de kit geleverd met alleen een weblink die op de verpakking is afgedrukt, en wordt er dus geen papieren documentatie meegeleverd. Ter compensatie hiervan is er veel en zeer duidelijke online-informatie beschikbaar op de website van Adafruit [2], Github [3] en de

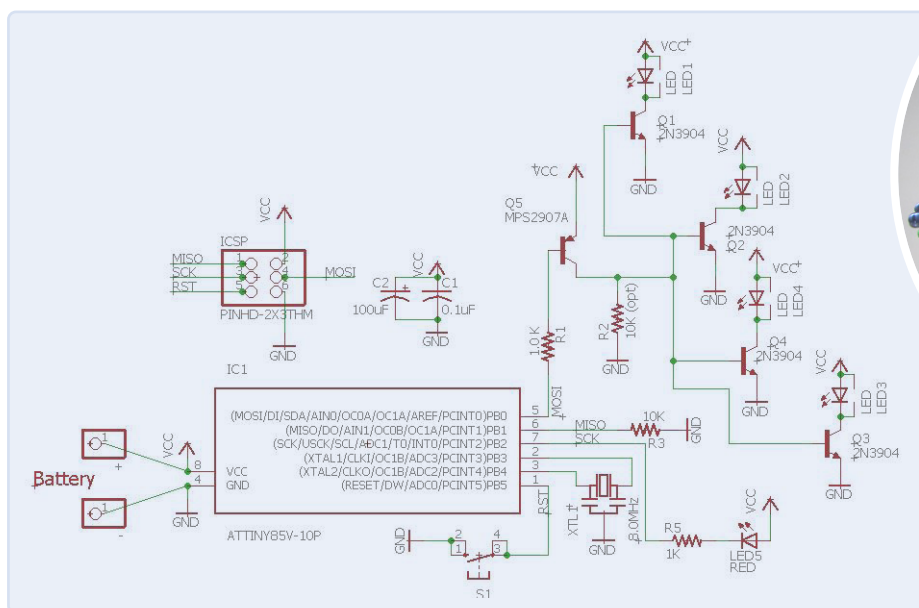
website van de ontwerper [4].

De eerste link bevat alle documentatie die je nodig hebt voor het bouwen en gebruiken van de kit. De instructies zijn gemakkelijk te volgen en zeer duidelijk geïllustreerd. Dus zelfs voor mensen die nog nooit eerder een elektronica-project hebben gebouwd, zou het mogelijk moeten zijn om dit project met succes te voltooien, zeker als je al kunt solderen of bij een oude rot in het vak leert solderen. Het is al met al goed oefenmateriaal, ook al is de layout van de print nogal compact en dus netjes en zorgvuldig gewerkt moet worden. Vergeet niet de *Design Notes* te lezen waar nuttige achtergrondinformatie staat over de hardware en afstandsbedieningscodes. Als je de hardware (de print) of de firmware wilt wijzigen (bijvoorbeeld om IR-codes toe te voegen voor apparaten die nog niet ondersteund worden) dan is Github een goede bron. De sourcecode en de Eagle schema- en print-ontwerpbestanden zijn daar te vinden. Uiteraard is dit voorbehouden aan de meer gevorderde knutselaar.

Op de website van Mitch Altman vind je meer en vergelijkbare projecten voor het monitoren en beïnvloeden van het TV-kijkgedrag. Misschien zie je daar andere bruikbare projecten of wellicht inspireren ze je om je eigen toepassingen rond dit thema te ontwikkelen.

## De hardware

Het schema van de TV-B-Gone is getekend in **figuur 1**: niet echt ingewikkeld want het zware werk wordt in de software gedaan. Het indrukken en loslaten van de drukknop



Figuur 1. Het schema van de TV-B-Gone.

S1 start de sequentiële overdracht van alle 'bekende' Off-codes via transistoren Q1...Q5 en IR-LED's LED1...LED4. LED5 licht op wanneer de TV-B-Gone actief is. De kit wordt geleverd met een voorgeprogrammeerde ATtiny85 microcontroller; de 6-polige header om een AVR-ISP programmeer adapter aan te sluiten is daarom niet nodig (en dus ook de adapter zelf niet), tenzij je wilt experimenteren met de firmware.

## Bouw van de TV-B-Gone

**Figuur 2** toont de inhoud van de kit. Controleer altijd, met behulp van de onderdelenlijst op de website van Adafruit, of alle componenten in het zakje zitten. Merk op dat er verschillende versies van de onderdelenlijst zijn. Wij hebben versie V1.2 getest; het versienummer is op beide zijden van de print afgedrukt.

Als je de instructies en foto's in de *Solder It!* sectie op de website van Adafruit volgt, dan is het niet moeilijk om de kit in elkaar te zetten. Doorgewinterde knutselaars zullen deze instructies waarschijnlijk overslaan en gewoon beginnen met solderen. Want het is echt niet moeilijk om de kit te bouwen. Maar voor de minder ervaren bouwers onder ons: volg gewoon de instructies.

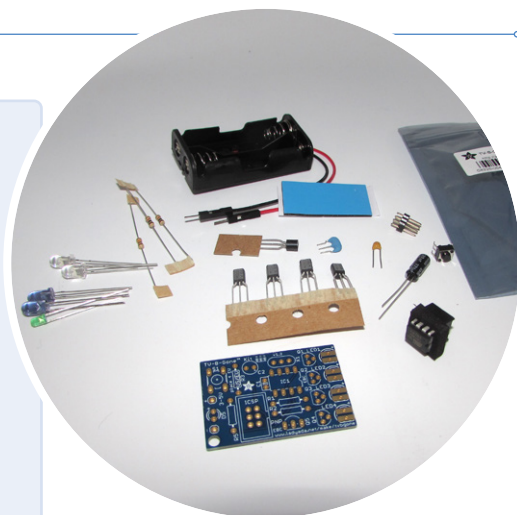
## Gebruik van deze afstandsbediening

Hier valt nauwelijks iets over te zeggen: druk gewoon op de knop en laat die weer los; de IR-LED's gaan On/Off-codes uitzenden. De groene LED knippert om aan te geven dat het apparaat actief is. Het duurt geruime tijd voordat alle verschillende codes zijn verzonden

en het kan dus ook enige tijd duren (tot meer dan een minuut!) voordat de code is verzonden die overeenkomt met het TV-toestel in kwestie.

Ik was onder de indruk van het bereik van deze afstandsbediening. Er wordt gesteld dat hij nog tot op een afstand van meer dan 40 m bruikbaar is. Mijn woonkamer is een beetje klein om dit maximale bereik te controleren, maar het was al indrukwekkend om te zien dat een TV-toestel vanuit een naburige kamer 'om het hoekje' kon worden bediend, waarbij de wanden het IR-signaal reflecteren. Helemaal niet slecht!

Een extra 'stiekeme' afstandsbediening kan zeker komische effecten opleveren voor een nietsvermoedende TV-kijker. De TV-B-Gone heeft een opgevoerde IR-uitgang met een veel groter bereik dan een standaard afstandsbediening, en natuurlijk 230+ verschillende codes om (bijna?) elke momenteel verkrijgbare TV met IR-afstandsbediening uit te schakelen. Maar voordat je met dit TV-B-Gone gadget gaat spelen: je moet heel zeker weten dat je slachtoffer(s) dit soort geintjes kunnen waarderen. Sommige mensen kunnen erg kwaad en zelfs agressief worden indien je hun



Figuur 2. De inhoud van de kit.

favoriete programma onderbreekt, of wanneer hun favoriete team in de laatste minuut van de wedstrijd te scoren op het punt staat te scoren en de TV dan opeens op zwart gaat. Misschien is er maar een kleine kans dat ze erachter komen dat jij het was met deze kleine afstandsbediening, maar toch ... een gewaarschuwd mens telt voor twee! ◀

220236-01 (vertaling: Marc Gauw)

## Vragen of opmerkingen?

Hebt u vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar de auteur via [luc.lemmens@elektor.com](mailto:luc.lemmens@elektor.com) of naar de redactie van Elektor via [redactie@elektor.com](mailto:redactie@elektor.com).



## GERELATEERDE PRODUCTEN

► **TV-B-Gone Kit - Universal TV Remote (SKU 20140)**  
[www.elektor.nl/20140](http://www.elektor.nl/20140)

## WEBLINKS

- [1] Wil je de kit kopen: [www.elektor.nl/20140](http://www.elektor.nl/20140)
- [2] Handleiding voor de bouw: <https://learn.adafruit.com/tv-b-gone-kit>
- [3] Software- en ontwerpbestanden: <https://github.com/adafruit/TV-B-Gone-kit>
- [4] Website van de ontwerper: [www.tvbgone.com/](http://www.tvbgone.com/)



# Meting van de luchtkwaliteit op basis van de RP2040

Dr. Claus Kühnel (Duitsland)

Begin 2021 kondigde de Raspberry Foundation de Raspberry Pi Pico aan. Zoals Elektor-lezers weten, is dit niet zomaar een lid van de Raspberry Pi-familie, maar een zelfstandig microcontroller-board met de RP2040-microcontroller. Je kunt de RP2040 gebruiken om de luchtkwaliteit te meten. Hij verzamelt gegevens van een CO<sub>2</sub>-sensor en stuurt die vervolgens via een ESP8266 door naar het populaire ThingSpeak-cloudplatform.

Direct na de aankondiging van de Raspberry Pi Pico waren er veel controversiële discussies op het Internet. Terwijl sommigen de nieuwe controller euforisch verwelkomden, vestigden anderen meteen de aandacht op het (in hun ogen) gebrek aan functionaliteit. Elektor probeerde in [1] een onpartijdig overzicht te geven. Maar in die tijd was de evaluatie vaak sterk gepolariseerd, en was er nauwelijks ruimte voor gedifferentieerde meningen.

In de tussentijd kwam Arduino op de markt met de Arduino Nano RP2040 Connect. De RP2040-microcontroller (versterkt met een ublox NINA-W102 radiomodule) vormt een compleet IoT-apparaat met WiFi- en BLE-connectiviteit. Als je de Arduino Nano RP2040 Connect in een project gebruikt, zul je waarschijnlijk ook de Arduino of de PlatformIO IDE gebruiken. Beide bieden voor enkele features van de RP2040 geen

ondersteuning, zoals dual core- en PIO-ondersteuning.

Als je daarentegen de Raspberry Pi Pico alleen gebruikt, kun je kiezen uit de Raspberry Pi Pico C/C++ SDK en de Raspberry Pi Pico Python SDK, die beide alle mogelijkheden van deze microcontroller ondersteunen. Je mist dan echter wel de ondersteuning van eventuele draadloze communicatie. Maar er zijn tegenwoordig genoeg communicatiemodules beschikbaar om deze functionaliteit toe te voegen.

Vanwege de ondersteuning van verschillende microcontrollers en de vele beschikbare bibliotheken, gebruik ik vaak de Arduino IDE voor mijn projecten. De nieuwe grote release van de Arduino IDE is sneller en nog krachtiger. De Arduino IDE 2.0 is hard op weg naar een stabiele status met een reeks Release Candidate-builds (RC). In april 2022 was Arduino IDE 2.0 RC 2.0.0-rc6 beschikbaar, en je kunt deze downloaden via [2]. Naast een modernere editor en een beter reagerende interface, biedt hij autocompletion, codenavigatie en zelfs een live-debugger.

## Raspberry Pi Pico

We bespreken de Raspberry Pi Pico-microcontroller slechts in het kort, omdat er al veel recensies over zijn geschreven en de meeste lezers er wel mee bekend zullen zijn. Ik wil enkele voor mij belangrijke details behandelen.

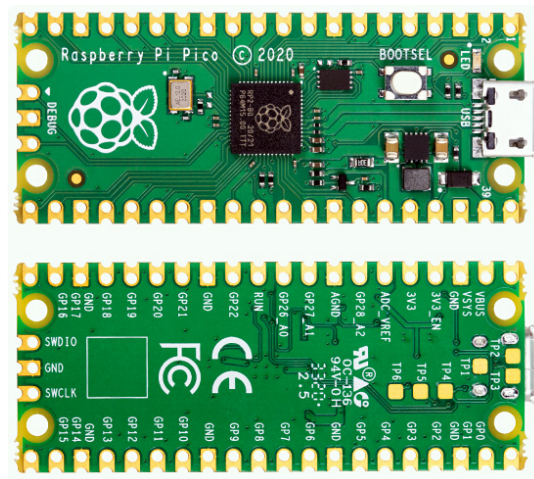
De Raspberry Pi Pico biedt een minimale infrastructuur om de RP2040 microcontroller te bedienen (**figuur 1**). De halfronde soldeereilandjes lang de randen van de print zijn herkenbaar, waardoor de Raspberry Pi Pico eenvoudig op een carrierboard kan worden gemonteerd (board-to-board solderen). Diverse modules (bijvoorbeeld Bluetooth- of Wi-Fi-modules) kunnen zo direct op een andere print worden gemonteerd.

De RP2040-microcontroller is een betaalbare en krachtige microcontroller met flexibele digitale interfaces. Een dual-core Cortex-M0+ processor geklokt op maximaal 133 MHz biedt voldoende power voor de meeste IoT-toepassingen.

**Figuur 2** toont de meervoudige GPIO-toewijzing van de Raspberry Pi Pico, wat een hoge mate van flexibiliteit bij het hardwareontwerp oplevert. Je ziet dat de twee UART's, de twee I<sup>2</sup>C-bussen en de twee SPI-bussen meerdere malen beschikbaar zijn. Alleen de interne ADC-aansluitingen zijn toegewezen aan vaste pennen. Sommige GPIO's dienen interne functies. **Tabel 1** toont de betreffende GPIO's

Tabel 1. Belangrijkste pinnen en functies.

| Pin    | I/O-richting | Functie                                               |
|--------|--------------|-------------------------------------------------------|
| GPIO29 | in           | ADC3 captures VSYS / 3                                |
| GPIO25 | uit          | user-LED                                              |
| GPIO24 | in           | detectie VBUS; hoog als VBUS aanwezig is, anders laag |
| GPIO23 | uit          | stuurt de SMPS op het board                           |

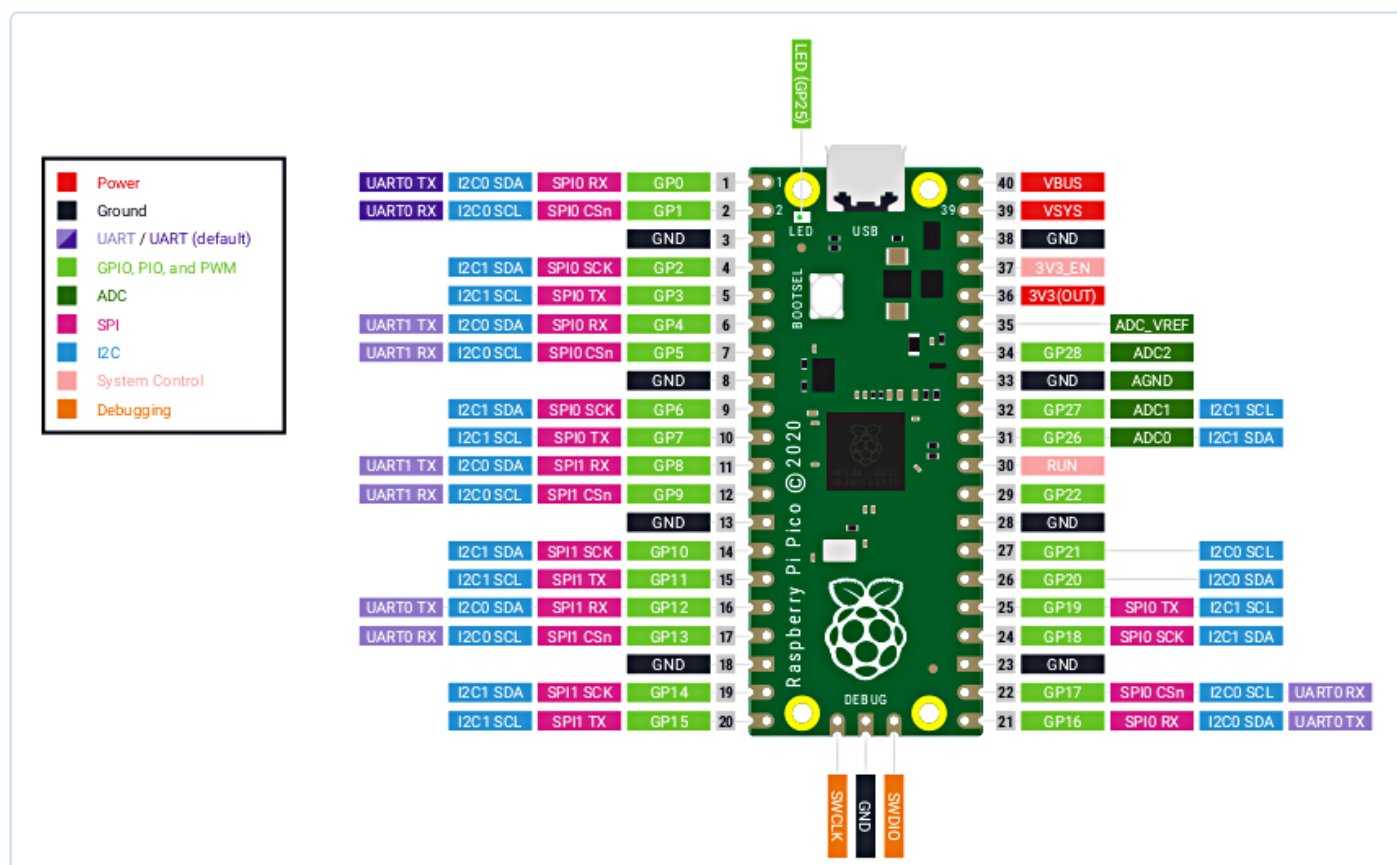


Figuur 1. Boven- en onderaanzicht van de Raspberry Pi Pico (bron: datasheet Raspberry Pi)

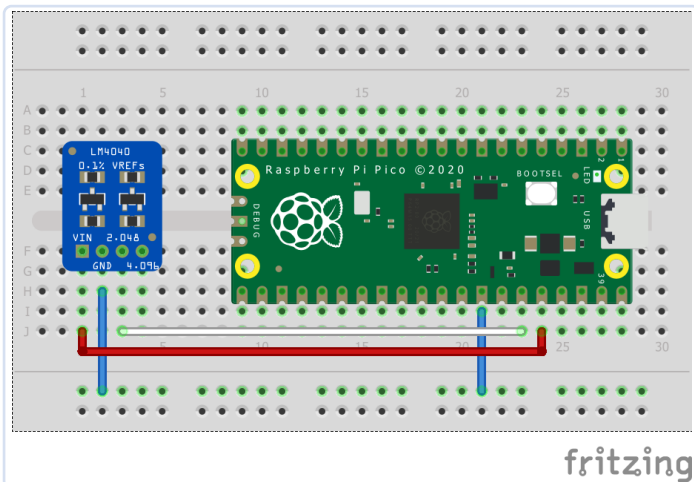
en hun functionaliteit. Naast deze GPIO's zijn er nog zeven aansluitingen naar buiten gevoerd. **Tabel 2** toont deze aansluitingen en hun functie. De schakelbare 3V3 (OUT) kan sensoren of actoren loskoppelen van de voeding om stroom te besparen. Voor batterijgevoede IoT-toepassingen kan dit zeer nuttig zijn. Als de ADC niet extreem nauwkeurig hoeft te zijn, is de intern gegenereerde referentiespanning goed genoeg. Je kunt de nauwkeurigheid verbeteren met een externe referentiespanning. Die kan bijvoorbeeld worden gegenereerd met een LM4040 en worden aangelegd op de ADC\_VREF aansluiting (**figuur 3**). Merk op dat de ADC van de huidige RP2040 nog wat lineariteitsproblemen heeft. Dit heeft gevolgen voor alle boards die op de RP2040 zijn gebaseerd.

## Maker Pi Pico

De Raspberry Pi Pico is niet het enige board op basis van de RP2040. Adafruit, Sparkfun, Pimoroni en andere bekende fabrikanten zijn op de markt met hun varianten van RP2040-gebaseerde microcontroller-boards. Met elk van deze boards kun je de luchtkwaliteit meten. Ik gebruik de Maker Pi Pico voor dit doel vanwege de uitstekende experimentele basis waarin Cytron Technologies voorziet. In de Elektor-shop vind je meer controllerboards en add-ons voor je projecten [3]. Cytron Technologies gebruikt de slogan "Simplifying Raspberry Pi Pico for Beginners" om reclame te maken voor zijn Maker Pi Pico-board (**figuur 4**). Het is altijd belangrijk om op bekend terrein te blijven als je



Figuur 2. Pinning van de Raspberry Pi Pico (bron: [9]).



Figuur 3. Externe ADC\_VREF met LM4040.

met een nieuwe microcontroller te maken krijgt. De nieuwe omgeving en nieuwe gereedschappen bieden voldoende mogelijkheden om fouten te maken.

De Raspberry Pi Pico is al gesoldeerd, en aan de linker- en rechterkant van het board zitten Grove-connectoren. Er is een SD-slot voor een microSD-kaart. De aansluiting voor een ESP-01 module rechtsonder is essentieel om Internet verbinding te krijgen. Naast tal van nieuwere WiFi-modules is de ESP-01, gebaseerd op de ESP8266 van Espressif, een goede oude module voor dit doel.

**Figuur 5** toont de pinning van het Maker Pi Pico-board. Je ziet hier ook de corresponderende pinnen van de Raspberry Pi Pico. De reset-knop op het bord (ontbreekt op de Raspberry Pi Pico) is in de praktijk essentieel. Een Neopixel RGB-LED dient als indicatie voor verschillende toestanden.

Figuur 5 laat ook de meervoudige GPIO-toewijzing van de Raspberry Pi Pico aan de Grove-connectoren zien. Je ziet dat de twee UART's, de twee I<sup>2</sup>C-bussen en de twee SPI-bussen meerdere malen beschikbaar

Tabel 2. Meer pinnen en functies.

| Pin | Naam      | Functie                                                                                                                                                        |
|-----|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 40  | VBUS      | USB-spanning (5 V). Een externe voeding via USB kan worden gedetecteerd via GPIO24 (hoog: spanning aanwezig; laag: geen spanning aanwezig).                    |
| 39  | VSYS      | Systeemingangsspanning; bereik 1,8...5,5 VDC. De ingebouwde SMPS genereert de 3,3 V om de RP2040 en zijn GPIO's van stroom te voorzien.                        |
| 37  | 3V3_EN    | Hoog via pull-up weerstand. Indien verbonden met GND, wordt de 3,3 V uitgeschakeld.                                                                            |
| 36  | 3V3 (OUT) | 3V3-voeding voor externe componenten. Belasting moet $\leq 300$ mA zijn.                                                                                       |
| 35  | ADC_VREF  | Voedingsspanning en referentie voor de ADC. Het gebruik van een externe spanningsreferentie voor een betere nauwkeurigheid is mogelijk.                        |
| 33  | AGND      | Analoge GND voor GPIO26...29. Als de ADC niet in gebruik is of de ADC-nauwkeurigheid niet kritisch is, kan deze pen worden verbonden met digitale massa (GND). |
| 30  | RUN       | Hoog via een pull-up weerstand. Indien laag, wordt de RP2040 gereset. Er is geen reset-knop.                                                                   |

zijn. Alleen de twee ADC-kanalen zijn vast toegewezen aan connector Grove6. Drie GPIO's zijn verbonden met programmeerbare knoppen; en verschillende uitgangen gaan naar de NeoPixel RGB-LED, piëzo-zoemer en audio. De ESP-01 WiFi-module is al genoemd.

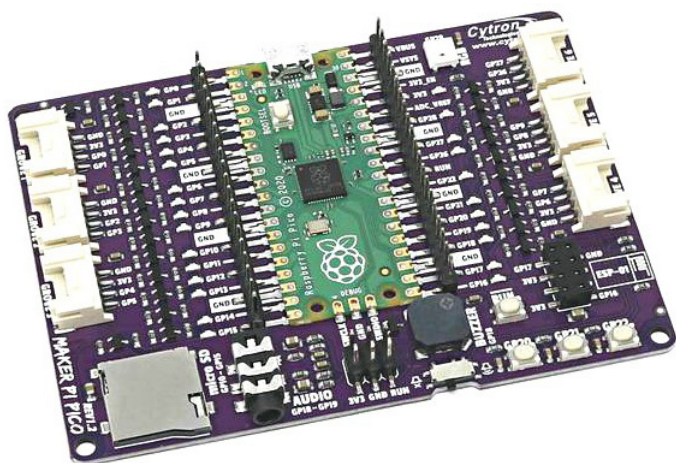
De toevoeging van een ESP-01 WiFi-module elimineert de waarschijnlijk grootste tekortkoming van een RP2040. De combinatie van een RP2040-board met een ESP8266 WiFi-module kost gewoonlijk minder dan € 12. Vergelijk dat eens met de € 30 (typisch) die je moet neertellen voor het Arduino Nano RP2040 Connect-board...

## Het meten van de luchtkwaliteit

De luchtkwaliteit is een essentiële parameter in tijden van Corona. In de zomer is het risico op besmetting kleiner, maar er zijn verschillende prognoses voor de komende herfst en winter. Verontreinigingen zoals fijnstof, asbestvezels, formaldehyde, PCB's, radon, schoonmaakmiddelen, schimmel, stof, tabaksrook en vluchtige organische stoffen (VOC's) beïnvloeden de luchtkwaliteit binnenshuis, naast CO<sub>2</sub>.

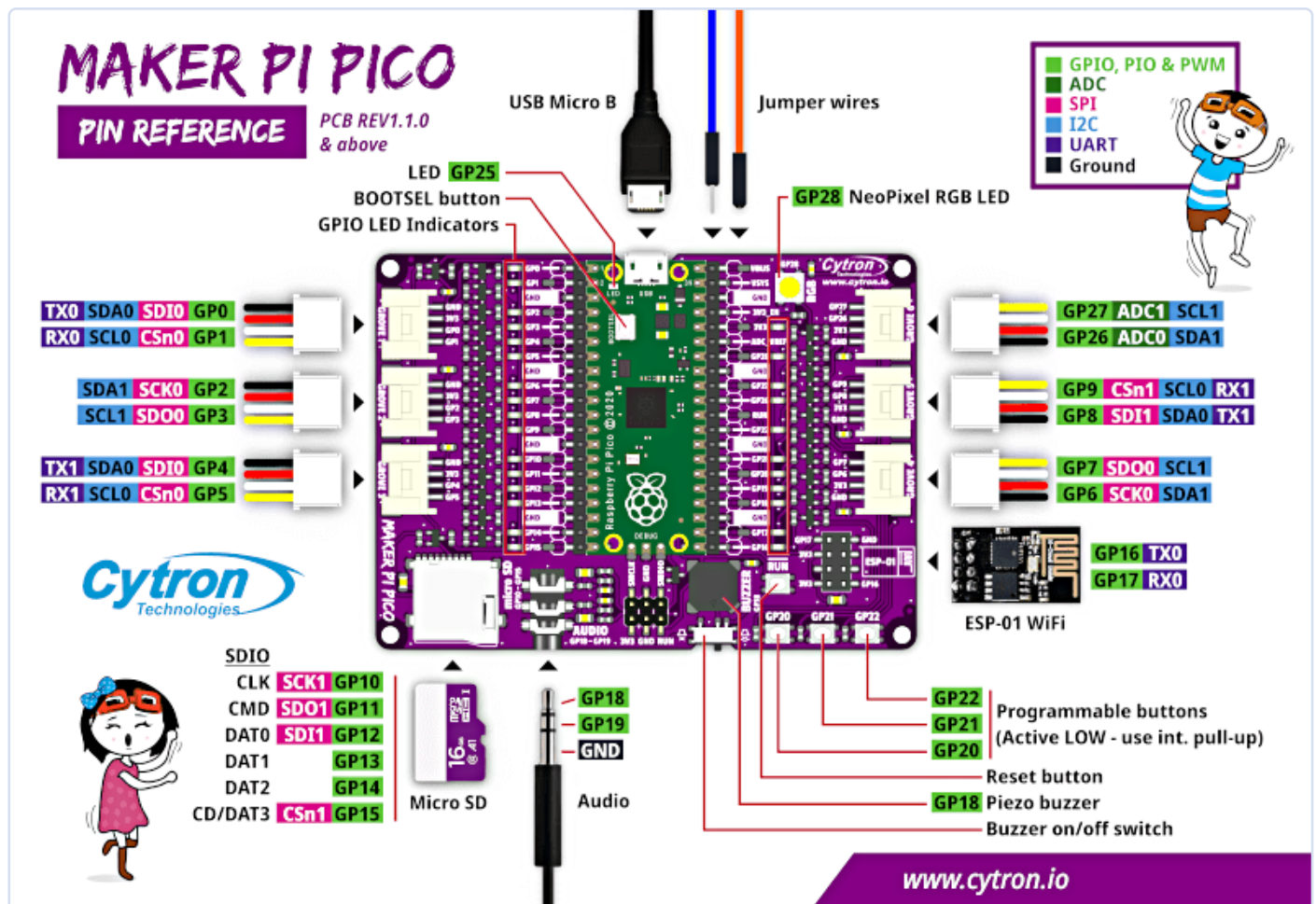
Het kooldioxidegehalte van de lucht die we normaliter inademen, bedraagt ongeveer 415 ppm ( $\approx 0,04\%$ ). De door een persoon uitgeademde lucht heeft een CO<sub>2</sub>-gehalte van ongeveer 40.000 ppm. In ongeventileerde slaapkamers, volledig bezette klaslokalen of vergaderzalen kunnen we dus al snel tot 5000 ppm meten. Deze hoge CO<sub>2</sub>-concentraties zijn nadelig voor de aandacht, de prestaties en de gezondheid in het algemeen.

Als je de luchtkwaliteit uitgebreid wilt evalueren, moet je zorgen voor een complex sensorsysteem. In een professioneel meetsysteem meten verschillende sensoren bijvoorbeeld de waarden voor CO<sub>2</sub>, fijnstof (relevante groottecategorieën: PM1, PM2.5 en PM10), NO<sub>2</sub>, CO, lawaai, temperatuur, vochtigheid en luchtdruk. Dit artikel concentreert zich



Figuur 4. Boveenaanzicht Maker Pi Pico (bron: Cytron).





Figuur 5. Pinning van het Maker Pi Pico-board (bron: Cytron).

op de meting van twee belangrijke waarden, CO<sub>2</sub> en VOC, die door twee sensortypen kunnen worden gemeten:

- NDIR-sensoren (niet-dispersieve infraroodsensoren) maken gebruik van de concentratie-afhankelijke absorptie van elektromagnetische straling in het infrarode bereik. De maximale absorptie van CO<sub>2</sub> vindt plaats bij een golflengte van 4,3 µm, zonder veel invloed van andere gassen. De CO<sub>2</sub>-concentratie kan dus zeer selectief en eenvoudig worden gemeten.
- Bij MOX-sensoren veroorzaakt het stromende gas een verandering in een gasgevoelige metaaloxidelag. De weerstandsverandering is een maat voor de concentratie van de opgenomen VOC in hun geheel en kan niet worden toegewezen aan een bepaalde stof. Breedbandige VOC-MOX-sensoren kunnen een heel spectrum van stoffen meten die in specifieke concentraties gevaarlijk zijn voor de gezondheid.

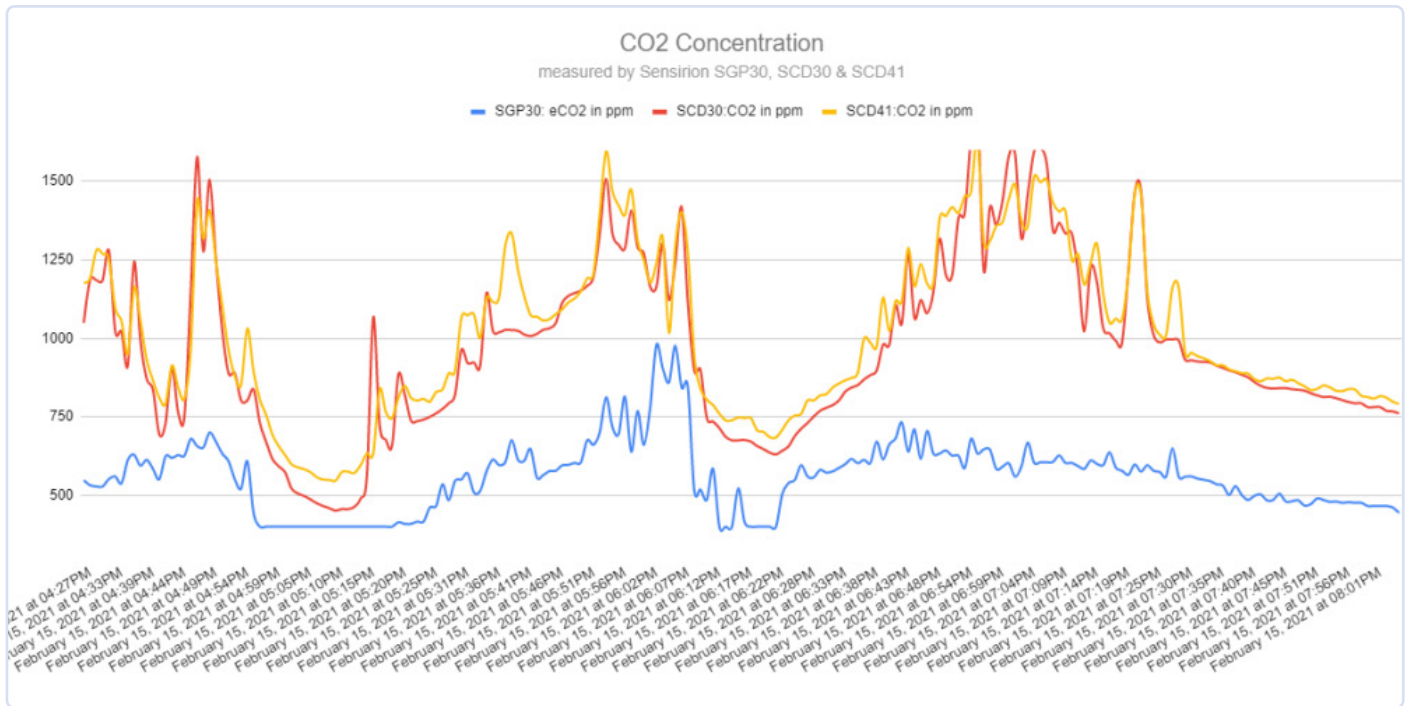
Zoals gezegd, concentreren we ons in dit artikel zich op de meting van CO<sub>2</sub> en VOC's. Stel dat we de CO<sub>2</sub>-concentratie gebruiken als maat voor de luchtkwaliteit. Dan hebben we een goede indicatie van de afname van de luchtkwaliteit door wat de aanwezigen uitademen en van het daarmee gepaard gaande infectierisico door virussen die via aërosolen worden overgedragen.

Stel dat we meer breedbandige MOX-sensoren gebruiken om de luchtkwaliteit te meten. In dat geval hebben we een goede indicatie van de afname van de luchtkwaliteit door verschillende verontreinig-

gende stoffen, waaronder menselijke uitwasemingen en geurtjes. In een uitgebreide studie heb ik het gedrag van NDIR- en MOX-sensoren onderzocht bij het meten van de luchtkwaliteit [4]. Sorry, de tekst van die studie is in het Duits, maar **figuur 6** toont een belangrijk resultaat. In een van deze experimenten heb ik gemeten met twee CO<sub>2</sub>-sensoren en een MOX-sensor. De gebruikte CO<sub>2</sub>-sensoren waren de SCD30 (NDIR) en SCD41 (PASense), ontwikkeld door het Zwitserse bedrijf Sensirion. De MOX-sensor was een SGP30, eveneens van Sensirion. Omdat er naast de menselijke uitwasemingen geen andere stoffen aanwezig waren, volgen de meetwaarden van de MOX-sensor SGP30 die van de twee CO<sub>2</sub>-sensoren SCD30 en SCD41. De meting van de luchtkwaliteit met de meer kosteneffectieve MOX-sensoren geeft resultaten te zien die vergelijkbaar zijn met de zuivere CO<sub>2</sub>-concentratie in al die gevallen waar de ademlucht en uitwasemingen overheersen. Afwijkingen doen zich voor in verontreinigde omgevingen (bijvoorbeeld met formaldehyde).

### Luchtkwaliteit via een MOX-sensor

Omdat een MOX-sensor volstaat om de luchtkwaliteit te meten, heb ik in mijn project de Sensirion SGP30 gebruikt. Deze sensor meet de Total Volatile Organic Compound (TVOC) en de equivalente berekende CO<sub>2</sub>-concentraties (eCO<sub>2</sub>). Deze laatste wordt berekend op basis van de concentratie van H<sub>2</sub> en is daarom niet zo exact als de rechtstreeks gemeten CO<sub>2</sub>-concentratie, maar goed genoeg voor mijn doel. De chip zelf (**figuur 7**) was voor mij onhandelbaar, dus gebruikte ik de M5Stack TVOC/eCO<sub>2</sub>-unit. Deze unit is een handzaam behuise



Figuur 6. CO<sub>2</sub>-concentratie, gemeten met NDIR- en MOX-sensoren.



Figuur 7. SGP30 (bron: datasheet Sensirion SGP30).

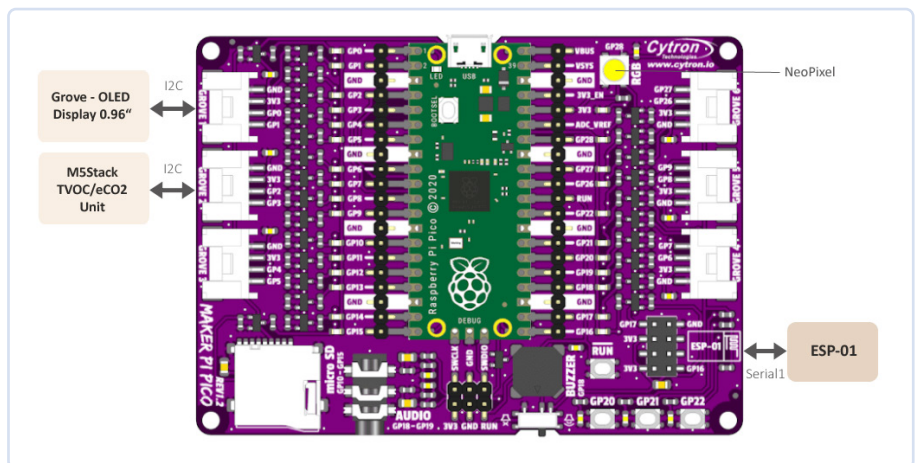
SGP30 die kan worden aangesloten via een Grove I<sup>2</sup>C-connector (figuur 8).

Een 0,96" OLED-display, aangesloten via I<sup>2</sup>C, toont de meetwaarden voor TVOC en eCO<sub>2</sub>. De ESP-01 is verantwoordelijk voor de internet-toegang en is via de UART-interface Serial1 met de Raspberry Pi Pico verbonden. **Figuur 9** toont alle gebruikte periferie die op het Maker Pi Pico-board is aangesloten. De NeoPixel doet dienst als verkeerslicht-display. Groen betekent goede luchtkwaliteit, geel betekent minder goed, en rood betekent slechte luchtkwaliteit (het is dan zaak te ventileren).

**Figuur 10** toont de complete schakeling. De controller vraagt de SGP30-sensor elke vijf seconden af en zendt de laatste gemeten waarden één keer per minuut naar de ThingSpeak-server. De kleur van de NeoPixel-LED volgt de gemeten eCO<sub>2</sub>-waarde en kan eenvoudig worden aangepast (figuur 11).

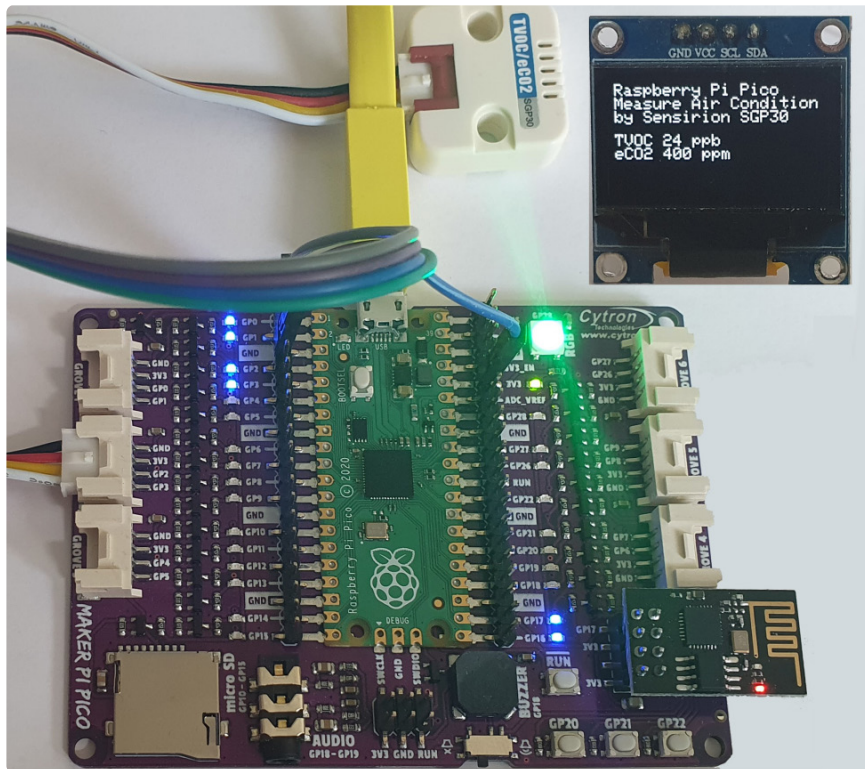


Figuur 8. M5Stack TVOC/eCO<sub>2</sub>-sensor (bron: M5Stack).



Figuur 9. De hier gebruikte periferie, aangesloten op Maker Pi Pico (bron: Cytron/auteur).



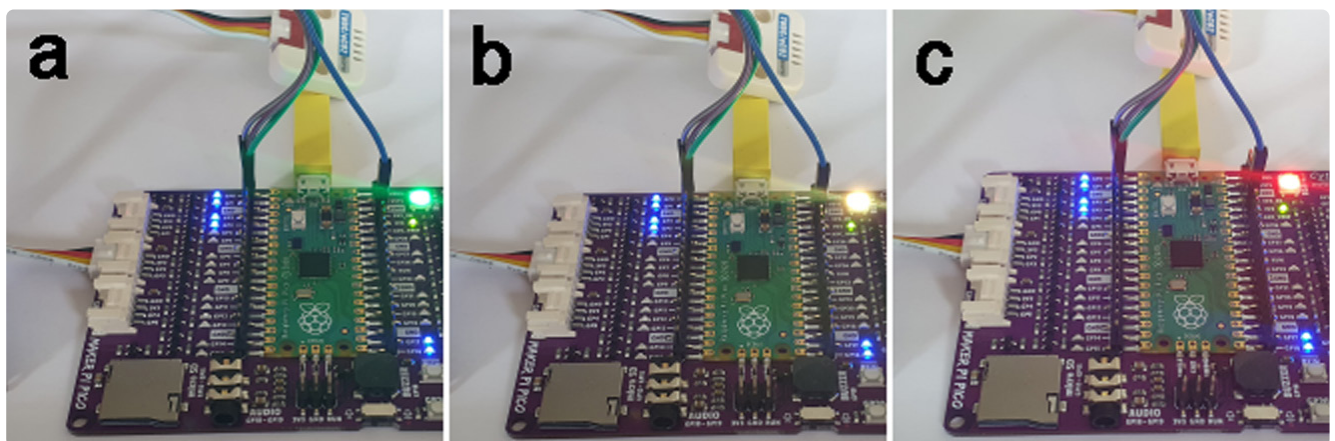


Figuur 10. Meting van de luchtkwaliteit met Sensirion SGP30 en Raspberry Pi Pico.

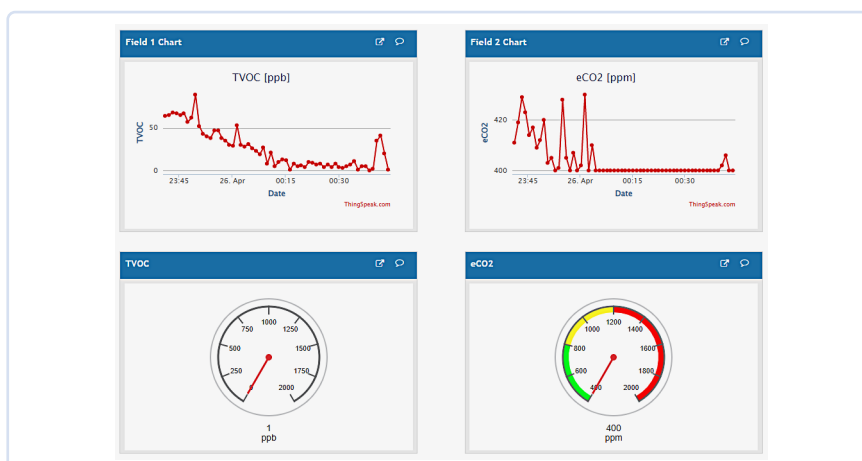
Voor het visualiseren van de gemeten waarden op ThingSpeak wordt de data verstuurd via HTTP GET-toegang tot de ThingSpeak-API. **Figuur 12** toont de visualisatie van de gemeten waarden in ThingSpeak [5].

## Software

Voor dit project heb ik de Arduino IDE 2.0 gebruikt, zoals al eerder opgemerkt. Earle F. Philhower III heeft de Raspberry Pi Pico geport voor programmering met de Arduino IDE. Dankzij zijn werk kunnen we nu alle verschillende RP2040-boards programmeren met de Arduino IDE. Deze port van de RP2040 (Raspberry Pi Pico-processor) naar het Arduino-ecosysteem maakt gebruik van de kale Raspberry Pi Pico-SDK en een aangepaste GCC



Figuur 11. Indicatie van de gemeten  $eCO_2$ -waarde via de kleur van de NeoPixel RGB-LED.

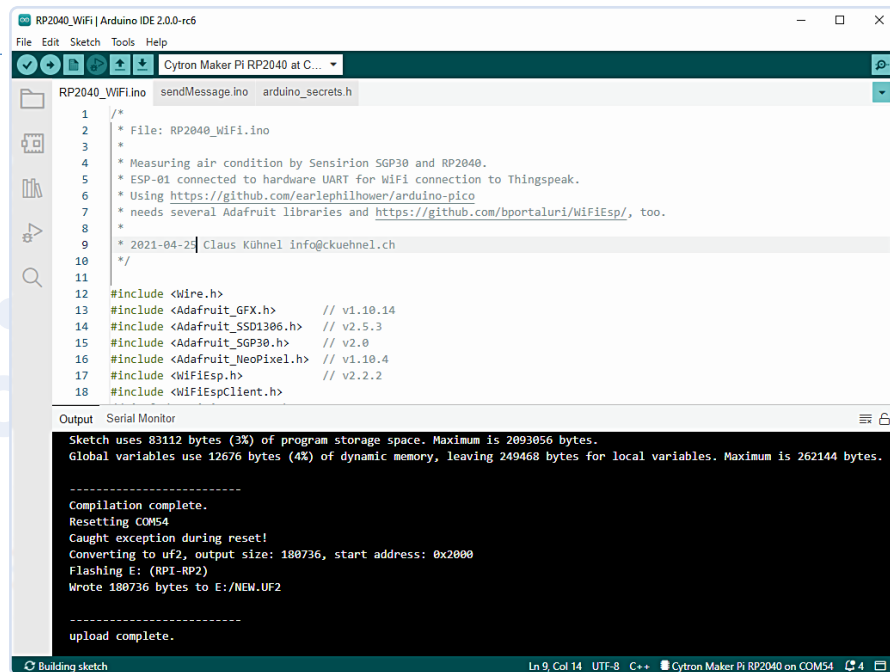


Figuur 12. Visualisatie in Thingspeak.

10.3/Newlib 4.0 toolchain.

In bootloader-modus worden boards automatisch herkend en in de Arduino IDE getoond. Het upload-commando werkt met het Microsoft UF2-gereedschap (meegeleverd). Instructies voor installatie en gebruik zijn te vinden op GitHub [6]. **Figuur 13** toont het programmavoorbeeld *RP2040\_WiFi.ino*. Het maakt gebruik van twee extra bestanden, *sendMessage.ino* en *arduino\_secrets.h*. Deze zijn beschikbaar voor download op GitHub [7]. Tijdens de eerste compilaties van deze software-versie vond de compiler twee fouten in het bestand *WiFiEspClient.cpp* van de WiFiEsp library v2.2.2. Na het toevoegen van de ontbrekende return-statements werkte het.





Figuur 13. Programma-voorbeeld RP2040\_WiFi.ino in de Arduino IDE 2.0.

```
size_t WiFiEspClient::print(const __FlashStringHelper
*ifsh)
{
    return printFSH(ifsh, false); // 2022-04-25 CK
}
```

```
// if we do override this, the standard println will
// call the print method twice
size_t WiFiEspClient::println(const __FlashStringHel-
per *ifsh)
{
    return printFSH(ifsh, true); // 2022-04-25 CK
}
```

Het programma *RP2040\_WiFi.ino* bevat alle benodigde bibliotheken. Ik heb de versies daarvan als commentaar opgenomen. Declaraties en initialisaties volgen voor de functie *setup()*. De initialisatie van de periferie is interessant en onderstreept de flexibiliteit van de RP2040. De onderstaande code is een uittreksel uit de becommentarieerde broncode die de toewijzing van functies aan GPIO en hun initialisatie toont.

```
//I2C0 for SSD1306 connection
Wire.setSDA(0);
Wire.setSCL(1);
Wire.begin();
...
// I2C1 for SGP30 connection
Wire1.setSDA(2);
Wire1.setSCL(3);
Wire1.begin();
...
// Serial1 for ESP-01 connection
Serial1.setRX(17);
Serial1.setTX(16);
Serial1.begin(115200);
WiFi.init(&Serial1);
```

eCO<sub>2</sub>-waarden onder 800 worden aangegeven met een groene LED. Tussen 800 en 1200 licht de LED geel op. Boven 1200 wordt de LED rood (figuur 11c). Je kunt deze niveaus natuurlijk naar wens aanpassen. De functie *sendMessage()* is verantwoordelijk voor de HTTP GET-toegang tot de Thingspeak-API. De regel

```
client.println("GET /update?api_
key=" + api_key + "&field1=" + String(T-
VOC) + "&field2=" + String(eCO2) + " HTTP/1.1");
```

is verantwoordelijk voor het verzenden van API-sleutel, TVOC- en eCO<sub>2</sub>-waarden naar de Thingspeak-API (figuur 14). Verder zie je de seriële uitvoer van het programma na het resetten in dit screenshot. Voor WiFi-toegang moet je je SSID en wachtwoord aanpassen en voor Thingspeak het write-token in het *arduino\_secrets.h* bestand. Registratie bij Thingspeak is vereist. De voorbeelden in de onderstaande code werken niet.

```
// Access data for services

// WiFi
const char* ssid = "Sunrise_2.4GHz_8xxxx0";
const char* pass = "u2uxxxxxDs";

// Thingspeak
// GET https://api.thingspeak.com/
update?api_key=33xxxxxxSZE&field1=0&field2=0
const char* server = "api.thingspeak.com";
String api_key = "33xxxxxxSZE";
```

Je kunt deze toepassing uitbreiden tot een gesloten-lus systeem op basis van de hier gebruikte hardware. Gebruik andere Grove-units om bijvoorbeeld de ventilatie van een ruimte te regelen op basis van de eCO<sub>2</sub>-waarde. Afhankelijk van temperatuur en vochtigheid is ook het regelen van een airconditioningsysteem mogelijk. Je moet nu verdere ideeën kunnen ontwikkelen voor het implementeren van automatise-

```

21 void sendMessage()
22 {
23     // close any connection before send a new request
24     // this will free the socket on the WiFi shield
25     client.stop();
26
27     Serial.println("Starting connection to server...");
28     // if you get a connection, report back via serial
29     if (client.connect(server, 80))
30     {
31         Serial.println("Connecting...");
32         // Make a HTTP request
33         client.println("GET /update?api_key=" + api_key + "&field1=" + String(TVOC) + "&field2=" + String(eCO2) + " HTTP/1.1");
34         client.println("Host: api.thingspeak.com");
35         client.println("Connection: close");
36         client.println();
37     }
38 }

```

Output Serial Monitor x

Message (Ctrl + Enter to send message to 'Cytron Maker Pi RP2040' on 'COM54')

```

RP2040 Air Condition Measurement
Found SGP30 serial #01684D23
[WiFiEsp] Initializing ESP module
[WiFiEsp] Initialization successful - 1.5.4
Attempting to connect to WPA SSID: Sunrise_2.4GHz_8AC2A0
[WiFiEsp] Connected to Sunrise_2.4GHz_8AC2A0
You're connected to the network
SSID: Sunrise_2.4GHz_8AC2A0
IP Address: 192.168.1.217
Signal strength (RSSI):-77 dBm
Initialization finished.
TVOC 0 ppb      eCO2 400 ppm
TVOC 0 ppb      eCO2 400 ppm
TVOC 0 ppb      eCO2 400 ppm

```

Figuur 14. Functie `sendMessage()` in het bestand `sendMessage.ino` en seriële uitvoer.

ring in je omgeving. Misschien vind je in een ander Elektor-artikel [8] aanvullende informatie over luchtmeting en nog wat meer inspiratie voor je projecten. [↩](#)

210636-03



## GERELATEERDE PRODUCTEN

- **RP2040-controllerboards en meer @ Elektor**  
[www.elektor.nl/raspberry-pi/rp2040](http://www.elektor.nl/raspberry-pi/rp2040)
- **Sensoren @ Elektor**  
[www.elektor.nl/catalogsearch/result/?q=Sensors](http://www.elektor.nl/catalogsearch/result/?q=Sensors)

## Over de auteur

Dr. Claus Kühnel studeerde informatietechnologie aan de Technische Universiteit van Dresden en ontwikkelt al vele jaren embedded systemen voor onder andere laboratoriumdiagnostische apparatuur. In dit interdisciplinaire vakgebied kwam hij in contact met de makerscene. Hij heeft talrijke artikelen en boeken gepubliceerd over microcontroller-hardware en -software in Duitsland en daarbuiten. Hij is gefascineerd door nieuwe technologieën rond microcontrollers.

## Vragen of opmerkingen?

Hebt u technische vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar de redactie van Elektor via [redactie@elektor.com](mailto:redactie@elektor.com).

## WEBLINKS

- [1] L. Lemmens, M. Claussen, "Kennismaking met het Raspberry Pi Pico-board en de RP2040", Elektor mei/juni 2021: [www.elektormagazine.nl/magazine/elektor-177/59602](http://www.elektormagazine.nl/magazine/elektor-177/59602)
- [2] Arduino IDE 2.0-download (Windows 64bit): [https://downloads.arduino.cc/arduino-ide/arduino-ide\\_2.0.0-rc6\\_Windows\\_64bit.exe](https://downloads.arduino.cc/arduino-ide/arduino-ide_2.0.0-rc6_Windows_64bit.exe)
- [3] RP2040 controllerboards en meer @ Elektor: [www.elektor.nl/raspberry-pi/rp2040](http://www.elektor.nl/raspberry-pi/rp2040)
- [4] Meting van de luchtkwaliteit met NDIR- en MOX-sensoren (Duitstalig): <https://tinyurl.com/yvj9z5sb>
- [5] Resultaten inThingspeak: <https://thingspeak.com/channels/1392977>
- [6] Raspberry Pi Pico Arduino-core voor RP2040: <https://github.com/earlephilhower/arduino-pico>
- [7] Voorbeeld RP2040\_WiFi.ino: [https://github.com/ckuehnel/Arduino2020/tree/master/RP2040/RP2040\\_WiFi](https://github.com/ckuehnel/Arduino2020/tree/master/RP2040/RP2040_WiFi)
- [8] L. Lemmens, M. Claussen, "CO2-wachter", Elektor mei/juni 2022: [www.elektormagazine.nl/magazine/elektor-258/60497](http://www.elektormagazine.nl/magazine/elektor-258/60497)
- [9] Raspberry Pi Pico-pinning: <https://datasheets.raspberrypi.com/pico/Pico-R3-A4-Pinout.pdf>

# elekterminal

## Low cost video terminal for $\mu$ P/TV typewriter applications

*De titel en ondertitel van het project in de Engelse Elektor van december 1978.*

Jan Buiting (Elektor);  
foto's: Antoni Gendrau (Spanje)

In december 1978 publiceerde Elektor een computerterminal voor zelfbouw. 'Doe-het-zelf' was toen de succesfactor, want echte terminals met een beeldbuis en een toetsenbord waren voorbehouden aan professionele centrale computers in grote kantoren, waar veel geld beschikbaar was. Voor het eerst zagen hobbyisten een betaalbare manier om tekstueel met hun zelfbouw-microprocessor te communiceren – als een schrijfmachine. ASCII, Cherry en de knipperende cursor waren op het toneel verschenen en waren minstens twee decennia niet meer weg te denken.



*De elekterminal die door Antoni Gendrau [2] is gebouwd.*

De naam "elekterminal" is terug te voeren op de progressieve spelling die in het midden en het einde van de jaren zeventig op de linkse, post-hippie redactie van Elektor werd gecultiveerd. Hoofdletters, spaties en een op het Latijn en Grieks gebaseerde spelling waren passé, en de Nederlandse gewoonte om zelfstandige en bijvoeglijke naamwoorden aaneen te rijgen tot één (lang) woord werd tot het uiterste doorgevoerd. Ook werd zoveel mogelijk "Elektor" of "Elektuur" in de projectnaam verwerkt! Daarom dus geen "Elektor

Terminal" of "ElekTerminal"; **elekterminal** was de naam [1]. Achteraf gezien zou "Elektuur-terminal" een toepasselijke woordspeling zijn geweest, maar dan alleen voor de Nederlandse lezers.

### HELLO via de AY-5-1013

De belangrijkste onderdelen van de elekterminal waren een S.F. 96364 (sic) CRT-controllerchip van Thomson-CSF (Sescosem), een stel 2102A 1Kx1 statische RAM's voor het paginageheugen, en de legendarische

AY-5-1013 UART (ook bekend onder de naam MM5303) voor de seriële communicatie. Deze componenten werden logisch aan elkaar 'gelijmd' met onder andere een 1024-bit ROM-type SFC71301E. Dit bleek destijds voor veel lezers een exotisch onderdeel, maar gelukkig werd de inhoud van de PROM in het tijdschrift afgedrukt en was het IC destijds wellicht verkrijgbaar via de Elektor Software Service (ESS). Ook werd een equivalent genoemd: de 74S387.

### "Te gekke specs, man"

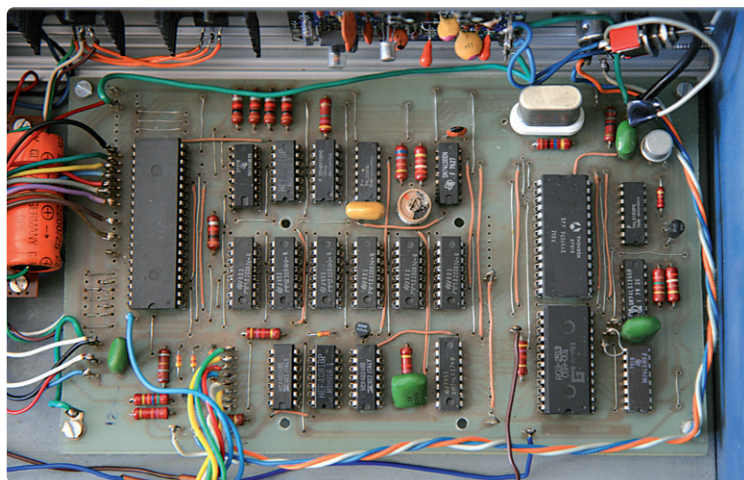
De specificaties van de elekterminal werden in het blad samengevat als:

- 1024 tekens per pagina, geformatteerd als 16 regels x 64 tekens.





De cover van Elektor december 1978.



De elekterminal-print, helemaal zelf geëst en opgebouwd door Antoni Gendrau [2].

- > uitbreidingsmogelijkheid voor 16 pagina's;
- > baudrates: 75, 110, 150, 300, 600, 1200;
- > seriële interface-opties: 6- of 7-bit ASCII; even/oneven/geen pariteit; 1 of 2 stopbits;
- > TTL of RS-232C spanningsniveaus;
- > normaal (wit op grijs) of geïnverteerd (zwart op grijs) videosignaal;
- > geavanceerde cursorbesturing en scrolling in hardware;
- > full-duplex of half-duplex modi;
- > slechts 21 IC's op de print.

De elekterminal gebruikte tekens van 5x7 pixels in plaats van 7x9 omdat: "Met 64 tekens per regel is de resulterende bandbreedte enkele MHz te groot voor conventionele TV-ontvangers, hetgeen in onscherpte resulteert. Om deze reden wordt de 7x9 matrix over het algemeen gereserveerd voor gebruik met videomontoren." Hoewel de elekterminal een voorziening had voor het aansturen van een 'pro' videomontor, gingen de meeste gebruikers "voor de TV" door een TV-modulator aan te sluiten die was afgestemd op VHF kanaal 2 of UHF 21. De modulator was ofwel zelfgebouwd (Elektor oktober 1978), kant-en-klaar gekocht of doorgelust via een videorecorder. Ook het ASCII-toetsenbord werd een maand daarvoor in Elektuur beschreven. De elekterminal en het ASCII-toetsenbord gingen al snel een huwelijk aan onder de naam "TV Typewriter".

## Groot succes, geen \_ERROR in 1978

Hoewel geen baanbrekend apparaat en in wezen een 'domme VDU' (visual display unit), opende de elekterminal voor hobbyisten de weg naar gestandaardiseerde, seriële communicatie met elk computersysteem met een standaard seriële interface zoals RS-232 of eventueel een 20mA-lus. Betaalbaar.

De elekterminal was vanaf het begin een enorm succes. Zijn mogelijkheden, vooral het schermformaat en de 1200-baud 'datasnelheid', lijken nu misschien prehistorisch, maar vormen in feite aan de basis van al die gigabit-, 4K-, 5G- of HyperTerminal-lekkernijen die je tegenwoordig gebruikt (of wilt gaan gebruiken).

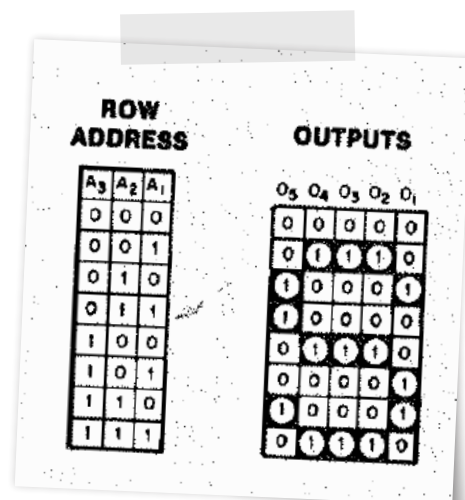
Wat de prototypen van de elekterminal betreft, is er bij Elektor niets bewaard gebleven sinds het uitmesten van het lab in 2006. Daarom zijn de hier getoonde foto's overgenomen uit het hilarische artikel van Antoni Gendrau over de elekterminal, verschenen in de rubriek Retrotronica in juni 2010 [2]. Ik heb echter wel in 2014 een perfect gebouwde TV Typewriter gezien, tentoongesteld in het Computer History Museum in Mountain View, Californië.

Ach, dat geluid van die Hall-effect toetsen van het Cherry-toetsenbord... ◀

220213-03

## Vragen of opmerkingen?

Hebt u vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar de auteur via [jan.buiting@elektor.com](mailto:jan.buiting@elektor.com).



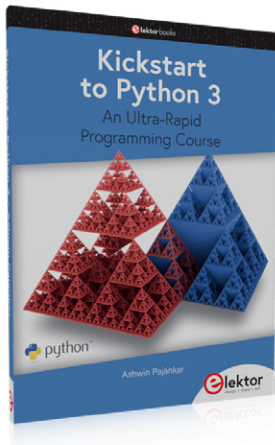
De 5x7-matrix van de elekterminal.

## WEBLINKS

- [1] "elekterminal" (Engelstalig), Elektor december 1978:  
<https://www.elektormagazine.com/magazine/elektor-197812/58259>
- [2] Antoni Gendrau, "elekterminal" (Retrotronica), Elektor juni 2010:  
<https://www.elektormagazine.nl/magazine/elektor-201006/16044>

# Snelstart met Python 3

voorbeeldhoofdstuk: digitale beeldbewerking en de Wand-bibliotheek



**Ashwin Pajankar (Pakistan)**

Ashwin Pajankar, Elektor boek-auteur, onderzoekt hier een gebied waar Python als programmeertaal hoog wordt aangeslagen, zo niet 'nummer één' is: beeldbewerking. Onderzoek samen met Ashwin de Wand-beeldverwerkingsbibliotheek, die uitblinkt door gemakkelijk programmeren van speciale effecten met minimale omhaal – en dat alles in Python, natuurlijk, en vooral snel!

**Noot van de redactie:** dit artikel is een deel uit het 210 pagina's tellende boek "Kickstart to Python 3" (Elektor 2022). Het fragment is opgemaakt en licht geredigeerd om te voldoen aan de redactionele standaarden en pagina-indeling van Elektor Magazine. Als deel een grotere publicatie kunnen sommige termen in dit artikel verwijzen naar passages elders in het boek. Auteur en redactie hebben hun best gedaan om dat te vermijden, en staan voor u klaar bij eventuele vragen (zie het kader **Vragen of opmerkingen?**).

'Beeldbewerking' is het gebruik van algoritmen om beeldinhoud te bewerken. In de tijd van analoge fotografie en speelfilms waren er technieken om de kwaliteit van beelden en frames (in een speelfilm) 'met de hand' te verbeteren met bijvoorbeeld chemische verbindingen. Dit was een voorloper van de moderne beeldbewerking. Tegenwoordig zijn de meeste beelden digitaal. Natuurlijk kan digitaal nog niet tippen aan de levendige kleuren en helderheid van analoog (beeldbewerking op basis van chemische film). Maar omdat het goedkoper is, gebruikt de overgrote meerderheid van mensen en organisaties (filmproducerende en -verwerkende organisaties) digitale beeldbewerking bij de productie van beelden en video's. Moderne computers zijn ook snel genoeg voor de bewerking van digitale beelden. Daarvoor wordt meestal gebruik gemaakt van moderne programmeertalen zoals C, C++, Java, Python, MATLAB en GNU Octave. Het is bijzonder gemakkelijk om beelden te bewerken met Python, omdat er veel bibliotheken van derden voor beschikbaar zijn.

**ImageMagick** is een softwaretool voor de manipulatie van beelden. Het wordt geleverd met API's voor verschillende programmeertalen. We kunnen de bibliotheek **Wand** gebruiken die een python-interface voor ImageMagick biedt. Laten we eerst de benodigde software installeren. Eerst moeten we ImageMagick installeren voor onze besturings-systeem. Onder macOS installeren we ImageMagick met de volgende commando's:

```
brew install ghostscript
brew install imagemagick
```

Deze twee commando's zouden ImageMagick moeten installeren onder macOS. Zo niet, dan moeten we het handmatig doen. Dat is eenvoudig – download het zip-bestand van [1] en kopieer het naar de *user home*-directory onder macOS. Pak het uit met het volgende commando:

```
tar xvzf ImageMagick-x86_64-apple-darwin20.1.0.tar.gz
```

Nu moeten we een paar regels toevoegen aan het bestand *.bash\_profile* in de *user home*-directory onder macOS.

```
# Settings for ImageMagik
export MAGICK_HOME="$HOME/ImageMagick-7.0.10"
export PATH="$MAGICK_HOME/bin:$PATH"
export DYLD_LIBRARY_PATH="$MAGICK_HOME/lib/"
```

Sluit de opdrachtprompt af en start deze opnieuw,; voer dan de volgende commando's één voor één uit:

```
magick logo: logo.gif
identify logo.gif
display logo.gif
```

Nu verschijnt het logo van het ImageMagick-project.

Installatie onder Windows is eenvoudig. Er zijn binaire uitvoerbare installatiebestanden voor alle smaken van Windows (32/64 bit). Van alle mogelijkheden moeten we die kiezen met de beschrijving *Win64/Win32 dynamic at 16 bits-per-pixel component with High-dynamic-range imaging enabled*. Voor 64bit-systemen gebruik je [2] en voor 32bit-Windows gebruik je [3].

Linux-gebruikers kunnen de broncode downloaden met het volgende commando:

```
wget https://www.imagemagick.org/download/ImageMagick.tar.gz
```

Laten we eens kijken waar alle bestanden zijn uitgepakt:

```
ls ImageMagick*
```

We krijgen de naam van de directory:

```
ImageMagick-7.1.0-10
```

Ga naar die directory:

```
cd ImageMagick-7.1.0-10
```

Voer vervolgens de volgende commando's na elkaar uit (als je bekend bent met Linux, zul je herkennen dat dit de standaardset commando's is om een nieuw programma op Linux-distro's te installeren):

```
./configure
make
sudo make install
sudo ldconfig /usr/local/lib
```

Nadat het ImageMagick-programma succesvol is geïnstalleerd, kunnen we de Wand-bibliotheek onder elk platform installeren met het volgende commando:

```
pip3 install wand
```

Hiermee is de installatie van ImageMagick en Wand onder elk besturingssysteem voltooid.

## Aan de slag

Maak een nieuw Jupyter Notebook aan voor alle voorbeelden in dit artikel. Vanaf hier moet alle code worden opgeslagen en uitgevoerd in dat Notebook. We beginnen met het importeren van de benodigde bibliotheken.

```
from __future__ import print_function
from wand.image import Image
```

Deze statements importeren de vereiste modules. Laten we eerst een afbeelding inlezen en de afmetingen ervan afdrukken; dat doen we als volgt:

```
img = Image(filename='D:/Dataset/4.2.03.tiff')
print('width =', img.width)
print('height =', img.height)
```

De uitvoer is als volgt:

```
width = 512
height = 512
```

We kunnen ook het type van de afbeelding opvragen:

```
type(img)
```

Dit geeft de volgende uitvoer:

```
wand.image.Image
```



*Figuur 1. Een afbeelding in het Jupyter Notebook.*

Vervolgens kunnen we de afbeelding in het Notebook als uitvoer tonen door gewoon de naam van de variabele in te typen waarin de afbeelding is opgeslagen:

```
img
```

Dit produceert de uitvoer van **figuur 1**.

Ik gebruik de afbeeldings-dataset die wordt geleverd door Image-ProcessingPlace [4]. Alle afbeeldingen zijn standaard testafbeeldingen die vaak in beeldbewerking worden gebruikt. Ik gebruik niet de standaard-testafbeelding "Lena" omdat ik van mening ben dat de herkomst van de afbeelding controversieel is en hij respectloos en denigrerend is ten opzichte van vrouwen in het algemeen.

We kunnen ook een afbeelding klonen, het bestandsformaat veranderen en op schijf opslaan:

```
img1 = img.clone()
img1.format = "png"
img1.save(filename='D:/Dataset/output.png')
```

Als het je nog niet is opgevallen: ik gebruik een Windows-computer voor deze voorbeelden. Als je een Unix-achtig OS gebruikt, moet je de locatie navenant aanpassen. Ik gebruik bijvoorbeeld de onderstaande code om het uitvoerbestand op een Raspberry Pi OS (Debian Linux-variant) op te slaan:

```
img1.save(filename='/home/pi/Dataset/output.png')
```

We kunnen ook een aangepaste afbeelding maken met uniforme kleur:

```
from wand.color import Color
bg = Color('black')
img = Image(width=256, height=256, background=bg)
img.save(filename='D:/Dataset/output.png')
```

Laten we eens kijken hoe we de afmetingen van een afbeelding kunnen veranderen. Er zijn twee manieren. De eerste:

```
img = Image(filename='D:/Dataset/4.2.03.tiff')
img1 = img.clone()
img1.resize(60, 60)
img1.size
```

En de tweede:

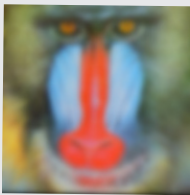
```
img1 = img.clone()
img1.sample(60, 60)
img1.size
```

De routines `resize()` en `sample()` verkleinen de afbeelding tot de gespecificeerde afmetingen. We kunnen ook een deel van een afbeelding bijsnijden, zoals hier:





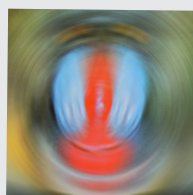
Figuur 2. Een onscherpe afbeelding.



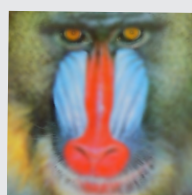
Figuur 3. Adaptieve vervaging.



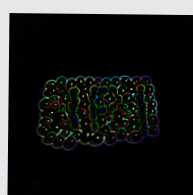
Figuur 4. Bewegings-  
onscherpte onder  
een hoek van 30°.



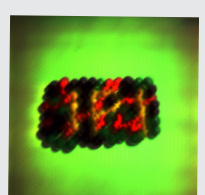
Figuur 5.  
Rotatievervaging.



Figuur 6. Selectieve  
vervaging.



Figuur 7.  
Randdetectie.



Figuur 8. Reliëffect.

```
img1 = img.clone()
img1.crop(10, 10, 60, 60)
img1.size
```

## Beeldeffecten

Er zijn veel verschillende beeldeffecten mogelijk. Laten we beginnen met het vervagen van een afbeelding.

```
img1 = img.clone()
img1.blur(radius=6, sigma=3)
img1
```

De uitvoer is weergegeven in **figuur 2**. Laten we nu adaptieve vervaaging toepassen:

```
img1 = img.clone()
img1.adaptive_blur(radius=12, sigma=6)
img1
```

en dan wat Gaussiaanse vervaaging:

```
img1 = img.clone()
img1.gaussian_blur(sigma=8)
img1
```

De uitvoer is te zien in **figuur 3**. We kunnen ook bewegingsonscherpte toepassen:

```
img1 = img.clone()
img1.motion_blur(radius=20, sigma=10, angle=-30)
img1
```

Merk op dat we de bewegingshoek opgeven bij de aanroep van de routine. De uitvoer moet er als **figuur 4** uitzien.

Dan is er nog de draaiings-onscherpte (**figuur 5**):

```
img1 = img.clone()
img1.rotational_blur(hoek=25)
img1
```

en selectieve onscherpte (**figuur 6**):

```
img1 = img.clone()
img1.selective_blur(radius=10, sigma=5,
drempel=0.50 * img.quantum_range)
img1
```

We kunnen ook een beeld 'ontspikkelen' (despeckle), dat wil zeggen de ruis reduceren:

```
img1 = img.clone()
img1.despeckle()
img1
```

en randen detecteren (**figuur 7**):

```
img = Image(filename='D:/Dataset/4.1.07.tiff')
```

```
img1 = img.clone()
img1.edge(radius=1)
img1
```

We kunnen een 3D-reliëffect genereren (**figuur 8**):

```
img1 = img.clone()
img1.emboss(radius=4.5, sigma=3)
img1
```

of het beeld naar grijs tinten omzetten en er dan een effect op loslaten (**figuur 9**):

```
img1 = img.clone()
img1.transform_colorspace('gray')
img1.emboss(radius=4.5, sigma=3)
img1
```

Om een beeld in zijn geheel scherper te maken, kun je invoeren:

```
img1 = img.clone()
img1.sharpen(radius=12, sigma=4)
img1
```

of adaptieve verscherping toepassen:

```
img1 = img.clone()
img1.adaptive_sharpen(radius=12, sigma=6)
img1
```

Het omgekeerde kan ook, met het onscherp-masker:

```
img1 = img.clone()
img1.unsharp_mask(radius=20, sigma=5,
amount=2, threshold=0)
img1
```

Tenslotte proberen we de pixels willekeurig te verstrooien binnen de opgegeven straal:

```
img1 = img.clone()
img1.spread(radius=15.0)
img1
```

Het resultaat is te zien in **figuur 10**. Speciale effecten

Laten we nu eens bestuderen hoe we speciale effecten op een afbeelding kunnen toepassen. Het eerste effect is *ruis* (noise). Er zijn verschillende soorten ruis. Als eerste gebruiken we Gaussiaanse ruis.

```
img1 = img.clone()
img1.noise("gaussian", attenuate=1.0)
img1
```

De uitvoer is te zien in **figuur 11**. Hieronder geven we een overzicht van alle geldige tekenreeksen die kunnen worden gebruikt als namen van ruistypen:

```
'gaussian'
```

```
'impulse'
'laplacian'
'multiplicative_gaussian'
'poisson'
'random'
'uniform'
```

We kunnen als volgt blauwverschuiving op een beeld toepassen (figuur 12):

```
img1 = img.clone()
img1.blue_shift(factor=0.5)
img1
```

of een houtskool-effect creëren (figuur 13):

```
img1 = img.clone()
img1.charcoal(radius=2, sigma=1)
img1
```

We kunnen ook een kleurenmatrix toepassen:

```
img1 = img.clone()
matrix = [[0, 0, 1],
[0, 1, 0],
[1, 0, 0]]
img1.color_matrix(matrix)
img1
```

Een kleurenmatrix kan maximaal 6x6 groot zijn. In een kleurenmatrix staat elke kolom voor een kleurkanaal waarnaar moet worden verwezen, en elke rij voor een kleurkanaal dat moet worden beïnvloed. Voor RGB-afbeeldingen zijn dit rood, groen, blauw, n/a, alpha en een constante (offset). Voor CMYK-afbeeldingen zijn dat cyaan, geel, magenta, zwart, alpha en een constante. In dit voorbeeld hebben we een 3x3-matrix gemaakt met een resultaat als in **figuur 14**.

Andere speciale effecten die door het programma worden ondersteund

en in het boek worden beschreven zijn: overvloeien met constante kleur, implosie, Polaroid, sepia, schets, solarisatie, swirl, tint, vignet, golf, wavelet de-noise, flip, flop, en gedraaid. ◀

220314-03

### Vragen of opmerkingen?

Hebt u vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar de auteur via [ashwin.pajankar@gmail.com](mailto:ashwin.pajankar@gmail.com) of naar de redactie van Elektor via [redactie@elektor.com](mailto:redactie@elektor.com).

### Over de auteur

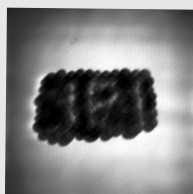
Ashwin Pajankar heeft een Master of Technology van IIIT Hyderabad, en heeft meer dan 25 jaar programmeerervaring. Hij begon zijn carrière in programmeren en elektronica met de programmeertaal BASIC en is nu thuis in assembler, C, C++, Java, Shell Scripting en Python. Zijn verdere technische expertise omvat single-board computers zoals de Raspberry Pi, Banana Pro en Arduino.



### GERELATEERDE PRODUCTEN

➤ **A. Pajankar, Kickstart to Python3, Elektor 2022 (boek, SKU 20106)**  
[www.elektor.nl/20106](http://www.elektor.nl/20106)

➤ **A. Pajankar, Kickstart to Python3, Elektor 2022 (e-boek, SKU 20107)**  
[www.elektor.nl/20107](http://www.elektor.nl/20107)



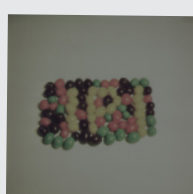
Figuur 9. Reliëf bij een afbeelding in grijstinten.



Figuur 10. Spreidingseffect.



Figuur 11. Gaussiaanse ruis.



Figuur 12. Blauwverschoven afbeelding.



Figuur 13. Houtskool-effect.



Figuur 14. Kleurmatrix-effect.

### WEB LINKS

[1] ImageMagick-download:

[https://download.imagemagick.org/ImageMagick/download/binaries/ImageMagick-x86\\_64-apple-darwin20.1.0.tar.gz](https://download.imagemagick.org/ImageMagick/download/binaries/ImageMagick-x86_64-apple-darwin20.1.0.tar.gz)

[2] ImageMagick voor Win64-systemen:

<https://download.imagemagick.org/ImageMagick/download/binaries/ImageMagick-7.1.0-10-Q16-HDRI-x64-dll.exe>

[3] ImageMagick voor Win32-systemen:

<https://download.imagemagick.org/ImageMagick/download/binaries/ImageMagick-7.1.0-10-Q16-HDRI-x86-dll.exe>

[4] Afbeelding-databases, ImageProcessingPlace.com: [http://www.imageprocessingplace.com/root\\_files\\_V3/image\\_databases.htm](http://www.imageprocessingplace.com/root_files_V3/image_databases.htm)

# SOLARPUNK

een mooiere toekomst in het verschiet

**Priscilla Haring-Kuipers (Nederland)**

Er bestaat een sociaal rechtvaardige en gelukkige groene toekomst die technologie omarmt. Een fantasie waar je zonder schuldgevoelens met alle macht naar kunt streven.

Soms lijkt alles grijs en somber, vooral bij het ontwerp en de productie van hardware. Veel van de fantastische oplossingen die we ontwikkelen, zijn gemaakt van onethische materialen en worden gebruikt om een systeem in stand te houden dat geen betekenis heeft en ons leven zelf bedreigt. Het lijkt alsof we er niets aan kunnen doen om dit te veranderen. In deze moeilijke tijden is het belangrijk om ons de toekomst voor te stellen die we eigenlijk willen hebben. We kunnen echt een geïnspireerde toekomst gebruiken waarin je soldeerbout een instrument voor het goede kan zijn.

## Pluche punk

Solarpunk [1] is een science-fiction genre dat zich niet afspeelt in de nasleep van een apocalyps. In plaats daarvan geeft het vorm aan hoe we zouden kunnen leven nadat we de huidige eco-sociale crisis hebben opgelost, nadat we een gelijkwaardige samenleving hebben opgebouwd waarin we allemaal kunnen gedijen, nadat we hebben geleerd comfortabel in harmonie met de natuur te leven, en nadat we hernieuwbare energie overal zo hebben verspreid dat ze alomtegenwoordig is. Het is een glorieuze fictie die soms in een verleidelijk nabije toekomst ligt. Vol zonnepanelen en hoogst biologisch. Een technologisch haalbare utopie. Op dit moment is Solarpunk nog maar een klein sci-fi subgenre, maar de belangstelling en de inhoud nemen toe.

In deze denkbeeldige toekomst wordt technologie niet geschuwd, maar overheerst ook niet. Technologie ondersteunt een zinvol leven als onderdeel van een biologisch-dynamische ecologie. Zowel high-

als low-tech oplossingen worden toegepast waar zij een egalitair en duurzaam leven mogelijk maken.



P. Haring-Kuipers maakte deze figuur met OpenAI DALL-E 2.

Zoals alle punk, gaat solarpunk in tegen de huidige heersende filosofie en vereist het een volledige systeemverandering. Het laat zorg de leidraad zijn in plaats van hebzucht. Solarpunk ziet de mens als deel van de natuurlijke ecologie, en niet los ervan zoals onze huidige geïndustrialiseerde maatschappij doet. Er ligt een grote nadruk op het eigenhandig doen volgens biologisch-dynamische permacultuur en regeneratieve principes, om je omgeving te verzorgen en je eigen voedsel te verbouwen. Zorg voor elkaar, zorg voor jezelf en zorg voor de omgeving zijn allemaal met elkaar verweven. Solarpunk heeft technologie in haar hart als een manier om dit gelijkwaardige, zorg-gedreven, niet-vervuilende zinvolle leven te ondersteunen. Het richt zich op hyperlokale, kleine, zelfbesturende netwerken terwijl we ook het beste maken van verbonden wereldburgers. Zonder de kapitalistische drang naar het grootste economische voordeel, maar met de eco-socialistische spreiding van middelen en voordeel voor iedereen. Het leven zou misschien een iets langzamer tempo hebben, maar er zou onderweg veel meer te genieten zijn.



## Zonnige toekomst

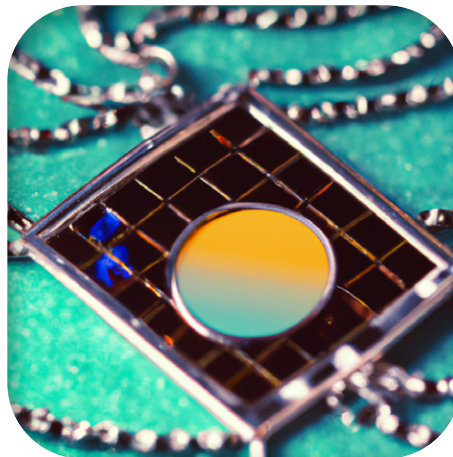
Misschien heb je al een voorproefje gehad van een solarpunk-maatschappij in *Star Trek* of heb je de solarpunk-esthetiek gezien in *Wakanda* of in Ghibli's *Nausicaä of the Valley of the Wind*. De snelste duik in hoe een solarpunk-toekomst eruit zou kunnen zien is Chobani's 30-seconden commercial "Eat today, feed tomorrow." De esthetiek van solarpunk doet denken aan de decoratieve tendensen en het wervelende karakter van de art nouveau. Net als deze kunststroming uit de jaren 1900 past zij kunst en vakmanschap overal in de omgeving toe om te 'verheffen en te inspireren'. Kunst is voor de massa en vakmanschap is voor iedereen. Geleid door natuurlijke vormen en zelfs bio-mimicry, vaak gebruikmakend van dynamische lijnen om een gevoel van beweging te geven en elke ruimte en elk voorwerp te gebruiken als een kans om schoonheid uit te drukken. Overall groeien bomen en planten. Fruitbomen omzomen de rivieren en zonnepanelen of diverse windvangers vullen de architectuur in. Heldere natuurlijke kleuren met veel blauw en groen en veel licht. Het ziet eruit als een gelukkige wereldk.

Er zijn nu al veel dingen die we als solarpunk kunnen beschouwen (althans voor een deel). Festo's verbazingwekkende biomimicry-robotica, maar ook elektrische voertuigen die je oplaadt met je eigen zonnepanelen. Een volledig zelfvoorzienende zeilboot met zonnepanelen en een elektrische motor is ook behoorlijk solarpunk, net als de earthship-huizen op passieve zonne-energie in New Mexico. Soms kan het wel wat esthetische verfraaiing gebruiken en misschien een lichtgevende algentank hier of een microbrouwerij daar om het heden echt de toekomst in te duwen, maar we zijn er dichtbij. Heel dichtbij.

## Aan de slag

Solarpunks hyperlokale en DHZ-instelling zou leiden tot groeiende coöperaties en allerhande gedeelde maker-spaces. In de gereedschapskist van de solarpunk zou je een gemeenschappelijke zaadbank en een gids voor hakselen kunnen vinden, maar ook een bioplastische 3D-printer en een soldeerbout. Welke technologische ondersteuning zou een mini-grid van vijf huizen nodig hebben die duurzame energiebronnen delen? Of hoe zou je eenvoudige bodemsensoren kunnen bouwen? Hoe zou je hydroponica in de buurt kunnen verbeteren? Wat zou je kunnen bouwen als hernieuwbare energie alomtegenwoordig is en fossiele brandstoffen op zijn? Zonder grote dominante hardwarebedrijven die hun ontwerpen om economische redenen op slot doen, zou alle elektronica meer open zijn om mee te spelen. Stel je voor dat de

meeste mensen hardware kunnen en zullen aanpassen aan hun specifieke behoeften. Wat zou jij maken, en kun je daar nu al mee beginnen? Besteed wat tijd aan deze toekomstfantasie en bedenk hoe je dit zou kunnen ondersteunen.



P. Haring-Kuipers maakte deze figuur met OpenAI DALL-E 2.

Hoe worden wij geïnspireerd door solarpunk? Voor ons volgende grote synthesizerproject hebben we een kleine fabrieksvloer nodig. Waarschijnlijk over een jaar of twee. We zijn van plan dit te 'solarpunken' door te proberen het volledig op hernieuwbare energie te laten draaien, onethische materialen te vermijden, een eerlijke en ondersteunende werkomgeving te bieden en ons eigen voedsel te verbouwen. Misschien lukt het ons niet om dit voor 100% te doen, maar we zullen het proberen. We willen onze kleine fabriek behandelen als een kleine gemeenschap en zijn van plan om onze ruimte en middelen te delen met andere synth-makers. We willen de tijd nemen om de schoonheid in al onze objecten en ruimtes te doen uitkomen. Met natuurlijke vormen, dynamische lijnen en heldere kleuren. ◀

220396-03

## WEBLINKS

- [1] Solarpunk, Wikipedia: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Solarpunk>
- [2] AI-systeem dat figuren kan creëren uit een beschrijving in natuurlijke taal: <https://openai.com/dall-e-2/>

## World Ethical Electronics Forum 2022

In november 2021 lanceerde Elektor het World Ethical Electronics Forum (WEEF) in München, Duitsland. Het evenement inspireerde innovators in elektronica wereldwijd met een open discussie over ethiek en duurzame ontwikkelingsdoelen (SDG's). Naast Elektor-engineers en -redacteurs bestond de lijst van sprekers en panelleden onder anderen uit dr. Stefan Heine-

mann (hoogleraar bedrijfsethiek aan de FOM Hogeschool), dr. Paula Palade (PhD, Jaguar Land Rover), Margot Coijmans (directeur, Philips Foundation) en diverse andere thought leaders, waaronder Priscilla Haring-Kuipers. Bezoek de WEEF-webpagina (<https://worldethicalelectronicsforum.com>) om op de hoogte te blijven en om betrokken te raken.



# De Elektor Store

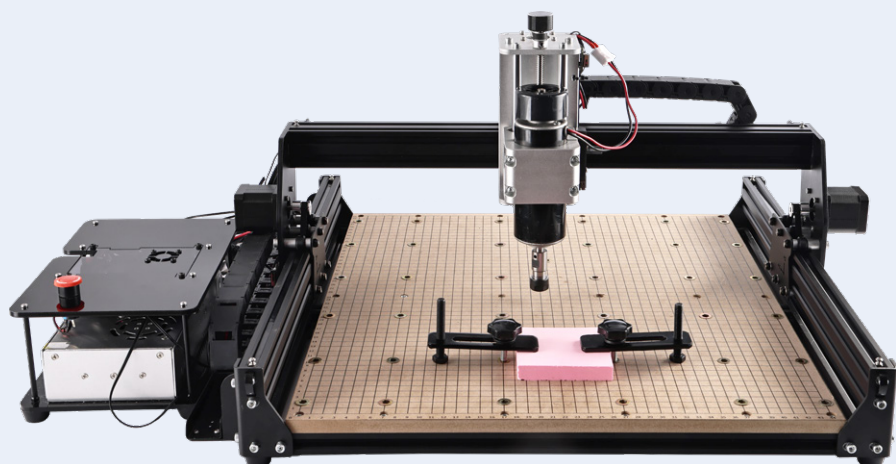
## Nooit duur, altijd verrassend!

De Elektor-store heeft zich ontwikkeld van de community-shop voor de eigen producten van Elektor (boeken, tijdschriften, kits en modules) tot een volwassen webshop die veel waardevolle elektronica-aanbiedingen heeft. We bieden hier

producten aan waar we zelf enthousiast over zijn of die we gewoon willen uitproberen. Suggesties zijn altijd welkom ([sale@elektor.nl](mailto:sale@elektor.nl)).

Ons motto: **nooit duur, altijd verrassend!**

## Anet 4540 Desktop CNC Machine



Prijs: € 899,00

**Ledenprijs: € 809,10**

[www.elektor.nl/20260](http://www.elektor.nl/20260)

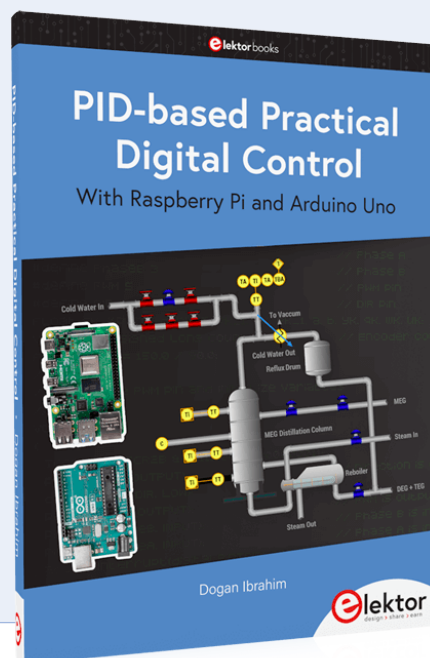
## PID-based Practical Digital Control with Raspberry Pi and Arduino Uno

Derde druk - verzeker u vandaag nog van uw exemplaar!

Prijs: € 34,95

**Ledenprijs: € 31,46**

[www.elektor.nl/20274](http://www.elektor.nl/20274)





## Elektor Spiekkaart – Electrical Engineering Reference Cards

-14%

€ 29,95  
in plaats van  
€ 34,95



[www.elektor.nl/20080](http://www.elektor.nl/20080)

## MakePython ESP32 Development Kit



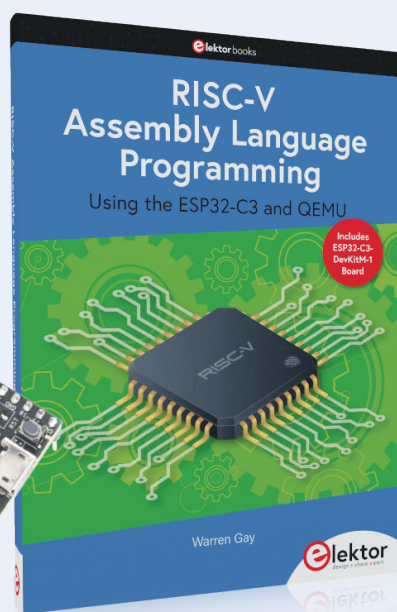
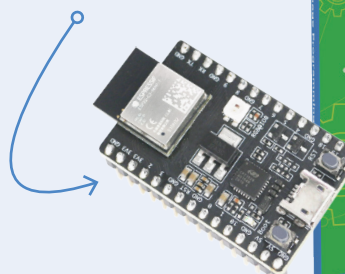
-19%

€ 64,95  
was € 79,95

[www.elektor.nl/20137](http://www.elektor.nl/20137)

## RISC-V Assembly Language Programming

Inclusief  
ESP32-C3-DEVKITM-1  
ontwikkelboard



Prijs: € 37,95  
**Ledenprijs: € 34,16**

[www.elektor.nl/20296](http://www.elektor.nl/20296)

## Elektor Dual DC LISN 150 kHz – 200 MHz (pre-order)



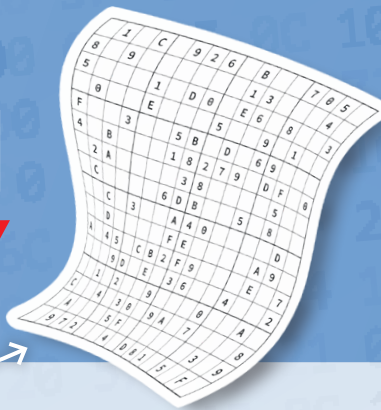
Prijs: € 129,95  
**Ledenprijs: € 116,96**

[www.elektor.nl/19869](http://www.elektor.nl/19869)



# 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 dikkere 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 **15 december 2022** naar:

[hexadoku@elektor.nl](mailto:hexadoku@elektor.nl)

## DE PRIJSWINNAARS

De juiste oplossing van de Hexadoku uit het september/oktober-nummer 2022 is: **60E5A**.

Oplossingen die ons vóór 17 oktober 2022 hebben bereikt, deden mee aan de trekking van vijf Elektor-waardebonnen.

De winnaars zijn bekendgemaakt op [www.elektormagazine.com/hexadoku](http://www.elektormagazine.com/hexadoku).

Allemaal van harte gefeliciteerd!

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7 | B |   | C |   |   | 6 |   |   | 4 |   |   | F |   | 9 | 3 |
| 9 |   | E |   |   | 0 | 3 |   |   | F | 6 |   |   | 7 |   | C |
|   | 0 |   | 3 |   | B |   | 7 | 9 |   | D |   | 5 |   | 1 |   |
| A |   | 4 |   | 9 |   |   |   |   |   |   | 3 |   | 8 |   | E |
|   |   |   | 8 | A | 6 | B |   |   | D | E | 0 | 3 |   |   |   |
|   | 1 | F |   | C | 3 |   | E | 2 |   | 4 | 7 |   | 9 | 5 |   |
| C | 2 |   |   | 5 |   |   |   |   |   |   | F |   |   | A | 0 |
|   |   | 5 |   |   | F |   |   |   |   | A |   |   | B |   |   |
|   |   | B |   |   | 4 |   |   |   |   | 0 |   |   | E |   |   |
| 2 | A |   |   | 6 |   |   |   |   |   |   | 4 |   |   | C | 1 |
|   | C | 0 |   | F | 9 |   | 3 | 6 |   | 8 | 5 |   | D | 2 |   |
|   |   |   | 4 | E | 2 | 1 |   |   | A | B | D | 7 |   |   |   |
| 5 |   | 1 |   | 8 |   |   |   |   |   |   | A |   | 3 |   | 4 |
|   | E |   | B |   | D |   | C | 4 |   | F |   | 6 |   | 7 |   |
| 8 |   | C |   |   | 5 | 7 |   |   | E | 1 |   |   | A |   | F |
| 3 | F |   | 7 |   |   | 4 |   |   | 5 |   |   | 8 |   | E | D |

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7 | 3 | C | 0 | F | 8 | A | 1 | E | 9 | D | 2 | 6 | B | 5 | 4 |
| B | D | 1 | 5 | 2 | C | E | 0 | 6 | 4 | F | A | 3 | 7 | 8 | 9 |
| E | 8 | F | 4 | 9 | 3 | B | 6 | 1 | 7 | 5 | 0 | A | C | D | 2 |
| 2 | 6 | 9 | A | 7 | 4 | 5 | D | B | C | 3 | 8 | F | E | 0 | 1 |
| C | E | 7 | 6 | 8 | F | 2 | 9 | A | 0 | 4 | 5 | D | 1 | 3 | B |
| 4 | 1 | 3 | 8 | 0 | B | 6 | 5 | D | E | 7 | 9 | 2 | A | F | C |
| F | 9 | 5 | D | 3 | 7 | C | A | 8 | 1 | 2 | B | 4 | 0 | 6 | E |
| A | 0 | 2 | B | E | D | 1 | 4 | F | 3 | C | 6 | 7 | 5 | 9 | 8 |
| 0 | 2 | 4 | 1 | A | E | 7 | 8 | 9 | F | 6 | D | C | 3 | B | 5 |
| 3 | B | 6 | 7 | 5 | 1 | 9 | F | 0 | 2 | 8 | C | E | 4 | A | D |
| 5 | A | E | 9 | 4 | 0 | D | C | 3 | B | 1 | 7 | 8 | 6 | 2 | F |
| 8 | C | D | F | 6 | 2 | 3 | B | 4 | 5 | A | E | 0 | 9 | 1 | 7 |
| 9 | 4 | A | C | B | 5 | F | 7 | 2 | 8 | 0 | 3 | 1 | D | E | 6 |
| D | 7 | 8 | 2 | C | 6 | 0 | E | 5 | A | B | 1 | 9 | F | 4 | 3 |
| 6 | F | B | E | 1 | A | 8 | 3 | C | D | 9 | 4 | 5 | 2 | 7 | 0 |
| 1 | 5 | 0 | 3 | D | 9 | 4 | 2 | 7 | 6 | E | F | B | 8 | C | A |

Medewerkers van Elektor International Media en hun familieleden zijn van deelname uitgesloten.

# Word lid van de Elektor Community



Neem **nu** een  
lidmaatschap!



- ✓ Een compleet web-archief t/m 1980!
- ✓ 8x Elektor Magazine (Print)
- ✓ 8x digitaal (PDF)
- ✓ 10% korting in onze webshop, en exclusieve aanbiedingen
- ✓ Toegang tot meer dan 5000 Gerberfiles



Ook verkrijgbaar

Het digitale  
lidmaatschap!



- ✓ Toegang tot ons web-archief
- ✓ 10% korting in onze webshop
- ✓ 8x Elektor Magazine (PDF)
- ✓ Toegang tot meer dan 5000 Gerberfiles



[www.elektormagazine.nl/Abonnement](http://www.elektormagazine.nl/Abonnement)

# Grootste keuze aan elektronische componenten™

Op voorraad en klaar om te verzenden

---



[nl.mouser.com](https://nl.mouser.com)



**MOUSER**  
ELECTRONICS