

Balkon PV-centrales

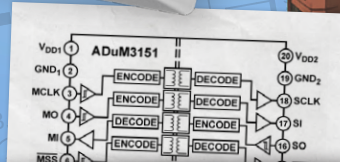
Optimalisatie,
interessante feiten
en berekeningen

FOCUS ON

Power & Energy

ESP32 met OpenDTU
gegevens van
kleine omvormers
lezen

ESP32-
gebaseerde
energiemeter
het schema



Regelbare lineaire labvoeding
modernisering van een klassiek
ontwerp

p. 26



Coderen met ChatGPT
kunstmatig intelligente levitatie

p. 60



Bluetooth LE op de STM32
meetwaarden op afstand uitlezen

p. 38



ONS ASSORTIMENT VAN TECHNICI VOOR TECHNICI



The best part of your project: www.reichelt.com

Voor u alleen het beste - van meer dan 1500 merkfabrikanten

Onze productmanagers zijn al vele jaren bij reichelt actief en kennen de eisen van onze klanten. Zij stellen een breed scala aan kwaliteitsproducten samen, optimaal afgestemd op de behoefte bij onderzoek en ontwikkeling, onderhoud, IT-infrastructuur, kleine serieproducties en makers.

NIEUW - Raspberry Pi 5 B met 4 of 8 GB

Met 2-3 keer de snelheid van de vorige generatie is de Raspberry Pi-ervaring opnieuw gedefinieerd.

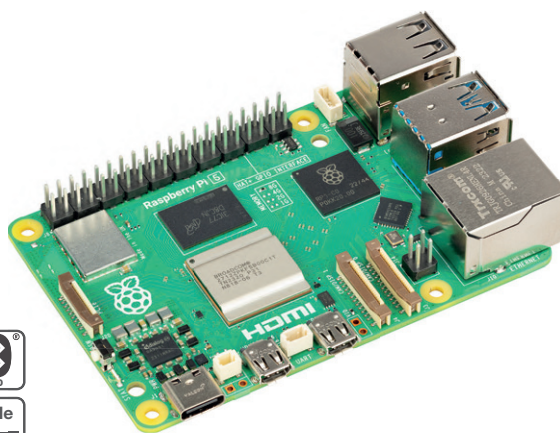
- 2,4 GHz ARM Cortex-A76 Quad-Core-CPU
- VideoCore VII GPU

van **69,⁶⁵**

NIEUW

Bestelnr.: (Uitvoering)

RASP PI 5 B 4GB	69,65	4 GB
RASP PI 5 B 8GB	94,05	8 GB



Behuizing voor Raspberry Pi 5

framboos/wit

Deze elegante, zeer robuuste behuizing van Raspberry Pi is niet alleen stijlvol, maar ook van hoge kwaliteit en zeer snel en eenvoudig te monteren.

- Afmetingen (LxBxH):
89 x 71 x 26 mm



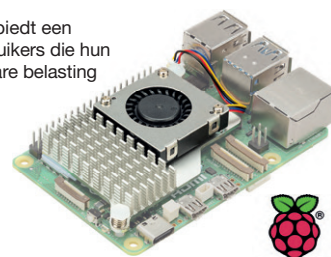
Bestelnr.:
RASP 5 CASE RW 10,88

Raspberry Pi fan

voor Raspberry Pi 5

De Active Cooler van Raspberry Pi biedt een alternatieve koeloplossing voor gebruikers die hun Raspberry Pi 5 onder langdurige zware belasting willen gebruiken zonder behuizing.

- Voeding: ingebouwd
- Ventilatorsnelheid: variabel
- Solderen is niet nodig, gewoon aansluiten!



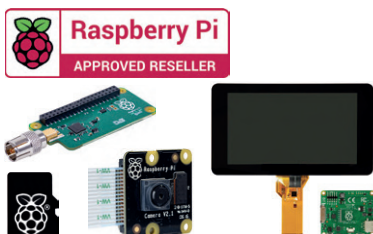
Bestelnr.:
RASP ACTIVE COOL 5,90

Levering zonder Raspberry Pi 5

RASPBERRY PI MET REICHELT

Ontdek onze uitgebreide collectie accessoires

Ontdek nu ►
www.reichelt.com/raspberry-pi



RASPBERRY PI, ARDUINO & CO. ONTWIKKELBOARDS VOOR INDUSTRIE EN BEDRIJF

Ontdek nu ►
<https://rch.it/nl-boards>



Betaalwijzen:



DAGPRIJZEN! Prijzenstand: 12. 12. 2023

■ Geweldige prijs-kwaliteitverhouding

■ Meer dan 130.000 geselecteerde producten

■ Betrouwbare levering - vanuit Duitsland over de hele wereld

www.reichelt.com

Bestelservice: +31 85 208 62 94

reichelt
elektronik - The best part of your project

De wettelijke herroepingsregelingen zijn van toepassing. Alle aangegeven prijzen in euro inclusief de wettelijke BTW, excl. verzendkosten voor de totale winkelwagen. Uitsluitend onze Algemene Voorwaarden (zie hiervoor <https://rch.it/AV-NL> of op aanvraag) zijn van toepassing. Afbeeldingen kunnen afwijken. Drukfouten, vergissingen en prijswijzigingen voorbehouden.
reichelt elektronik GmbH, Elektronikring 1, D-26452 Sande, Tel.: +31 85 208 62 94

64^e jaargang nr. 685
januari/februari 2024
ISSN 2590-0765

Elektor verschijnt acht keer per jaar en is een uitgave van

Elektor International Media B.V.

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

www.elektor.nl | www.elektormagazine.nl

Voor al uw vragen: service@elektor.nl

Lid worden: www.elektormagazine.nl/abo

Advertenties

Raoul Morreau

Tel. +31 (0)6 4403 9907

raoul.morreau@elektor.com

www.elektormagazine.nl/adverteren

Omslagillustratie

Midjourney, bewerkt door Harmen Heida

Auteursrecht

© Elektor International Media B.V. - 2024

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.

Druk

Senefelder Misset, Mercuriusstraat 35,
7006 RK Doetinchem (Nederland)

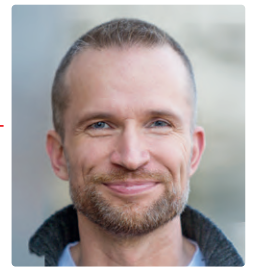
Distributie

Betapress, Nederland – AMP, België



Jens Nickel

Hoofdredacteur Elektor Magazine



Balkoncentrale 2.0



Toen onze auteur Thomas Scherer ons tweeënhalft jaar geleden een artikel stuurde over "Zonnepanelen op je balkon" (www.elektormagazine.com/210326-03), hadden we geen idee hoeveel weerklank het onderwerp zou hebben bij onze lezers. Er was immers geen schema of softwarelijst te zien in het artikel! Maar blijkbaar spraken het plannen en berekenen van een PV-systeem, het monteren van zonnepanelen en het aanleggen van stroomkabels de aangeboren maker-instincten van lezers aan. En er was ook veel geldelijk voordeel te behalen: dankzij modules en omvormers als massaproducten uit het Verre Oosten en een forse elektriciteitsprijs voor de gemiddelde consument, betalen PV-systemen zichzelf nu ook terug voor eigen gebruik – en dat binnen een paar jaar. Toen ik zo'n 20 jaar geleden bij een tijdschrift werkte dat zich op fotovoltaïsche energie richtte, was de situatie heel anders. Toen waren er nog veel CEO's en experts van fabrikanten die ik in mijn moedertaal Duits kon interviewen. Dat ze sindsdien op zoek zijn gegaan naar ander werk is een ander verhaal.

Veel elektronica-engineers zijn tevreden met half-gebruiksklare PV-centrales tegen een lage prijs. En daaromheen is er nog ruimte genoeg voor eigen elektronica-projecten (zie bijvoorbeeld op pagina 18). Op pagina 6 doet Elektor-engineer Saad Imtiaz verslag van de voortgang van zijn ESP32-gebaseerde energiemeter. Er is ook een eerste volledig schema te zien, en als ik mijn lezers ken, zullen er al een paar vingers kriebelen om de soldeerbout te pakken.

Wie bijzonder geïnteresseerd is in de onderwerpen zonne-energie, vermogenslektronica, energiemeting, voeding en accu's hoeft niet te wachten op het volgende nummer met deze aandachtspunten. Op www.elektormagazine.com/energy vind je het hele jaar door nieuws, interviews en online-artikelen over dit onderwerp. Ik zou het fijn vinden als je deze en andere themapagina's die nog in de maak zijn, regelmatig bezoekt. Kritische feedback, tips over nieuws en projecten zijn altijd welkom!



Deel met Elektor!

Je elektronica-expertise is welkom! Heb je een voorstel voor een artikel of een elektronica-tutorial op video, of een idee voor een boek? Bekijk onze gids voor auteurs en inzendingen op

www.elektormagazine.com/submissions



Elektor Labs: ideeën & projecten

Het Elektor Labs-platform is voor iedereen toegankelijk. Post elektronica-ideeën en -projecten, bespreek technische uitdagingen en werk samen met anderen op

www.elektormagazine.com/labs

Ons team

Internationaal hoofdredacteur: Jens Nickel | **Content Director:** C.J. Abate | **Internationale redactie:** Asma Adhimi, Roberto Armani, Eric Bogers, Jan Buiting, Stuart Cording, Rolf Gerstendorf (RG), Ton Giesberts, Hedwig Hennekens, Saad Imtiaz, Alina Neacsu, Dr. Thomas Scherer, Jean-Francois Simon, Clemens Valens, Brian Tristram Williams | **Vaste medewerkers:** David Ashton, Tam Hanna, Ilse Joostens, prof. dr. Martin Ossmann, Alfred Rosenkränzer | **Vormgeving & Layout:** Harmen Heida, Sylvia Sopamena, Patrick Wielders | **Directeur:** Erik Jansen | **Technische vragen:** redactie@elektor.com

Balkon PV-centrales

Optimalisatie, interessante feiten en berekeningen

10



Rubrieken

- 3 Voorwoord**
- 35 2024: een AI-odyssee**
het houdt nog lang niet op
- 74 Vreemde onderdelen**
koude-kathode-buizen
- 76 Uit het leven gegrepen**
nostalgie
- 78 Alle begin...**
...bekijkt de FET
- 106 Oost West Lab Best**
nog niet zo lang geleden, in een land heel ver van hier...
- 108 Ethiek in elektronica**
 - vraaggesprek met Diris Wagner, Messe München
 - de OECD Guidelines en het Lieferkettensorgfaltspflichten-gesetz
- 120 Project 2.0**
correcties, updates en brieven van lezers

Achtergrond en info

- 10 Optimalisatie van balkon PV-centrales**
overwegingen, interessante feiten en berekeningen
- 32 Energie-opslag – vandaag en morgen**
een vraaggesprek met Simon Engelke
- 38 Bluetooth LE op de STM32**
meetwaarden op afstand uitlezen
- 50 MAUI: programmeren voor PC, tablet en smartphone**
het nieuwe framework in theorie en praktijk
- 97 USB testen en meten**
met de FNIRSI FNB58
- 102 De Pixel Pump pick&place-tool**
eenvoudiger handmatige assemblage van SMT-printen

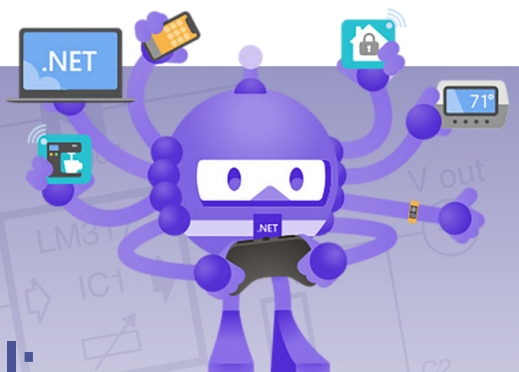
Industry

- 86 Elektor infographic: voeding en energie**
- 88 Grote matrixprinter**
- 90 Vergelijking van vermogensdichtheid en vermogensefficiëntie**
- 94 Aluminium elektrolytische condensatoren**
storingspotentieel in audiotechnologie



**ESP32-gebaseerde
energiemeter**
het schema

6



MAUI:
programmeren voor PC,
tablet en smartphone
het nieuwe framework in
theorie en praktijk

50

Eenvoudige PV-regelaar

bouw je eerste, volledig
functionele PV-energiebeheer-
systeem



68

Projecten

- 6 Project-update: de ESP32-gebaseerde energiemeter**
we gaan verder met het prototype
- 18 ESP32 met OpenDTU voor balkoncentrales**
gegevens van kleine omvormers via MCU's uitlezen
- 26 Regelbare lineaire labvoeding**
0...50 V / 0...2 A + dubbele symmetrische voeding
- 46 Mensvriendelijk slim keuken-voorraadsysteem**
- 60 ChatMagLev**
kunstmatig intelligente levitatie
- 68 Eenvoudige PV-regelaar**
bouw je eerste, volledig functionele PV-energiebeheersysteem
- 81 CAN-bus voor de Arduino UNO R4: een tutorial**
twee UNO R4's nemen de bus!
- 114 Chadèche: slimme NiMH-(ont)lader**
ezersproject in het kort



Regelbare lineaire labvoeding

0...50 V / 0...2 A + dubbele
symmetrische voeding

26

Binnenkort

Elektor maart/april 2024

Zoals gebruikelijk hebben we weer een opwindende mix samengesteld van projecten, schakelingen, principes en tips en trucs van en voor engineers en makers. De focus ligt daarbij op embedded technologie en AI.

Een greep uit de inhoud:

- > Objecten detecteren met een Raspberry Pi
- > ESP32-RS232 adapter
- > Vorstbewaking en temperatuur-datalogger
- > Aan de slag met het Zephyr OS
- > Machine learning met de Jetson Nano
- > Parallel programmeren op microcontrollers
- > BLE programmeren op smartphones
- > Goedkope FPGA's: tutorial voor beginners
- > Voorwerpen tellen met Edge Impulse

...en nog veel meer!

Aankondigingen onder voorbehoud.

Elektor maart/april 2024 verschijnt omstreeks 13 maart 2024.





Figuur 1. De Elektor-energiemeter kan er zo uit zien.

Project-update: ESP32- gebaseerde energiemeter

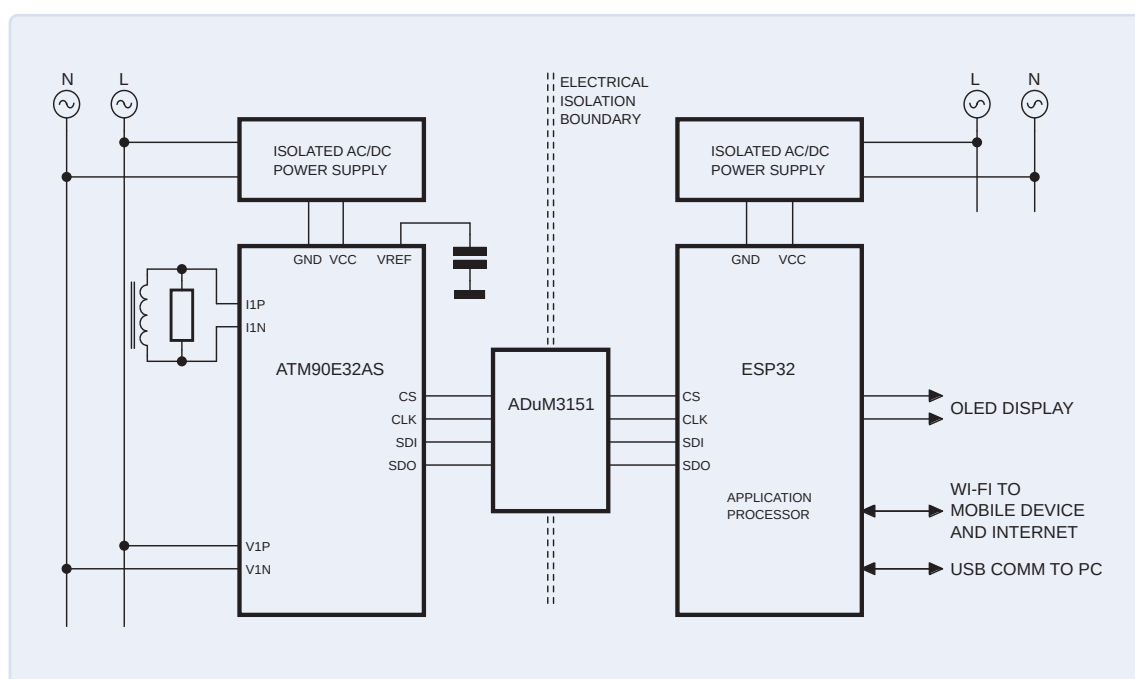
we gaan verder met het prototype

Saad Intiaz (Elektor)

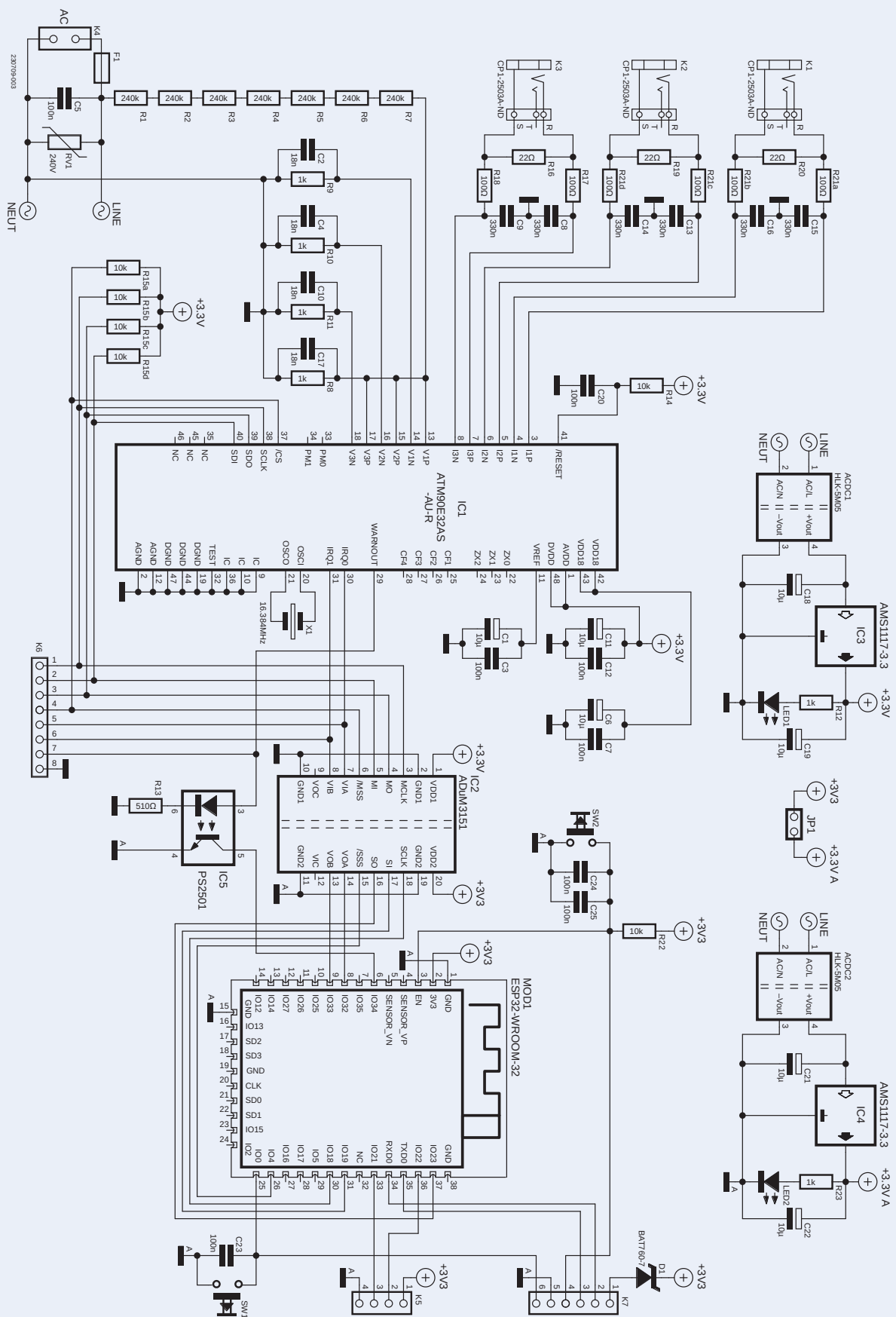
In de eerste aflevering van deze serie hebben we het basisonwerp van de Elektor-energiemeter onderzocht. In deze aflevering kijken we naar de volgende fase in het energiemeterproject met de ESP32, waarbij we ons richten op gedetailleerde schema's, isolatiestrategieën en belangrijke verbeteringen.

We zijn begonnen met de ontwikkeling van een betrouwbare, gebruiksvriendelijke energiemeter met behulp van de ESP32-microcontroller. In onze vorige aflevering, "Prototype van een ESP32-gebaseerde energiemeter" [1], bespraken we de uitgangspunten voor het ontwerp, het blokschema en het plan om dit project te starten. Voordat we een update geven, even een samenvatting. Het conceptuele ontwerp van de energiemeter wordt getoond in de rendering in **figuur 1**.

Onze focus lag op real-time energiemonitoring, met de nadruk op veiligheid en betaalbaarheid. Om de energiemeting nauwkeurig te maken, kozen we voor de Atmel ATM90E32AS, een meerfasig energiemonitoring-IC [2]. Dit IC krijgt de enkelfasige spanning van het lichtnet en gebruikt CT-transformatoren met deelbare kern om de stroom veilig te meten. Als belangrijkste microcontroller werd de ESP32 gekozen, omdat deze ingebouwde WiFi heeft en zeer voordelig is in vergelijking met



Figuur 2. Blokschema van de Elektor-energiemeter.



Figuur 3. Schema van het project.



Figuur 4. De YHDC SCT013 (bron: YHDC).

andere MCU's. In **figuur 2** wordt het bijgewerkte blok van het project getoond. De geplande grootte van de uiteindelijke energiemeter is 100×80×30 mm (L×B×H), maar voor het prototype meet onze print 100×100 mm. Het doel van dit prototype is een proof-of-concept en als we daarin succesvol zijn, schalen we de afmetingen terug naar 100×80 mm of zelfs minder voor de uiteindelijke versie. Het belangrijkste doel van het maken van deze energiemeter was de ontwikkeling van een betaalbaar apparaat met IoT-ondersteuning dat nauwkeurige energiemetingen kan doen en de gebruiker via een mobiel apparaat realtime-energiegegevens kan leveren, zodat de gebruiker zijn energieverbruik in realtime kan volgen en energiezuiniger kan worden. In dit artikel gaan we dieper in op de ontwikkeling van het project, met aandacht voor het schema-ontwerp, de implementatie van de isolatie van de schakeling en de belangrijkste verbeteringen die we hebben aangebracht sinds ons eerste concept.

Ontwerp van het schema

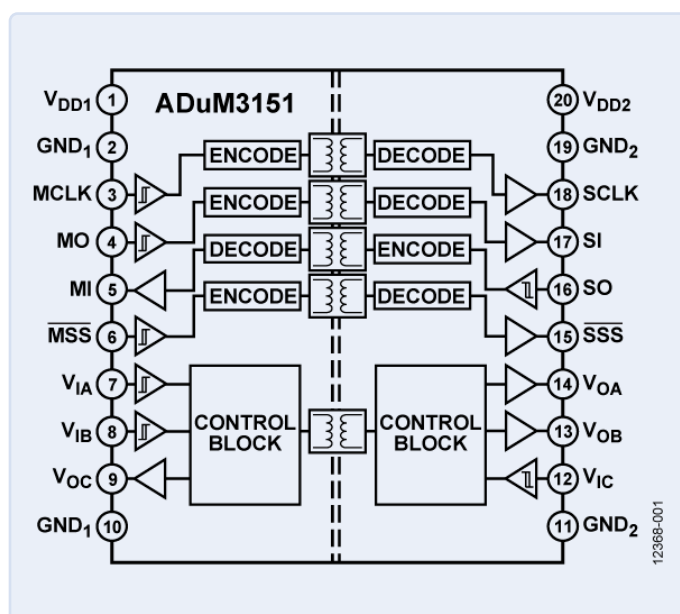
Het hart van ons project is het ontwerp van het schema. De ESP32-microcontroller blijft centraal staan in onze architectuur en sluit naadloos aan op de ATM90E32AS voor de energiemeting. Ons bijgewerkte schema weerspiegelt een meer gestroomlijnde aanpak, waarbij ruis wordt verminderd en signaalintegriteit, isolatie en meer worden verbeterd. In **figuur 3** zie je het volledige schema van het project. IC1 is de ATM90E32AS – het brein van dit hele project. Deze koppelt de netspanning via zeven 240kΩ-weerstanden (R1...R7) naar de pinnen VIP, V2P en V3P. Om het eenvoudig te houden, krijgen al deze pinnen een enkelfasige spanning van het lichtnet. Je kunt je afvragen waarom we geen transformator gebruiken in plaats van deze reeks weerstanden? Omdat we door de gekozen aanpak beperkingen hebben wat betreft afmetingen en kosten. Afgezien van het kleine formaat van de gebruikte weerstanden is er nog een voordeel, namelijk minder fasevertraging. Transformatoren kunnen een fasevertraging introduceren tussen de primaire en secundaire wikkelingen, wat invloed kan hebben op de timing en nauwkeurigheid van spanningsmetingen bij het meten van energie. Bij gebruik van weerstanden wordt deze fasevertraging aanzienlijk verminderd, wat mogelijk leidt tot nauwkeurigere realtime-spanningsmetingen. Maar het gebruik van deze serie-weerstanden heeft een groot nadeel, namelijk het ontbreken van galvanische scheiding. We zullen het hier later in het artikel over hebben. Nu gaan we over naar de stroommeting. Daarvoor gebruiken we

stroomtransformatoren (CT's). Connectoren K1...K3 zijn audio jack-connectoren waarop de SCT013 van YHDC wordt aangesloten, een CT met een deelbare kern, zie **figuur 4**. De reden om voor een CT te kiezen is dat deze voordelig en gebruiksvriendelijk is en geen verbindingen hoeven te worden onderbroken.

De energiemeter wordt gevoed door twee Hi-Link HLK-5M05 modules ACDC1/2, voor een galvanische scheiding tussen de MCU en de schakeling van de energiemeter, als bescherming tegen het risico van hoogspanning. De AMS1117-3.3 spanningsregelaars leveren voor de voeding een stabiele 3,3 V, essentieel voor de ESP32 en andere laagspanningsonderdelen. De veiligheid wordt verder verhoogd door de zekering F1 voor overstroombeveiliging en een metaaloxide-varistor (MOV) (R23) tegen spanningspieken. Voor diagnosedoeleinden geven LED1 en LED2 de voedings- en bedrijfsstatus aan. Connector K6 is verbonden met alle uitgangen van de MCU voor het debuggen.

Isolatie van de schakeling

In het schema heb je misschien twee DC-massa's gezien, GND en GNDA. De massaklem (GND) is verbonden met IC1 en is ook verbonden met de nulleider van het lichtnet. GNDA is een geïsoleerde aardklem die is verbonden met de ESP32-WROOM-32D (MOD1). Voor de veiligheid is het noodzakelijk om de ESP32 te isoleren van de nulleider van het lichtnet. Omdat IC1 geen galvanische scheiding heeft, is het noodzakelijk om deze componenten van elkaar te isoleren. Nu rijst de vraag hoe de SPI tussen deze twee chips wordt gecommuniceerd. Hier komt IC2, een ADuM3151 van Analog Devices om de hoek kijken. De ADuM3151 is van cruciaal belang voor een veilige communicatie tussen IC1 en de ESP32-WROOM-32D en zorgt voor galvanische isolatie van de SPI-lijnen. In **figuur 5** zie je het functionele blokschema van IC2 [3]. Het maakt gebruik van inductieve koppelingen om digitale signalen door een isolatiebarrière te sturen, waardoor de op de computer



Figuur 5. Functioneel blokschema van de ADuM3151 SPI isolator (bron: Analog Devices [3]).

aangesloten ESP32 effectief wordt afgeschermd van de piekspanningen van het lichtnet. Deze opzet is cruciaal voor het voorkomen van schade tijdens het coderen en debuggen, terwijl de ondersteuning van meerdere geïsoleerde kanalen zorgt voor betrouwbare en veilige SPI-communicatie, waarbij de gegevensintegriteit behouden blijft en afgestemd wordt op de veiligheids- en prestatiedoelen van het project.

Gebruikersinterface en interactie

De gebruikersinterface van het ESP32-energiemeterproject is ontworpen om informatief en gebruiksvriendelijk te zijn. Een OLED-display, aangesloten op connector K5, aangesloten op de I²C-pinnen van de ESP32, doet dienst als primair display. Dit display toont alle relevante gegevens in real-time aan de gebruiker, inclusief energieverbruik en systeemstatus. De keuze voor OLED-technologie zorgt voor een duidelijke weergave en een snel reagerende interface.

Naast het hardware-display bevat het project een webserver die op de ESP32 wordt gehost. Deze webinterface bevat de gegevens die op het OLED-scherm worden weergegeven en biedt gebruikers een alternatieve manier om hun energieverbruik in de gaten te houden. De firmware is erop gericht om een web-UI en -UX te maken die zowel gebruiksvriendelijk als gedetailleerd is, zodat de gegevens toegankelijk en uitgebreid worden gepresenteerd. Dankzij deze dubbele interfaces kunnen gebruikers zowel ter plekke als op afstand communiceren met de energiemeter, wat de algehele bruikbaarheid van het systeem verbetert.

Volgende stappen en toekomstplannen

Naarmate het project vordert, is het eerste PCB-ontwerp opgestuurd voor productie. Na levering wordt de aandacht verlegd naar de firmware-rekant van het project. De ontwikkeling van de firmware omvat het programmeren van de ESP32 om nauwkeurig gegevens over energieverbruik te verwerken en weer te geven, de webserver te beheren en te zorgen voor een soepele communicatie tussen alle componenten. Voor de toekomst zijn er plannen om extra functies te integreren om de functionaliteit van de energiemeter te vergroten. Deze kunnen het volgende omvatten:

- monitoring op afstand: gebruikers kunnen via de webinterface vanaf elke locatie hun energieverbruik controleren;
- waarschuwingen en meldingen: implementatie van een systeem om gebruikers te waarschuwen over ongewone energieverbruikspatronen of potentiële systeemproblemen;
- tools voor gegevensanalyse: analysetools opnemen in de webinterface om gebruikers te helpen inzicht te krijgen in trends van hun energieverbruik en te bepalen waar verbeteringen in efficiëntie mogelijk zijn.

We streven ernaar om voortdurend te verbeteren en te innoveren, waarbij we ons richten op feedback van gebruikers om toekomstige verbeteringen door te voeren. Het doel is om niet alleen een betrouwbare tool voor energiemonitoring te bieden, maar ook om gebruikers inzicht te geven in hun energieverbruik, waardoor bewustwording en efficiëntie worden bevorderd. ◀

vertaling: Hans Adams — 230709-03

Vragen of opmerkingen?

Hebt u technische vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar de auteur via saad.imtiaz@elektor.com of naar de redactie van Elektor via redactie@elektor.com.



Over de auteur

Saad Imtiaz (Senior Engineer, Elektor) is een mechatronica-technicus met vijf jaar ervaring in embedded systemen, mechatronische systemen en productontwikkeling. Hij heeft met talloze bedrijven, variërend van startups tot wereldwijde ondernemingen, samengewerkt aan product-prototyping en -ontwikkeling. Saad heeft ook gewerkt in de luchtvaartindustrie en heeft een technologisch startup-bedrijf geleid. Sinds kort werkt hij bij Elektor en is hij verantwoordelijk voor projectontwikkeling op het gebied van software en hardware.



Gerelateerde producten

- **LILYGO T-Display-S3 ESP32-S3 Development Board**
www.elektor.nl/20299
- **ESP-C3-12F-Kit Development Board (4 MB Flash)**
www.elektor.nl/19855
- **Joy-IT NodeMCU ESP32**
www.elektor.nl/19973



WEBLINKS

- [1] Saad Imtiaz, "Prototype van een ESP32-gebaseerde energiemeter," Elektor Guest Edition 2023: <https://www.elektormagazine.nl/230646-03>
- [2] ATM90E32AS Meerfasig energiemeter-IC: <https://www.microchip.com/en-us/product/atm90e32as>
- [3] Analog Devices Inc. ADuM3151 SPI Isolator™ Digital Isolators: <https://eu.mouser.com/new/analog-devices/adi-adum3151-isolators>

Optimalisatie van balkon PV-centrales

overwegingen, interessante feiten en berekeningen

Dr. Thomas Scherer (Duitsland)

De hype rond zonnetechnologie in het algemeen en balkon PV-centrales in het bijzonder is onverminderd doorgegaan sinds het uitbreken van de oorlog in Oekraïne (en de daaruit voortvloeiende onzekerheid over de energievoorziening in Midden-Europa). Sinds ons laatste artikel in 2021 zijn het aanbod en de verkoop in deze sector enorm gegroeid en zijn de prijzen lager dan ooit. De achtergrondinformatie in dit artikel maakt het gemakkelijker om aan de slag te gaan!

Sinds 24 februari 2022 woedt er een oorlog die ook buiten Oekraïne heeft geleid tot tekorten en stijgende energieprijzen. De verminderde gasleveringen uit Rusland hebben vooral in Centraal-Europa duidelijk gemaakt dat milieubescherming niet gratis is. In Duitsland en Denemarken kostte een kilowattuur elektriciteit soms meer dan € 0,40, wat niet alleen een last was voor de energie-intensieve industrie, maar ook voor Jan Modaal.

Als reactie hierop schafte de Duitse regering alle BTW op zonne-energieproducten (inclusief installatiekosten voor zonne-energiesystemen) af vanaf 2023. Als gevolg hiervan nam het aantal grote en kleine zonne-energiesystemen, ook wel balkon PV-centrales genoemd, zeer sterk toe, wat leidde tot een scherpe daling van de prijzen. In 2023 was er geen enkel (technisch) tijdschrift of dagblad dat geen artikelen publiceerde over balkon PV-centrales. Elektor had in 2021 al een artikel gepubliceerd [1]; onlangs was er zelfs een hele speciale uitgave over het onderwerp [2]. De belangstelling en de behoefte aan informatie zijn dus duidelijk nog steeds groot.

Wat is een balkon PV-centrale?

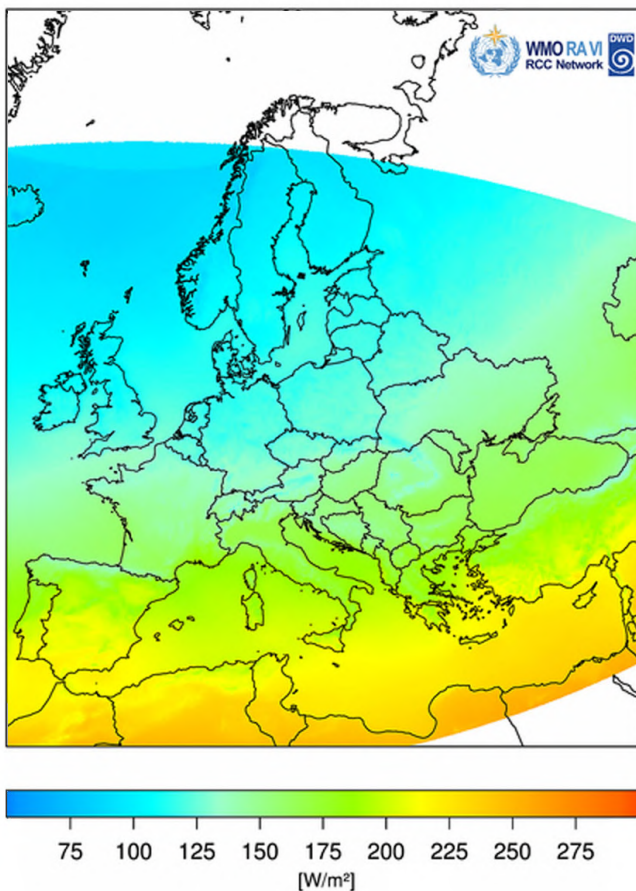
Het antwoord is heel eenvoudig: een balkon PV-centrale is een klein PV-systeem (PV = Photo Voltaic) voor het opwekken van elektrische energie. Zoals de naam al zegt, is hij zo klein dat je hem op een balkon kunt installeren als je dat wilt. Maar deze definitie is niet volledig.

Het belangrijkste punt is dat het een zonne-energiesysteem met een laag vermogen is. In de EU blijven systemen met een maximaal piekvermogen van 800 Wp onder een soort *de minimis*-grens. Je kunt zo'n systeem dus zonder veel administratieve rompslomp installeren, zolang je maar op een elektrisch veilige manier werkt. In Duitsland is het echter niet zo eenvoudig, omdat het vermogen beperkt is tot maximaal 600 W (vanaf eind 2023) en vanwege de federale structuur heeft elke deelstaat zijn eigen voorwaarden voor goedkeuring door de respectieve netbeheerders. De bureaucratische inspanningen zijn echter nog steeds veel minder dan voor 'echte' PV-systemen met meer dan 600 W vermogen. Bovendien wordt de bureaucratie binnenkort verder teruggedrongen en wordt de limiet van 600 W verhoogd naar de Europese limiet van 800 W. Het doel is ook belangrijk: een balkon PV-centrale is niet bedoeld om elektriciteit aan het openbare net te leveren en daarvoor een vergoeding te ontvangen. De verwachte inkomsten zouden niet economisch zinvol zijn gezien de corresponderende vergoedingen. Het is eerder de bedoeling dat een balkon PV-centrale net genoeg elektrische energie opwekt om het 'ruststroomverbruik' van een huis te dekken, dat bijvoorbeeld wordt veroorzaakt door de circulatiepomp van de verwarming, de koelkast, de internet-router en talloze plug-in stroomadapters. Alles wat daarboven wordt geproduceerd, wordt aan de netbeheerder geschonken om het kleine systeem eenvoudig en goedkoop te houden. Dit heeft gevolgen voor de dimensionering.

Technisch gesproken bestaat een balkon-energiecentrale uit een of meer zonnepanelen en een geschikte omvormer om de gelijkspanning om te zetten in een netconforme wisselspanning van 230 V voor aansluiting op het openbare elektriciteitsnet. Dit roept vragen op over het juiste ontwerp van het systeem, de rendabiliteit, de kwaliteit van de afzonderlijke componenten en andere gerelateerde factoren.

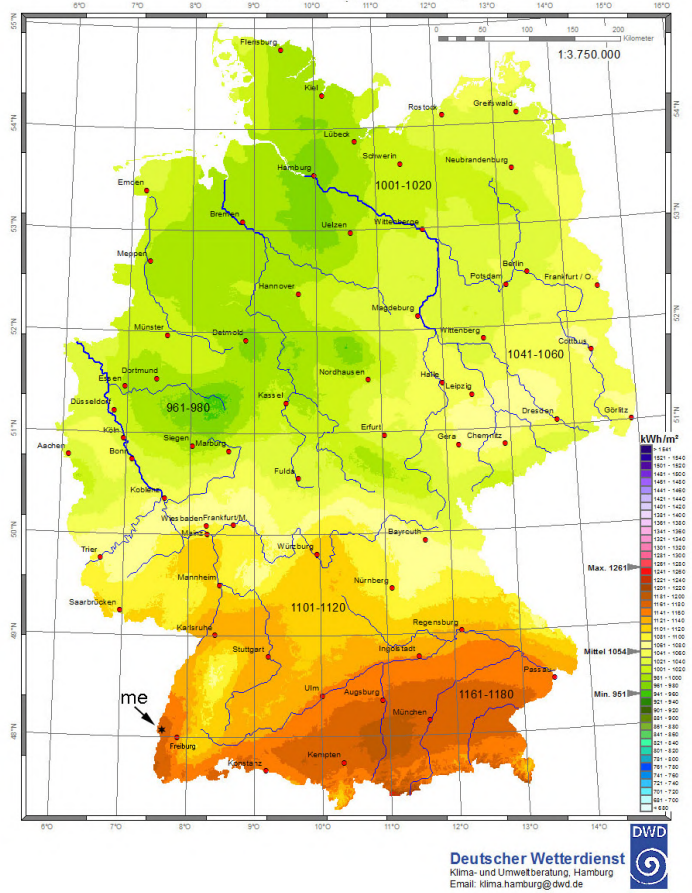
Global Radiation Europe

Reference Mean (1983 - 2005)



Global Radiation Germany

Based on satellite data and ground measurements of the DWD network
Mean of Years (1981 - 2010)



Figuur 1. Zonnestralkaarten van de Duitse weerdienst (DWD) (bron: [3]).

Economische efficiëntie

Naast de onbetwiste ecologische voordelen van zelf opgewekte elektrische energie, is het zeker belangrijk om te weten in hoeverre de aankoop en installatie van een balkon PV-centrale financieel haalbaar is. Er circuleren veel cijfers op internet die – als ze niet gewoon overdreven zijn – op zijn minst erg optimistisch zijn. Het is echter mogelijk om de verwachte opbrengst van een zonne-energiecentrale met redelijke nauwkeurigheid te schatten. Hieronder beschrijven we hoe dat gaat.

Ten eerste is de breedtegraad belangrijk omdat deze niet alleen de hoek bepaalt waaronder de zonnestrallen het aardoppervlak raken, maar ook de cumulatieve waarde van de zonne-energie die in de loop van een jaar op een bepaald oppervlak kan worden verwacht. Het eerste kan grotendeels worden gecompenseerd door de installatiehoek van de zonnepanelen aan te passen, maar de gevolgen van de locatie moeten gewoon worden geaccepteerd. De Duitse weerdienst biedt stralingskaarten [3], waaruit de gemiddelde zonne-energie per jaar (**figuur 1**) en nog veel meer informatie kan worden gehaald. Er zijn zelfs uitgebreide berekeningsprogramma's voor de zonneopbrengst te vinden op het internet. Kaarten en rekentools voor andere landen zijn ook online beschikbaar. Het maakt dus verschil of je de balkon PV-centrale aan de Noordzeekust of in Zuid-Duitsland opzet, of dat je in Scandinavië, Noord-Afrika of zelfs Mexico woont. Een vuistregel voor Duitsland zegt dat een gemiddelde van ongeveer 1 MWh/m² per jaar kan worden verwacht. Dit varieert van mijn huis

in het zuiden van Baden met ongeveer 1,2 MWh/m² tot ongeveer 900 kWh/m² tussen Flensburg en Kiel. Naast deze 'algemene' zonnestraling moet ook rekening worden gehouden met het plaatselijke klimaat. Het maakt nog een verschil of je op de helling van een berg of gebergte woont met de hoofdwindrichting mee (bovenwinds) of in de luwte ervan (benedenwinds). Bovenwinds regent het meer en zwaarder, wat betekent dat er meer wolken te verwachten zijn dan benedenwinds. Zelfs luchtvervuiling (vooral in de winter) heeft invloed. Je moet hier dus rekening houden met een extra variatie van minstens 10%. Volgens deze criteria woon ik heel gelukkig: in het zuiden van Baden in de Rijnvlakte, aan de benedenwindse kant van de grotere bergen van de Vogezen. Zeker in de zomer kan ik duidelijk hogere opbrengsten halen dan bijvoorbeeld in het naburige Freiburg, omdat daar meer wolken te verwachten zijn vanwege de bovenwindse ligging, ondanks dezelfde geografische breedtegraad.

Met mijn eerste balkon-energiecentrale, waarvan de twee panelen van 330 Wp in totaal 3,2 m² maten (zie **figuur 2**), berekende ik een maximale bruto dagopbrengst van 1,2 MWh/m² × 3,2 m² = 3,84 MWh per jaar voor mijn geografische locatie. Helaas hebben zonnecellen geen efficiëntie van 100%. De panelen die ik gebruikte haalden iets minder dan 20%, wat zou resulteren in een jaarlijkse oogst van 770 kWh/j. Vanwege de niet-optimale oriëntatie op het zuiden en een te vlakke installatiehoek heb ik gerekend met slechts 75% van het optimum, wat nog steeds zou resulteren in 580 kWh/j.



Figuur 2. De twee 330Wp-panelen van mijn eerste balkon PV-centrale, gemonteerd op een afdak.

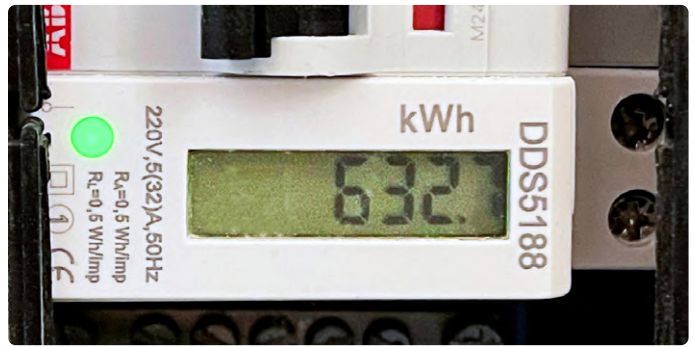
De maximale instroom van 600 W van de toen geïnstalleerde omvormer kon echter niet volledig worden benut. Een deel van de opgewekte energie komt normaal gesproken in het elektriciteitsnet terecht als cadeau voor het grote publiek. In mijn geval is de basisbelasting iets hoger dan gemiddeld vanwege twee koelkasten, een grote vriezer, centrale verwarming met twee pompen, de gebruikelijke elektronica waaronder een PC met monitor in mijn kantoor aan huis, en een oudere moeder die de TV meerdere uren per dag aan heeft staan. Ik ging er dus van uit dat ik ongeveer 75% van de elektriciteit zelf zou gebruiken, wat betekende dat ik in reële termen kon verwachten iets minder dan 430 kWh te besparen, wat ongeveer € 125/j zou zijn geweest tegen de elektriciteitsprijs van € 0,30/kWh op dat moment. De balkon PV-centrale kostte ongeveer € 600 en zou zichzelf in vier jaar hebben terugverdiend. Na één en twee jaar was mijn opbrengst echter hoger. Ik behaalde een bruto instroom van eerst 630 en daarna 670 kWh/j (zie **figuur 3**), wat waarschijnlijk verklaard kan worden door mijn optimale locatie wat betreft zonnestroom met weinig bewolking. Dit was ook goed terug te zien op de elektriciteitsmeter, aangezien het elektriciteitsverbruik ongeveer 500 kWh/j lager was dan in eerdere jaren.

Als je noordelijker woont dan ik en moet leven met een globale straling van ongeveer 1 MWh/m² per jaar, zou je dus een oogst van ongeveer 460 kWh/j kunnen verwachten met een verder identiek systeem. Aan de andere kant zou het aandeel eigen gebruik hoger moeten zijn, zodat je uiteindelijk een elektriciteitsrekening kunt verwachten die 350 tot 400 kWh lager uitvalt. Deze berekening geldt echter voor de stand van de techniek 2,5 jaar geleden.

Tegenwoordig is het rendement van zonnecellen iets verbeterd tot 21...22% en bovendien worden nu grotere panelen gebruikt tegen lagere kosten. Op dit moment kunnen we dus, alleen dankzij technische vooruitgang en nieuwe regelgeving, gemakkelijk besparingen verwachten die 25% hoger liggen dan die van mijn eerste balkon PV-centrale.

Meer vermogen

In Duitsland zijn momenteel wetswijzigingen aan de gang die eindelijk de 800 W zullen toestaan die in veel andere EU-landen is toegestaan voor balkon PV-centrales. Dit was niet alleen reden genoeg voor een hardware-update mijnerzijds, maar zou voor jou ook reden genoeg moeten zijn om te kiezen voor een vermogen van meer dan 600 W als je nu een balkon PV-centrale wilt inrichten. Als je tegenwoordig een PV-omvormer van 800 W of meer koopt, kun je deze normaal gesproken nog steeds meteen gebruiken, omdat je veel van deze modellen zelf kunt terugregelen naar 600 W of zelfs al ingeregeld kunt kopen. Zodra de limiet van 600 W is opgeheven, kun je de omvormer eenvoudig weer terugzetten naar 800 W. Zelfs



Figuur 3. Energie-opbrengst na een jaar gebruik van de eerste balkon PV-centrale.

grotere omvormers kunnen zinvol zijn, maar daarover later meer. Bovendien zijn de prijzen voor panelen sinds begin 2023 drastisch gedaald, en niet alleen vanwege de BTW die momenteel wordt kwijtgescholden in Duitsland. Je kunt momenteel panelen met een piekvermogen van 425 Wp (de 'p' staat voor 'peak') kopen voor minder dan € 100. Krachtiger panelen zijn ook iets groter, omdat de toename in rendement van net geen 20% naar meer dan 21% niet voldoende is om deze toename in vermogen te bereiken. Mijn panelen meten 176,2×113,4 cm (zie **figuur 4**) – een standaardformaat. De transportkosten zijn aanzienlijk omdat je de modules niet meer in een normale auto kunt vervoeren – zelfs niet in een stationcar (in tegenstelling tot de oude 330Wp-modellen). Collectieve bestellingen zijn hier de moeite waard als je medekopers kunt vinden onder vrienden of familieleden.

In Duitsland is er momenteel nog steeds een wettelijke hindernis voor grotere panelen: zonnepanelen met een oppervlakte van meer dan 2 m² zijn niet goedgekeurd voor dakmontage. Ik had geluk, want mijn panelen zijn precies 1,998108 m². In antwoord op een vraag aan het Duitse Federale Ministerie voor Economische Zaken en Klimaat werd me verteld dat de oppervlaktelimiet zal worden verhoogd naar 3 m² in de loop van de voorgestelde 'Solarpakket II' wetgeving [4], die dan panelen met meer dan 550 Wp mogelijk moet maken.

Voor een nieuw ontworpen balkon PV-centrale moet je daarom kiezen voor panelen met meer dan 400 Wp en binnenkort waarschijnlijk voor panelen met meer dan 500 Wp. Als je om ruimteredenen een systeem met slechts één module plant, moet je een omvormer van 400 W kopen waarop slechts één module kan worden aangesloten. De voorgangers van 300 W zijn dus al verouderd en kunnen nog slechts tegen een sterk gereduceerde prijs worden verkocht. Hetzelfde geldt voor een systeem met twee panelen: koop desnoods een omvormer met een vermogen van 800 W die kan worden afgeknepen tot 600 W (of al is afgeknepen) en sluit er twee panelen met meer dan 400 Wp op aan. Helaas zijn panelen van meer dan 2 m² nog steeds een toekomstdroom en zullen die waarschijnlijk pas ergens in 2024 legaal zijn.

Maar voordat je ergens op 'in mijn winkelwagen' klikt, raden we je aan dit artikel helemaal te lezen, want er zijn nog een paar dingen waar je rekening mee moet houden.

Dimensionering

Zoals reeds vermeld, is het doel van een balkon-energiecentrale om het 'ruststroomverbruik' van je huis of appartement te dekken. In bijna alle gevallen blijft het benodigde basisvermogen ver onder de 600 W en ligt het meestal tussen 100 en 200 W. Als je balkon PV-centrale meer stroom levert dan nodig is, wordt een groter deel van het extra vermogen gewoon aan het elektriciteitsnet geleverd,



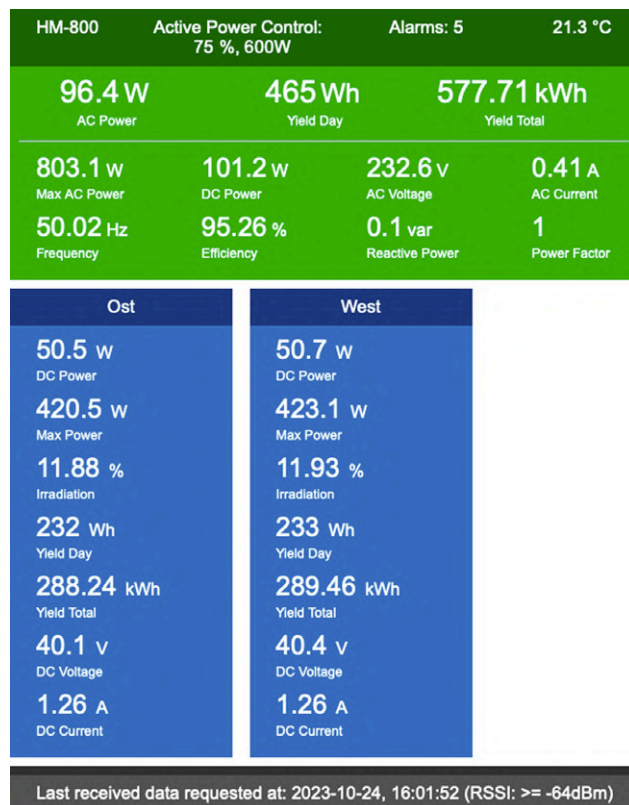
Figuur 4. Mijn oude 330Wp-panels naast de nieuwe 425Wp-panels.

wat economisch gezien niets oplevert. Waarom is een ruimere dimensionering dan nog steeds zinvol?

Het is algemeen bekend dat een PV-systeem 's nachts geen energie levert, zelfs niet bij maanlicht. Laten we aannemen dat je basisbehoefte aan elektrische energie een bescheiden 100 W is. Dit alleen al resulteert in een jaarlijkse energiebehoefte van 876 kWh. Voor een gemiddeld huishouden van twee personen is dit bijna een derde van de totale behoefte. Gemiddeld is het 12 uur per dag nacht – de helft van dit basisverbruik (438 kWh/j) is dus onvermijdelijk, tenzij een accu voor buffering zorgt. De andere helft kan echter niet volledig worden gedekt door een balkon PV-centrale, omdat bij zonsopgang en zonsondergang zelfs twee panelen van 425 Wp soms nog minder dan 100 W leveren. Op noordelijke breedtegraden met langere schemerperiodes is het daarom zeker niet mogelijk om meer dan gemiddeld 10 uur per dag boven 100 W te komen. Er is ook zoiets als slecht weer, vooral in de wintermaanden. **Figuur 5** laat zien dat zelfs mijn nieuwe, krachtigere balkon PV-centrale eind oktober om 4 uur 's middags geen 100 W haalde bij een bewolkte hemel.

Wat te doen? De eerste maatregel is waarschijnlijk om zo groot mogelijke panelen te installeren. Het gaat hier niet om zo hoog mogelijke piekwaarden, maar om meer stroom te leveren in de schemering of bij slecht weer en zo een zo groot mogelijk deel van de basisbelasting gedurende een groter deel van de dag te dekken. Het piekvermogen van de omvormer is alleen interessant als je bij mooi weer zware verbruikers zoals wasmachines, drogers of elektrische kachels gebruikt en je zo een groter deel van dit verbruik compenseert. Voor mij heeft de balkon PV-centrale ertoe geleid dat ik op deze tijden ben gaan letten. Trouwens, als je in de zomer airconditioning gebruikt, kun je ervan uitgaan dat het stroomverbruik bijna volledig wordt gedekt door een balkon PV-centrale van 800 W.

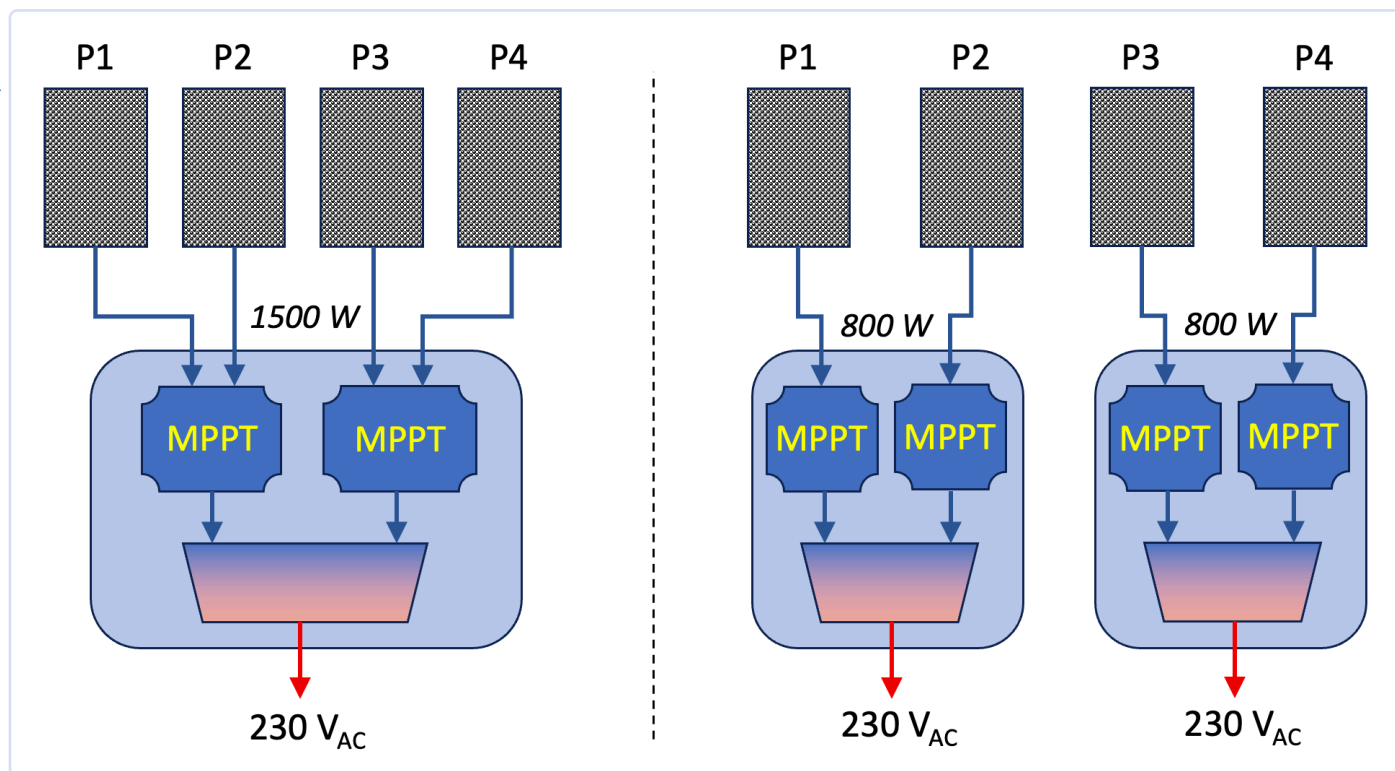
Je kunt tot het uiterste gaan door een krachtigere omvormer met vier ingangen en vier panelen te gebruiken. Er zijn in de handel types van 1200...1500 W verkrijgbaar die hiervoor geschikt zijn. In de regel kunnen deze ook worden teruggeschakeld naar 600 of 800 W en zijn formeel dus legaal – als de betreffende netbeheerder geen problemen maakt. Dit zou echter gemakkelijker moeten worden voor Duitse klanten met de 'Solarpaket II' wetgeving. Verdubbeling van het maximale vermogen heeft het grote



Figuur 5. Eind oktober produceerde mijn nieuwe balkon PV-centrale minder dan 100 W onder een bewolkte hemel.

voordeel dat de basis-lastdrempel eerder wordt overschreden en dat er twee keer zoveel energie kan worden geoogst, zelfs bij slecht weer. Het besparingseffect is dus groter, maar helaas, zoals verwacht, is de verhouding niet lineair, dus het rendement op de investering is lager door de slechtere prijs-prestatieverhouding. Maar als je een maximale energiebesparing wilt bereiken, moet je deze weg kiezen.

Er zit echter een klein addertje onder het gras bij omvormers voor vier panelen: ze hebben normaal gesproken niet meer MPPT-regelaars (Maximum Power Point Tracker) dan omvormers voor slechts twee panelen. Bij omvormers voor vier panelen worden vaak twee panelen intern in serie geschakeld, waarbij voor elk paar één MPP-tracker beschikbaar is. Als je alle vier of ten minste twee panelen op dezelfde manier uitlijnt is dit geen groot probleem. De uitlijning van de panelen is ook relevant voor een optimaal rendement. Als je standaard twee panelen op een balkon installeert, heb je geen keuze. Maar als je ruimte hebt, bijvoorbeeld een plat dak of een afdak ergens, kun je ook één paneel meer naar het oosten richten en het tweede meer naar het westen. Zuidoost en zuidwest zou een goede oplossing zijn, waardoor de overschrijding van de veronderstelde drempel van 100 W eerder in de ochtend begint en later in de avond eindigt, waardoor de basisbelasting langer wordt gecompenseerd (ten koste van het piekvermogen). Je kunt nog meer energie besparen door twee panelen in een systeem met vier panelen naar het zuidoosten te richten en twee naar het zuidwesten. Als je vier verschillende oriëntaties wilt realiseren met vier panelen, is het aan te raden om twee 800 W omvormers aan te schaffen in plaats van één viervoudige omvormer, omdat je dan vier MPP-trackers hebt (zie **figuur 6**). Over het algemeen wordt de hele installatie beschouwd als één



Figuur 6. Twee oplossingen met vier panelen: één omvormer met twee MPP-trackers links en twee omvormers met in totaal vier MPP-trackers rechts.

‘energiecentrale’ of systeem, zelfs als er twee omvormers tegelijkertijd in werking zijn, omdat de wettelijke voorschriften niets zeggen over de specifieke structuur of het aantal panelen, maar alleen over het maximale vermogen. De oplossing met twee omvormers is slechts iets duurder en verdient ook de voorkeur als voor elk paar panelen een andere locatie wordt gekozen. Een langere netkabel is goedkoper en gemakkelijker te leggen dan vier langere PV-kabels.

Natuurlijk heeft één MPP-tracker per paneel ook positieve effecten in het geval van schaduw, omdat elk paneel dan afzonderlijk wordt behandeld. Daarom zijn er zelfs mensen die grotere zonnepanelensystemen met meer dan 10 kWp geïnstalleerd PV-vermogen implementeren met behulp van veel panelen met meerdere dual low-power micro-omvormers (in plaats van één grote omvormer). Zulke kleine omvormers kunnen meestal aan de netzijde worden aangesloten in een keten van maximaal zes eenheden.

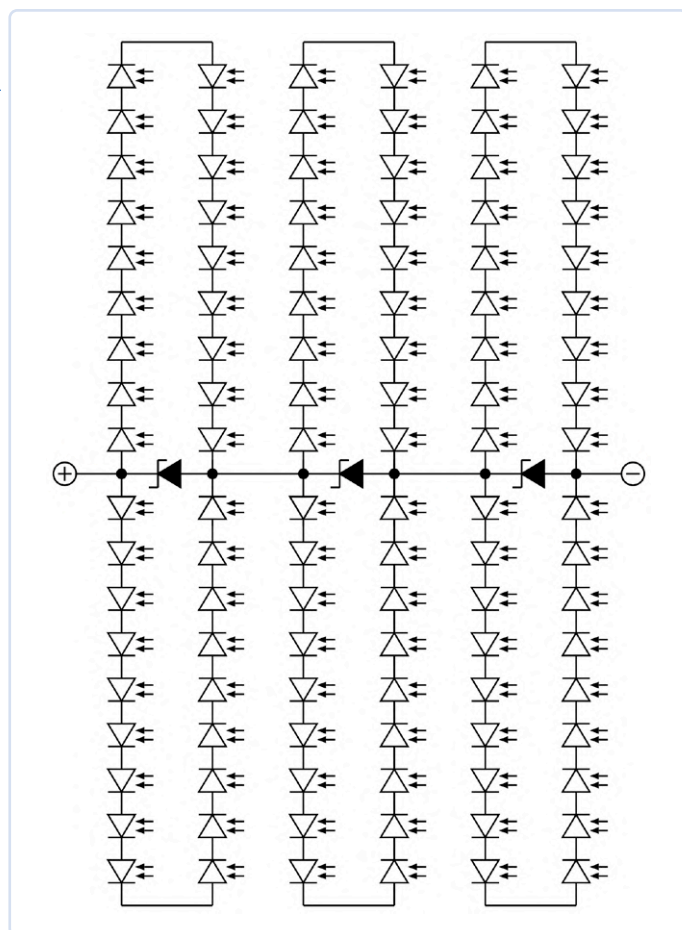
Keuze van de panelen

Zoals gezegd heeft het geen zin meer om kleinere panelen te kopen met een piekvermogen van minder dan 400 Wp. Als je echter, vooruitlopend op de nieuwe wetgeving, echt grote panelen wilt gebruiken, moet je er bijzonder goed op letten dat noch de maximale stroom noch de maximale spanning op de ingangen van de omvormer wordt overschreden. Beide parameters zijn afhankelijk van de grootte van de panelen en hun ontwerp. De veelgebruikte HM-800 omvormer van Hoymiles kan bijvoorbeeld maximaal 60 V en 12,5 A aan op zijn ingangen. Niet elk paneel kan hierop worden aangesloten.

Naarmate het aantal cellen toeneemt, is de maximale spanning hoger voor een bepaald vermogen en de kortsluitstroom lager. Vanwege lagere ohmse verliezen zijn moderne panelen altijd uitgerust met halve zonnecellen in plaats van volledige, vierkante cellen. Dus als we het over ‘cellen’ hebben, bedoelen we meestal halve cellen. Een veelgebruikt zonnepaneel van het type JKM420-54

van Jinko Solar [5] heeft de interne structuur die is weergegeven in **figuur 7**. Het heeft in totaal 108 halve cellen. Het totaal van 108 halve cellen is verdeeld in drie in serie geschakelde blokken van twee parallel geschakelde serieschakelingen van elk 18 halve cellen. De equivalente serieschakeling is dus 54 halve cellen, en twee van dergelijke ketens zijn parallel geschakeld. Onder belasting levert één cel iets minder dan 0,6 V. In dit zonnepaneel bereiken de 54 effectieve cellen een spanning van 31,5 V bij maximaal vermogen. Met iets meer dan 38 V ligt de maximale onbelaste spanning binnen het veilige bereik van praktisch alle omvormers die geschikt zijn voor balkon PV-centrales. Met slechts 108 halve cellen voor zo’n krachtig paneel is het celoppervlak – en dus de leverbare stroom – echter relatief hoog. Uit het gegevensblad blijkt dat de maximale bedrijfsstroom van iets meer dan 13,3 A al hoger is dan de maximale specificatie van 12,5 A voor de HM-800 omvormer. Sommige modellen van andere fabrikanten staan echter een maximale stroom tot 15 A toe, wat genoeg is.

Voor de meeste micro-omvormers die momenteel worden aangeboden, moet je echter zonnepanelen met slechts 108 halve cellen vermijden. Door panelen te kiezen met 120 cellen of meer in het bereik tot 435 Wp, zit je aan de veilige kant wat betreft de stroom. Ik heb panelen met 144 cellen gekozen en deze leveren maximaal iets meer dan 10 A. In de winter kunnen ze echter ruim 50 V onbelaste spanning bereiken bij temperaturen onder nul, in de zon. De 60V-grens van de HM-800 is hier voldoende, maar het is belangrijk om te controleren of de omvormer die je overweegt de maximale onbelaste spanning van de gewenste panelen verdraagt. Voor grote panelen in de klasse boven 500 W moeten aanzienlijk hogere stromen en/of spanningen worden verwacht, afhankelijk van het aantal cellen. Over het algemeen kunnen alleen nieuwere omvormers dit aan. Het controleren van de technische gegevens van zonnepanelen en omvormers is hier verplicht als je geen risico wilt lopen op storingen. De nieuwere HMS-klasse omvormers van Hoymiles kunnen al 14 A op de ingangen aan.



Figuur 7. Interne schakeling van een modern zonnepaneel bestaande uit 108 halve cellen.

Installatie

Afhankelijk van de plaats van installatie moeten verschillende strategieën worden gebruikt om de panelen te monteren. Je kunt je hier uitleven als je van metaalbewerking houdt. Er zijn echter ook geschikte montagesystemen voor elke installatievariant te koop tegen aanvaardbare prijzen, dus het is vaak niet echt de moeite om het zelf te doen met gegalvaniseerd stalen of aluminium profielen. Allereerst is het natuurlijk zinvol om na te denken over de oriëntatie. Het zuiden is optimaal, tenminste op het noordelijk halfrond. Antipoden moeten hun panelen naar het noorden richten en aan de evenaar kunnen ze theoretisch zelfs plat liggen en recht omhoog naar de hemel wijzen. Hier komen de effecten van de hellingshoek om de hoek kijken. Ten eerste zijn kleine hoeken niet echt gunstig, zelfs niet aan de evenaar, omdat stof, vuil en vogeluitwerpselen zich dan ophopen en niet gemakkelijk door regen kunnen worden weggespoeld. Bovendien staat zonnestraling buiten de tropen nooit loodrecht op het aardoppervlak, maar onder een meer of minder steile hoek. Daarom moet je, als je niet veel technische moeite wilt doen om de zon met de panelen te volgen, nadenken over de optimale installatiehoek [6][7].

Allereerst: er is geen universele optimale installatiehoek, omdat het optimum niet alleen afhangt van de locatie of de geografische breedte, maar ook van wat je wilt. Er zijn calculators of tabellen op het internet die gebruikt kunnen worden om de maximale opbrengst te bepalen, afhankelijk van waar je woont. Volgens deze tabellen zou de optimale hoek voor Duitsland ten opzichte van de horizon tussen 38° (ver in het noorden) en ongeveer 32° voor mij in het zuiden liggen. Dit geldt echter voor de optimale opbrengst gesommeerd

over het hele jaar, wat alleen een redelijk en verstandig criterium is voor grotere zonnepanelen waarbij de energie die aan het net wordt geleverd geld oplevert. Zoals we echter allemaal weten, staat de zon in de winter aanzienlijk lager dan in de zomer. Bijgevolg wordt met kleinere hoeken meer energie verkregen in de zomer en minder in de winter dan mogelijk zou zijn. Het omgekeerde geldt voor grotere hoeken. Voor balkon PV-centrales is de piekwaarde echter minder belangrijk dan de beschikbaarheid van gemiddelde en lage vermogens in de loop van de tijd. In dit opzicht zijn steilere hoeken hier zinvoller, omdat hogere vermogens in de winter worden bereikt ten koste van in de zomer en de totale opbrengst.

Op basis van deze overwegingen heb ik mijn panelen onder een hoek van 45° gemonteerd. Ik ben ervan overtuigd dat ik hiermee het meest bespaar. De eerste prognoses op basis van drie maanden met mijn nieuwe 800 W balkon PV-centrale met een betere installatiehoek bevestigen dat ik ondanks het afknijpen naar 600 W een toename in elektriciteitskostenbesparing van meer dan 25% kan verwachten ten opzichte van de oude 600W-variant.

Gelukkig is de kwestie van de installatiehoek lang niet zo kritisch als je zou denken. De curven van de verlichtingsintensiteit variëren gedurende het jaar min of meer sinusvormig tussen winter en zomer, in plaats van lineair. Hetzelfde geldt voor de variatie tussen zonsopgang en zonsondergang. De intensiteit van de zon als deze van oost naar west beweegt, lijkt ook op een sinusoidie die onderaan is afgekapt. Een afwijking van de ideale zuidoriëntatie en van de ideale installatiehoek van bijvoorbeeld 10° resulteert slechts in een opbrengstvermindering van 0,5...2%. Een afwijking van ±45° van het zuiden vermindert de zonnepopbrengst met slechts 5,1%. Zelfs een fout in de installatiehoek van 20° kost minder dan 4%. Deze waarden gelden echter alleen voor de maximale energieopbrengst. In het geval van een balkon-energiecentrale moet je echter gewoon zo vaak en zo lang mogelijk boven de drempel van het basisstroomverbruik van een huis zitten, daarom moet er iets meer nadruk worden gelegd op een goede uitlijning en steilere installatiehoeken. Op een plat dak kun je gewoon gewichten gebruiken in plaats van gaten te boren en lekkage te riskeren. Dan blijven de panelen zelfs bij harde wind op hun plaats. Bij het huis van kennissen in Israël heb ik bijvoorbeeld goedkope betonnen stoepranden gebruikt op het dak van hun bungalow en de panelen daaraan vastgeschroefd met een zelfgemaakte constructie van gegalvaniseerde stalen beugels (figuur 8). Elke steen weegt 45 kg. Dat zou voldoende moeten zijn, maar het dak moet het gewicht ook kunnen dragen.

Als je een balkon met een balustrade van stalen buizen hebt, is het de moeite waard om kant-en-klare beugels te gebruiken waarmee je de panelen rechtstreeks verticaal daarop kunt schroeven. Verticale installatie is echter allesbehalve ideaal. Je moet rekening houden met verliezen tot 30% in vergelijking met optimalere hoeken. In het geval van balkon PV-centrales zul je gedurende een langere periode onder de basislastdrempel blijven, en dat is jammer. Met andere systemen waarbij de hoek kan worden aangepast, kunnen de panelen onder een aanzienlijk betere hoek worden bevestigd aan houten, metalen of betonnen balustrades. **Figuur 9** toont de installatie met een dergelijk systeem op een houten rek aan een balkonrand; en in **figuur 10** zie je hetzelfde bevestigingssysteem op een luifel. De kosten per paneel beginnen bij ongeveer € 20.



Figuur 8. Installatie van een balkon PV-centrale op een plat dak met betonstenen.



Figuur 9. De panelen zijn hier tegen de houten planken van een balkon geschroefd met behulp van kant-en-klare zwart geanodiseerd aluminium bevestigingsmateriaal.



Figuur 10. Met hetzelfde montagesysteem als in figuur 9 (hier in blank aluminium) kunnen de zonnepanelen ook stabiel worden gemonteerd op platte daken met een verstelbare hoek.

En verder

Naast efficiëntie- en prijscriteria spelen ook andere aspecten een rol bij het kiezen van zonnepanelen en de bijbehorende omvormer en montagemateriaal. Als het om zonnepanelen gaat, moet je veel denkwerk investeren in de beste installatie, vooral als er schaduw van andere huizen, dakconstructies of bomen te verwachten is. De logica hierachter en het antwoord op de vraag wanneer zonnepanelen bijvoorbeeld rechtop moeten worden gemonteerd in plaats van horizontaal, en nog veel meer, kun je vinden in een uitgebreider artikel over zonnepanelen in de speciale (Duitslatige) Elektor-editie over zonnetechnologie [2].

Zoals al gezegd, als je vier zonnepanelen wilt gebruiken, moet je het vermogen van de omvormer(s) verlagen zodat er niet meer dan 600 W (in Duitsland) of 800 W kan worden gegenereerd. Niet alle omvormers kunnen dit. Ook kunnen niet alle omvormers direct worden geïntegreerd in je eigen WLAN en zo worden bestuurd. Vooral voor de wijdverspreide HM-modellen van Hoymiles moet je óf een DTU (data transfer unit) kopen óf er zelf een bouwen. Elders in dit nummer beschrijven we een oplossing met de open-source software OpenDTU [8], en het equivalent met de AhoyDTU software is te vinden in de speciale uitgave [2]. **Figuur 11** toont mijn zelfgebouwde DTU.

Als je de totale opbrengst in de tijd van je eigen balkon-energiecentrale wilt zien, kun je oplossingen van omvormerfabrikanten gebruiken. Als je deze gebruikt, moet je er echter rekening mee houden dat je gegevens in Chinese clouds terechtkomen en verloren gaan als de fabrikant besluit om deze clouds over een paar jaar te sluiten. Er bestaan hiervoor ook open-source oplossingen, bijvoorbeeld met de domoticasoftware Home Assistant. In een van de volgende nummers van Elektor gaan we hier wellicht dieper op in. Dergelijke software zou ook kunnen worden gebruikt voor nul-teruglevering, waarbij het vermogen van de omvormer wordt aangepast zodat er zo min mogelijk stroom naar het net gaat.

Zoals gezegd zijn er nu goede zonnepanelen van meer dan 400 Wp voor minder dan € 100 per stuk. Iets duurder zijn bifacial-modules, die aan de onderkant een tweede glaslaag hebben (net als de bovenkant) in plaats van een witte plastic folie. Hierdoor kan (diffuse) straling van achteren een paar procent extra bijdragen aan de opbrengst. Dit is echter niet zinvol voor panelen die plat op een dak of muur liggen, omdat er dan nauwelijks straling van achteren is. Een ander voordeel van bifacial-panelen is dat de glaslaag veel stabielere en dichtere is dan een kunststof laag. Daardoor hebben deze modules een langere levensduur en waarschijnlijk ook minder degradatie na verloop van tijd. De meerprijs voor deze toegevoegde waarde is relatief bescheiden.

Naar verluidt zou, als onderdeel van de Duitse 'Solarpaket II' wetgeving, de verplichting om voor de netaansluiting een Wieland-stekkeraansluiting, die € 35...40 extra kost, worden afgeschaft. Er zijn mensen die vooruitlopend hierop al een normale stekker voor een normaal stopcontact gebruiken, wat in Duitsland echter nog niet is toegestaan – wel in andere landen. Ik heb mijn balkon PV-centrale rechtstreeks aangesloten met een eigen kabel en zekering om dergelijke problemen te voorkomen. Bovendien is met de 800 W die in de toekomst is toegestaan, een maximale stroom van 3,5 A te verwachten die wordt toegevoerd aan het 230V-net.

Als stopcontacten gezekeerd zijn met 16 A, kan er tot 19,5 A naar een ander stopcontact in dezelfde groep lopen voordat de zekering doorbrandt. Dat is echter niet toegestaan. Bij aansluiting via een stopcontact moet de betreffende zekering in de zekeringkast daarom worden verlaagd naar 12 A of minder. Dit werk is voorbehouden aan een elektricien die is gecertificeerd door het energiebedrijf.

Naar verluidt maken sommige lokale Duitse energiebedrijven momenteel problemen bij de registratie van balkon PV-centrales van 600 W met 800W-omvormers. Dit zou binnenkort verleden tijd moeten zijn met de 'Solarpaket II' wetgeving, omdat dan alleen de vereenvoudigde registratie bij het 'Marktstammdatenregister' vereist zal zijn in Duitsland.

Wat betreft de prijsontwikkeling: je kunt momenteel complete balkon PV-centrales van 800 W kopen voor minder dan € 400 (exclusief verzendkosten en installatiemateriaal). Om je een idee te geven: zo'n investering zou zichzelf in minder dan drie jaar moeten terugverdienen door besparing op energiekosten. Met een goed, groter systeem met vier panelen en twee omvormers van 800 W kom je al snel op € 1000. Omdat je niet twee keer zoveel zult besparen, moet je rekenen op vier tot vijf jaar voor de kosten helemaal zijn terugverdiend.

Onlangs zijn er een aantal kleine accusystemen met een capaciteit van 1...2 kWh op de markt gekomen die speciaal zijn ontworpen voor balkon PV-centrales. Ze worden gewoon aangesloten tussen de zonnepanelen en de omvormer; overdag wordt een deel van de energie gebruikt om de accu op te laden. 's Nachts levert de accu dan een instelbare hoeveelheid stroom aan de omvormer, zodat het ruststroomverbruik van een huis 's nachts ook (gedeeltelijk) kan worden gecompenseerd. Op zich is dit een geweldig idee. De kosten van een dergelijke oplossing bedragen echter maar liefst € 1500...2500. Terugverdienen daarvan is uiterst twijfelachtig omdat, bij gebrek aan een intelligente regeling, er gewoon constant stroom wordt toegevoerd, onafhankelijk van het verbruik. Als men heel optimistisch rekent met een gemiddelde van 10 uur per dag en 100 W, zou er ongeveer 365 kWh/j kunnen worden bespaard, wat overeenkomt met ongeveer € 110 per jaar. Na 14 tot 23 jaar is de investering pas terugverdiend.

Tot slot bieden sommige lokale overheden subsidies aan voor balkon PV-centrales. Dit betekent dat zo'n investering zichzelf al na een jaar kan terugverdienen. ◀

vertaling: Jelle Aarnoudse — 230660-03



Figuur 11. Mijn zelfgebouwde DTU met een 2,42" OLED-display.

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.

Over de auteur

Dr. Thomas Scherer ging eerst in de leer als technicus in de telecommunicatie-elektronica en werkte vervolgens vanaf 1980 voor de Elektor-redactie. Na zijn studie psychologie en enkele jaren fundamenteel onderzoek is hij al tientallen jaren freelance-auteur voor Elektor. Hij heeft een groot elektronica-laboratorium en niet alleen in neuronen maar ook in elektronen geïnteresseerd – met andere woorden, zo'n beetje alles wat met elektriciteit te maken heeft.



Gerelateerde producten

> **PeakTech 3350 Multimeter**
www.elektor.nl/19986

WEBLINKS

- [1] T. Scherer, "Zonnepanelen op je balkon," Elektor september/oktober 2021: <http://www.elektormagazine.nl/magazine/elektor-185/59907>
- [2] Elektor speciale uitgave "Solaranlagen und Photovoltaik" [Duitstalig]: <https://elektor.de/20596>
- [3] DWD, solar radiation maps [Duitsland]: <https://tinyurl.com/strahlungsklimatologie>
- [4] German Federal Ministry of Economics press release: <https://tinyurl.com/derenewables>
- [5] Solar module datasheet [PDF]: <https://tinyurl.com/solarpanelds>
- [6] Installatiehoek [Duitstalig]: <https://solar.red/photovoltaik-neigungswinkel>
- [7] Solar Panel Tilt Angle Calculator: <https://footprinthero.com/solar-panel-tilt-angle-calculator>
- [8] T. Scherer, "ESP32 met OpenDTU voor balkoncentrales," Elektor januari/februari 2024: <http://www.elektormagazine.nl/230500-03>

ESP32 met OpenDTU voor balkoncentrales

gegevens van kleine omvormers via MCU's uitlezen

Afbeelding vervaardigd met Midjourney en Photoshop

Dr. Thomas Scherer (Elektor)

De betrouwbare micro-omvormers van Hoymiles hebben geen geïntegreerde WiFi-connectiviteit. Om het actuele vermogen, de dagelijkse en cumulatieve energieproductie en andere gegevens uit te lezen, is een extra Data Transfer Unit (DTU) nodig. In plaats van veel geld uit te geven, kun je zelf een betaalbare DTU bouwen die op open-source software draait.

Meer dan twee jaar geleden heb ik een kleine balkoncentrale gebouwd met 600 W vermogen [1]. Ik heb nu een nieuw systeem (met krachtiger panelen en een nieuwe omvormer), waarvan ik de gegevens uitlees met behulp van een kleine schakeling, die me een informatieve webpagina geeft op mijn eigen LAN (zie **figuur 1**). Helaas zijn de goede en veelgebruikte micro-omvormers van Hoymiles alleen toegankelijk via een speciale Nordic-radioverbinding met een eigen protocol. Maar het kopen van een kant-en-klare DTU van de fabrikant is in strijd met mijn eer als maker, omdat je zo'n apparaat ook zelf kunt bouwen, waardoor je geld bespaart en bovendien voorkomt dat je gegevens naar een onbetrouwbare cloud stuurt.

Open source

Dankzij het wijdverbreide gebruik van Hoymiles-omvormers hebben enkele inventieve makers wat reverse engineering gedaan om uit te vinden welke gegevens via Nordic-radio worden verzonden en hoe. Je kunt de originele discussie (in het Duits) lezen op het Mikrocontroller.net forum [2]. Tevens is software ontwikkeld voor de bekende ESP32 microcontroller-boards van Espressif (plus een radiomodule van Nordic). Waarom deze microcontroller? Het is een voor de hand liggende keuze: een ESP32 is uitgerust met een dual-core CPU met een kloksnelheid van 240 MHz en wordt geleverd met geïntegreerde WiFi en Bluetooth. Dit alles verstoekt gemiddeld minder dan een halve watt.

De software die hiervoor is ontwikkeld leest niet alleen alle relevante informatie uit van de Hoymiles-omvormers en van klonen met hetzelfde ontwerp, maar kan ook het vermogen dat aan het net wordt geleverd wijzigen. Dit laatste is geschikt voor het realiseren van wat bekend staat als zero feed-in. De omvormer wordt daarbij zo geconfigureerd dat hij net zoveel energie levert als er op dat moment wordt verbruikt. Andere omvormer-types dan de beproefde HM-serie kunnen ook worden gebruikt, maar daarvoor is een andere radiomodule nodig, die hier niet wordt behandeld.

Al snel ontstonden er twee zeer bruikbare softwareoplossingen, OpenDTU [3] en AhoyDTU [4], die op sommige punten verschillen. Op de websites van deze projecten kun je zien voor welke specifieke omvormers ze geschikt

zijn en wat ze kunnen. Ik heb beide oplossingen geprobeerd. Het is moeilijk te zeggen welke de 'betere' is. De omvormers HM-300 tot HM-1500 kunnen met beide varianten overweg.

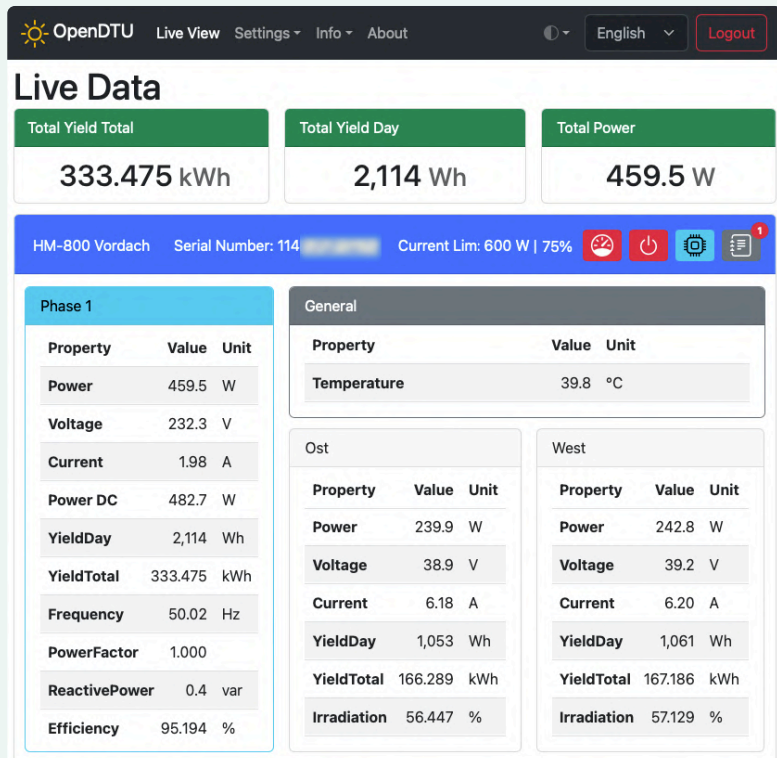
Als je goedkopere en minder krachtige boards van het type ESP8266 wilt gebruiken, moet je vertrouwen op AhoyDTU. Op het krachtigere ESP32-platform werken beide oplossingen. Hieronder wordt de werking met OpenDTU beschreven.

Hardware

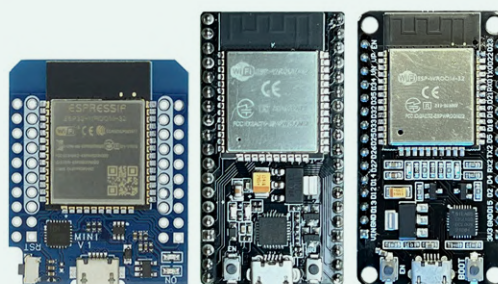
Zoals al opgemerkt, vereist OpenDTU een ESP32 breakout-board (BoB) als basis. **Figuur 2** toont drie gangbare ESP32-boards. Daarnaast is een Nordic-radiomodule nodig, waarvan er modellen zijn met een onboard-antenne of met een SMA-aansluiting voor het aansluiten van een externe antenne (**figuur 3**). Je kunt vast wel raden welke van de twee het grootste bereik heeft. Maar voor mij was zelfs de versie met de geprinte antenne (op slechts 25% van het maximale zendvermogen) voldoende voor een fatsoenlijke radioverbinding, zelfs over een afstand van 11 m door een 34 cm dikke baksteenmuur. Dat is eigenlijk alles. Voor OpenDTU kun je bijna elke ESP32-variant combineren met elke Nordic-radiomodule. Zelfs kleine displays kunnen worden aangestuurd, maar daarover later meer. Voor de drie ESP32-varianten in figuur 2 heb ik printen ontworpen. Met de miniversie hieronder krijg je een relatief kleine DTU. Je kunt de ESP32 BoB en de Nordic-module natuurlijk ook zonder printje met de hand bedraden.

Tot zover de theorie. Het venijn zit echter in de details. Naast de radiomodules van het type 'nRF24L01+', is er ook aantal zonder die '+'. Let op: de plus-versie is verplicht! Terwijl de eenvoudigere boards met een geprinte antenne verkrijgbaar zijn voor prijzen tussen € 1 (China) of € 4 (EU), wordt de luxere versie van fabrikant eByte (figuur 3 rechts) geleverd met een afgeschermd radio-unit en kost deze tussen € 4,50 (China) of € 7 (EU) inclusief antenne. Een doe-het-zelf DTU met een Nordic-module inclusief externe antenne is dus niet veel duurder dan eentje zonder. Ik heb de versies met en zonder externe antenne geprobeerd en vond in mijn geval geen significante verschillen, maar wat extra bereik is nooit verkeerd. Overigens is een normale externe WiFi-antenne geschikt, omdat Nordic-modules ook op 2,4 GHz uitzenden. Het enige waar je op moet letten is dat deze een male SMA-schroefconnector moet hebben.

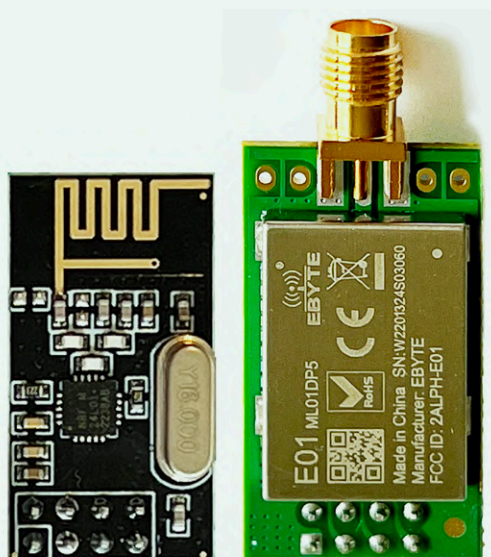
Afhankelijk van het exacte type betaal je tussen de € 4 (China) en € 10 tot € 15 (EU) voor een ESP32-board. Met een ESP32 en nRF24-BoB kun je een volledig functionele DTU bouwen, inclusief een eenvoudige plastic behuizing en een micro-USB-kabel voor iets minder dan € 12 (China) of € 20 (EU). Dit is een koopje vergeleken met de € 100 tot € 250 voor een originele DTU van Hoymiles!



Figuur 1. Een korte vermogenstest op 31 juli 2023, onder een licht wolkendek. De 800W-omvormer was begrensd op 600 W en toch was er aan het eind van de dag een behoorlijke 4,7 kWh opgewekt.

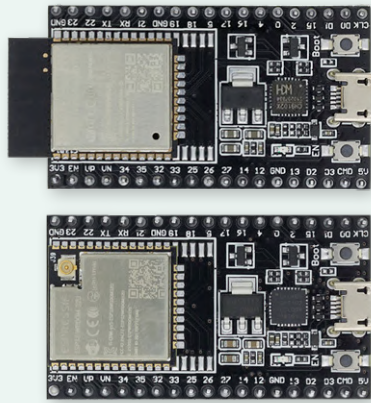


Figuur 2. Drie verschillende board-formaten ter vergelijking: rechts een 30-pins ESP32-BoB, in het midden eentje met 38 pinnen, links een kleinere ESP32-variant (D1 mini), waarbij twee van de 40 pinnen niet worden gebruikt.

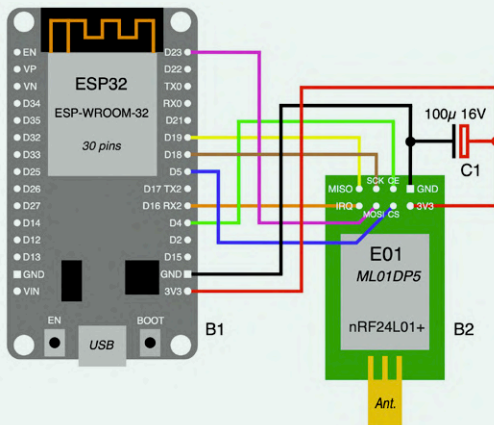


Figuur 3. Twee boardvarianten met de Nordic-radiochip nRF24L01+, links met een on-board printantenne en rechts met een SMA-connector voor een externe 2,4GHz-antenne.

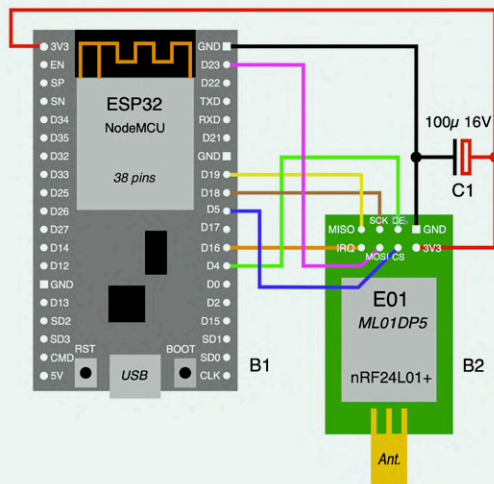
Figuur 4. Twee 38-pins ESP32 BoB's. Boven met uitstekende printantenne en onder met connector voor het aansluiten van een externe WiFi-antenne. Beide werken goed.



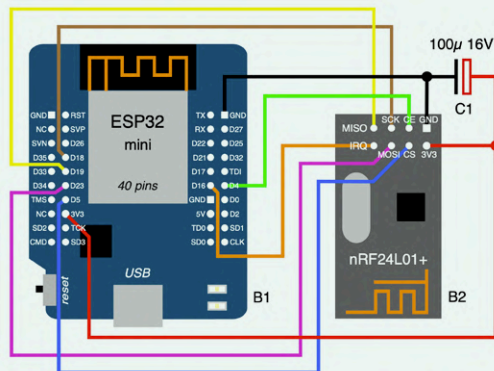
Figuur 5. Schakeling/bedradingsschema voor het aansluiten van BoB's op breadboards met gekleurde soepele montagedraad. Hier zie je de bedrading van de 30-pins variant.



Figuur 6. Bedradingsschema voor 38-pins ESP32 BoB's.



Figuur 7. Aansluitschema voor de kleine ESP32 mini-BoB met kleine radiomodule (printantenne). Je kunt een module ook uitrusten met een externe antenne.



Het grootste probleem is dat er zoveel varianten van ESP BoB's zijn. Zelfs op de website van Espressif [5] heb je keuze te over. En dan zijn er nog verschillende fabrikanten in het Verre Oosten die verschillende ESP32-SoC's op verschillende boards leveren met verschillende componenten, verschillende antennes en vooral verschillende pin-outs. De meeste van deze modellen zijn geschikt voor de DTU die hier wordt beschreven. Ik zou echter geen afgeslankte versies met minder flash-geheugen of single-core-versies willen aanraden.

Figuur 2 toont drie ESP32-BoB-varianten met 30, 38 en 40 pinnen, die waarschijnlijk meer dan 90% van de markt vertegenwoordigen. Visueel en technisch zijn er nog meer irrelevante verschillen, die bijvoorbeeld betrekking hebben op de antenne of de USB-converterchip. De meeste goedkopere hebben een WiFi-printantenne en een micro-USB-aansluiting. Bij sommige steekt de antenne iets over de rand van de print uit en andere hebben een kleine aansluiting om een externe WiFi-antenne op de print aan te sluiten (figuur 4). Er zijn ook varianten met een stevigere USB-C aansluiting in plaats van micro-USB. USB-C verdient de voorkeur wanneer de aansluiting vaak gebruikt wordt.

De ESP32-boards hebben genoeg vermogen om een klein display aan te sturen en van gegevens te voorzien. Als je wilt, kun je kiezen uit verschillende soorten displays. Ideaal zijn OLED-displays met 128×64 pixels, die worden aangestuurd via I²C. Twee veelgebruikte types zijn de SH1106 controllerchip (1,3" diagonaal) of de SSD1306 (0,96"). Daarnaast zijn er grotere modellen met de SSD1309-controller voor 1,54" en 2,42" beeldscherm diagonalen die ook werken. Dankzij I²C zijn er slechts twee extra ESP32 I/O-poorten nodig naast +5 V en GND. De displays zijn ook acceptabel van prijs, met € 2 tot € 10 (China) en € 4 tot € 20 (EU). Ik heb ze allemaal getest en het volgende uitgevonden: op de 2,42"-versie met een vierpins I²C-connector moet D2 aan de achterkant worden verwijderd en vervangen door een jumper (soldeerdrupeel) zodat het ACK-sigitaal correct wordt gegenereerd. Het extra stroomverbruik van een OLED-display bedraagt minder dan 0,1 W, zelfs voor de grootste variant.

In het begin deed ik het zonder zo'n display omdat het voor mij voldoende was om de gegevens via een webbrowser op te vragen. Dit werkt ook goed onderweg via een smartphone als je een VPN activeert op je eigen router (mits deze dat kan) en deze gebruikt om op afstand toegang te krijgen tot je DTU. Maar uiteindelijk werd ik verleid door het display-idee en maakte ik een nieuw ontwerp met print en display: eerst met een 1,3" OLED-display en daarna een grote versie met een diagonaal van 2,42". Mijn DTU met display staat nu op de luidspreker van de PC zodat ik altijd in één oogopslag kan zien wat er in de zon gebeurt. Hieronder laat ik zien hoe je zo'n display met slechts vier draadjes kunt aansluiten.

Schakeling(en) en opbouw

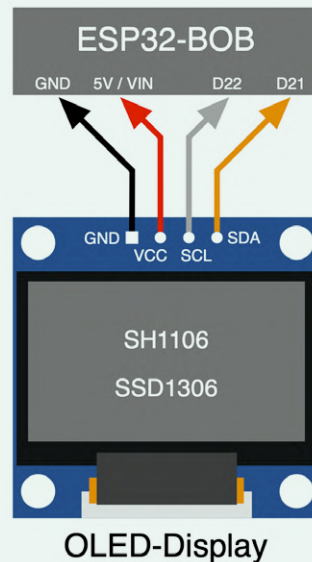
De drie ESP32 BoB's in figuur 2 moeten verschillend bedraad worden vanwege de verschillende pintoewijzingen. Gelukkig zijn de twee Nordic-radiomodules verkrijgbaar met dezelfde pintoewijzing. Andere, kleinere versies met SMD-pads in plaats van de 2x4 pin-headers worden hier niet gebruikt. Dit maakt het mogelijk om de wirwar van mogelijkheden terug te brengen tot drie schema's of printen. Om het eenvoudiger te maken, wordt de bedrading hier niet gegeven als een klassiek elektronisch schema, maar als een realistisch bedradingsschema. Op die manier kun je een ESP-module en een radiomodule op gaatjesprint solderen en de nodige acht verbindingen heel eenvoudig van pin tot pin maken met dun geïsoleerd draad. De **figuren 5, 6 en 7** zijn daarom vergelijkbaar. Er zijn geen expliciete onderdelenlijsten nodig.

Welk van de twee typen radiomodules wordt gebruikt, is niet relevant voor de aansluitschema's. In alle drie de schakelingen is, naast de twee BoB's, een kleine ontkopelcondensator van 100 μF opgenomen, die volgens berichten op internet voor een stabiel gedrag van de radiomodule zou moeten zorgen als hij zo dicht mogelijk bij de 3V3- en GND-pinnen van de module wordt gesoldeerd. Sommigen zeggen dat dit nodig is, anderen niet – in ieder geval heb ik hem in het schema opgenomen en zelf ook gemonteerd. Naar mijn mening is deze elco niet absoluut noodzakelijk.

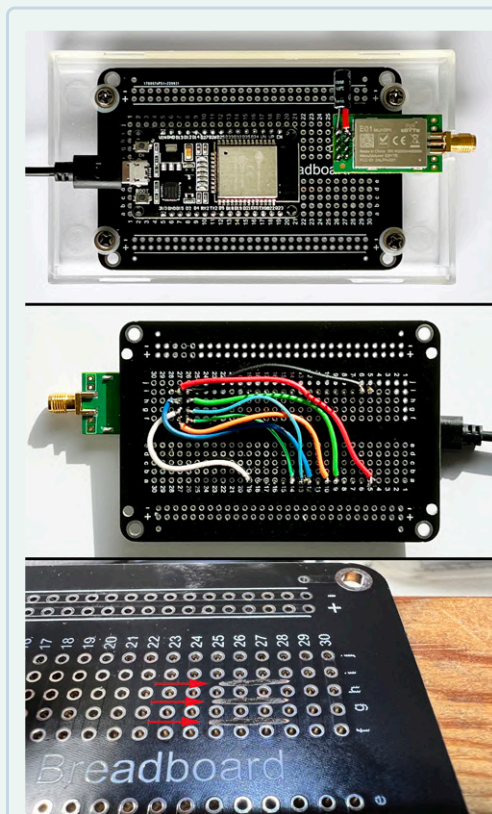
Figuur 8 laat zien hoe je een klein I²C-OLED-display met vier draden of een stukje vieraderige lintkabel kunt aansluiten op een ESP-BoB en de huidige gegevens van je omvormer kunt laten weergeven zonder PC of smartphone. Let op: bij sommige displaymodules zijn de pinnen voor GND en VCC omgewisseld. Kijk voor het aansluiten goed naar de labels van de pinnen, anders is het display meteen overleden! Een aangesloten en actief display heeft tussen de 10 en 25 mA nodig bij 5 V – gemiddeld eerder rond de 10 mA. Op sommige ESP32-boards wordt de 5V-pin aangeduid met VIN. Deze is rechtstreeks verbonden met de 5V-lijn van de USB-connector.

In plaats van gaatjesprint heb ik voor mijn eerste pogingen een 'breadboard'-achtige print gebruikt. Aan de ene kant worden de twee BoB's ingeprikt en aan de andere kant worden een paar pinnen gesoldeerd en vervolgens krijgen alle pinnen die nodig zijn voor de bedrading een kloddertje soldeer. Nu kun je de acht benodigde stukjes draad nemen en de aansluitingen pin voor pin maken.

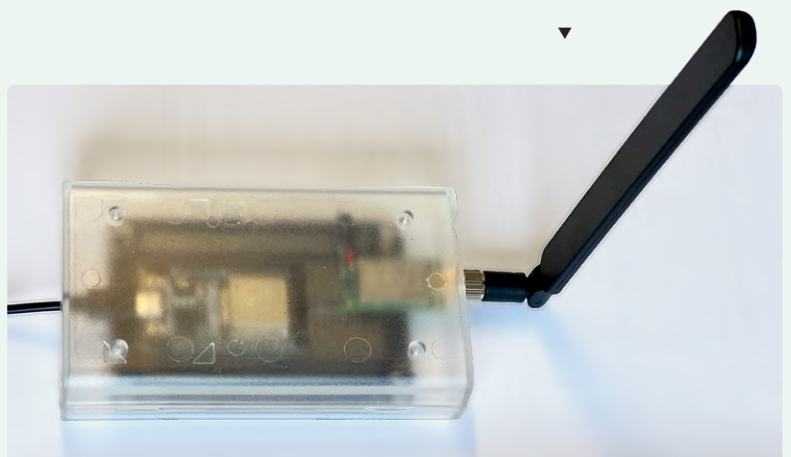
Figuur 9 laat zien hoe ik dat bij mijn eerste prototype heb gedaan. Wanneer je een breadboard als dit gebruikt, heb je een probleem: telkens vijf pinnen naast elkaar (a...e en f...j) zijn elektrisch doorverbonden. Dit past goed bij de pinheaders van de ESP-boards, maar slecht bij de 2x4 opstelling van de pinheader van de radiomodule. Hier moet je de twee corresponderende sporen van de print op drie plaatsen onderbreken voordat je aan de bovenkant gaat solderen. De onderste foto van



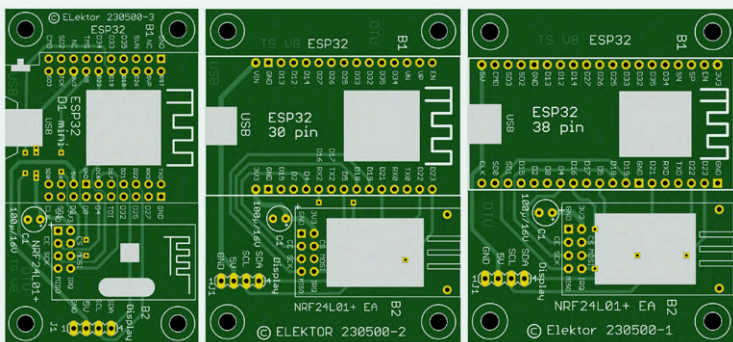
Figuur 8. Zo sluit je een OLED-display aan via I²C. Let op: De aansluitingen voor +5 V en GND zijn soms omgekeerd. Verkeerde polariteit is dodelijk voor de schakeling!



Figuur 9: Mijn eerste prototype op breadboard, aangesloten met soepele montagedraad. Let op: bij de radiomodule moet je de sporen doorsnijden (onderste foto, zie tekst).



Figuur 10. Het eerste prototype (zonder display), ingebouwd in een semi-transparante behuizing met een externe 2,4GHz-antenne.

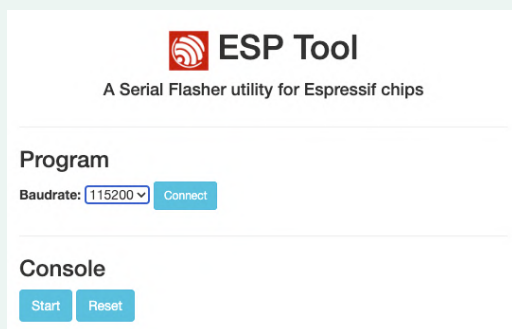


Figuur 11. De drie ESP32 BoB's die de voorkeur verdienen, hebben verschillende printen nodig. De layout-bestanden zijn beschikbaar op [6].

Figuur 12. Gemonteerde boards. Die voor de ESP32 BoB met 38 pinnen is nog een bètaversie.



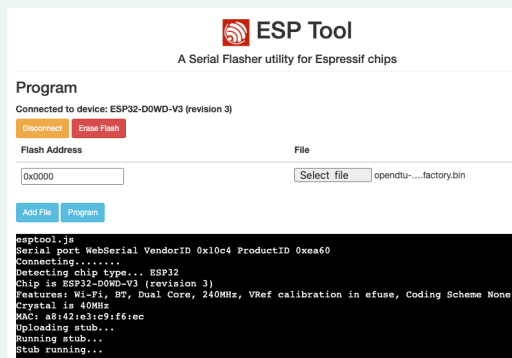
Figuur 13. Startscherm van de ESP Tool online-flasher van Espressif met correct ingestelde baudrate.



Figuur 14. Dit pop up-venster zou de virtuele seriële poort van de aangesloten ESP32 moeten tonen als de juiste driver is geïnstalleerd.



Figuur 15. Het eerste flashen moet gebeuren met het firmware-bestand `opendtu-generic.factory.bin` op adres `0x0000`. Enkele knoppen moeten worden ingedrukt om verbinding te maken (zie tekst).



figuur 9 toont hoe ik dit heb gedaan met een Dremel-tool en een mini-slijpschijf. Als je dit niet doet, krijg je diverse kortsluitingen en zal niets werken. **Figuur 10** toont het afgewerkte prototype plus externe antenne in een semi-transparante behuizing.

Een comfortabelere en simpeler oplossing, waarbij de mogelijke fouten bij een vrij bedrade opstelling worden vermeden, is het gebruik van een van de printen die ik heb ontworpen (**figuur 11**). De layout-bestanden hiervan kunnen gratis worden gedownload (in Eagle-formaat) van de projectpagina bij dit artikel [6]. De gratis versie van Eagle CAD-software is voldoende omdat deze dubbelzijdige printen ter grootte van een halve Eurokaart aankan. Bij het monteren van de ESP32 BoB's hoeft je alleen de pinnen met vierkante en ronde pads in te solderen – dat volstaat voor de mechanische stabiliteit en de elektrische verbindingen.

Toen ik de (eerste versies van de) printen had ontvangen van de fabrikant na het opsturen van de Gerber-bestanden, heb ik de drie varianten in elkaar gezet. Alle printen hebben pads voor soepel montagedraad om een display aan te sluiten. Het is ook mogelijk om hier vierpolige connectoren te monteren waar het display op geprikt kan worden. Bovenaan **figuur 12** zie je het bovenaanzicht van de bestukte, maar nog niet definitieve boards.

Firmware

De eerste installatie van de OpenDTU-firmware op de 'maagdelijke' ESP32 is niet triviaal. Eerst moet je de bijbehorende website [3] bezoeken en je een beetje inlezen. Er worden verschillende methoden beschreven. Ik geef de voorkeur aan de online-tool van Espressif [7], die niet draait op Safari op een Mac – maar er zijn andere browsers. Nadat je de DTU via USB hebt aangesloten op de PC of Mac, stel je onder **Program** eerst een baudrate in van 115.200 en klik je vervolgens op de blauwe knop **Connect** (**figuur 13**). Selecteer in het pop-upvenster dat verschijnt (**figuur 14**) de juiste seriële interface (lichtblauw). Je kunt het type van de USB/serieel-converterchip al zien – hier een CP2102 – maar er zijn ook andere. Dit werkt natuurlijk alleen als het juiste stuurprogramma is geïnstalleerd, wat onder Windows 11 dankzij de automatische installatie een fluitje van een cent zou moeten zijn. Zo niet, dan zijn er geschikte links te vinden op de Espressif-website. Flashen met de Mac via Chrome gaat ook probleemloos na installatie van de CP2102- of CH340-drivers.

Nu kan het gebeuren dat je lang moet wachten tot er iets gebeurt. Op de ESP32 BoB kunnen één of twee kleine knopjes zitten. Bij twee knopjes houd je eerst op Boot ingedrukt en dan druk je kort op EN, terwijl je bij de mini-BoB met één knopje maar één keuze hebt. Pas dan maakt de tool verbinding met de ESP32 en verschijnt het scherm van **figuur 15**. Wis voor de zekerheid met **Erase Flash** eerst het geheugen en selecteer dan onder **File** het firmware-bestand `opendtu-generic.factory.bin` [8].

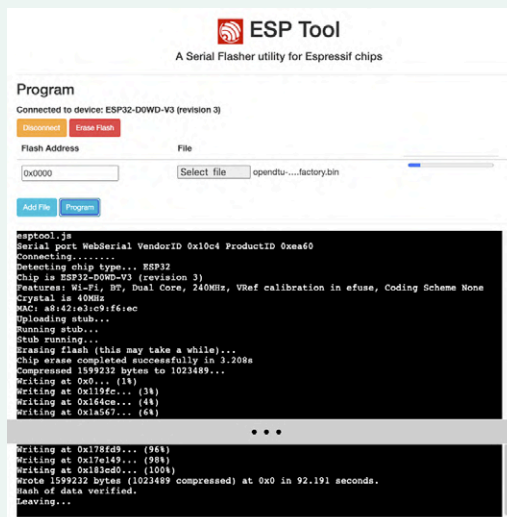
Dit bestand is het juiste voor de eerste flash, omdat het ook een bootloader bevat. Later kun je direct updaten via WiFi of OTA (over the air). Voordat je op **Program** klikt, moet het adres **0x0000** worden ingesteld als het **Flash Address**, zoals in de figuur. Wat er (hopelijk) gebeurt na een klik op **Program** is te zien in **figuur 16**: na anderhalve minuut is het programmeren van de ESP32 voltooid.

Na het herstarten van de ESP32 zou de lijst met beschikbare WLAN's er een moeten tonen met de SSID 'OpenDTU-*'. Het sterretje staat voor een reeks cijfers. De verbinding met dit netwerk werkt met het standaard wachtwoord 'openDTU42'. Als je nu <http://192.168.4.1> invoert in de adresbalk van de browser, verschijnt de DTU-website (**figuur 17**). Dit werkt ook met Safari.

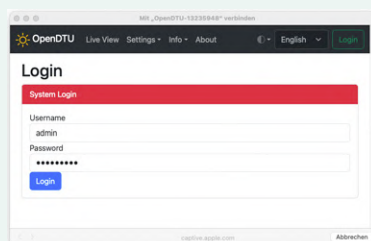
Je kunt nu inloggen als 'admin' met het wachtwoord 'openDTU42'. Het spreekt voor zich dat je dit zo snel mogelijk moet veranderen bij de instellingen. Zodra je bent ingelogd, kun je de nodige aanpassingen maken in het menu **Settings**. Overigens kan de taal van de website naast Engels ook worden gewijzigd in Duits of Frans. Eerst gaan we naar **Network Settings** (**figuur 18**). Hier voer je de SSID en het wachtwoord van je eigen WiFi-netwerk in, zodat de DTU bij de volgende start inlogt op je eigen netwerk en je het gemakkelijk kunt bereiken. Hiervoor moet je je eigen WiFi-router controleren om te zien welk IP-adres aan de DTU is toegewezen. De meeste routers staan dan toe dat de DTU altijd hetzelfde IP-adres krijgt toegewezen. Dit is handig omdat je zo een bladwijzer voor de DTU kunt maken. Verderop wordt de tijd in minuten gespecificeerd gedurende welke de DTU na het opstarten als toegangspunt fungeert en het WLAN van de SSID 'OpenDTU-*' voorziet.

Onder **NTP Settings** kun je een tijdserver opgeven en de breedte- en lengtegraad van de balkconcentrale [9] invoeren, zodat er 's nachts geen zinloze queries naar de omvormer plaatsvinden. In de instellingen van de omvormer moet je het serienummer invoeren en een naam toewijzen (**figuur 19**). Een omvormer kan alleen met dit nummer worden geadresseerd en geïdentificeerd. Aangezien het serienummer op de omvormer is aangebracht, moet het voor de installatie worden genoteerd of gefotografeerd. Je kunt ook meerdere omvormers opgeven. Als je op het potloodsymbool naast de omvormer klikt die je hebt ingevoerd, ga je naar een configuratiepagina waar je zaken zoals de nacht-uitschakeling van de DTU kunt activeren en namen en het vermogen van aangesloten zonnepanelen kunt invoeren.

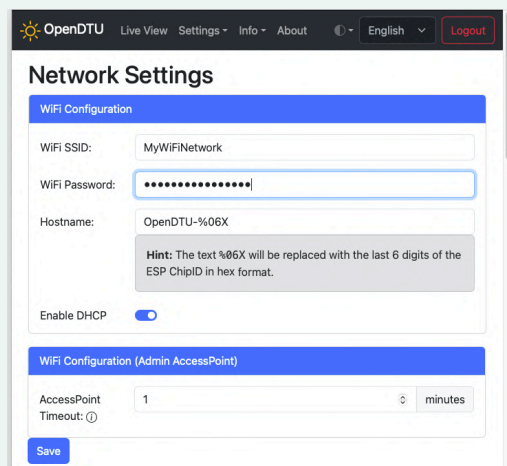
Tot slot is er de **Device Manager**. **Figuur 20** toont de configuratie van de pinnen en apparaten. Let op: die kunnen hier niet worden ingesteld, maar alleen als profiel bovenaan worden geselecteerd als er van tevoren een geschikt profiel is ingelezen. Een klik op **Display** leidt naar het venster met de vanzelfsprekende instellingen van **figuur 21**. Maar hoe kom je aan de benodigde profielen als je bijvoorbeeld een display wilt activeren?



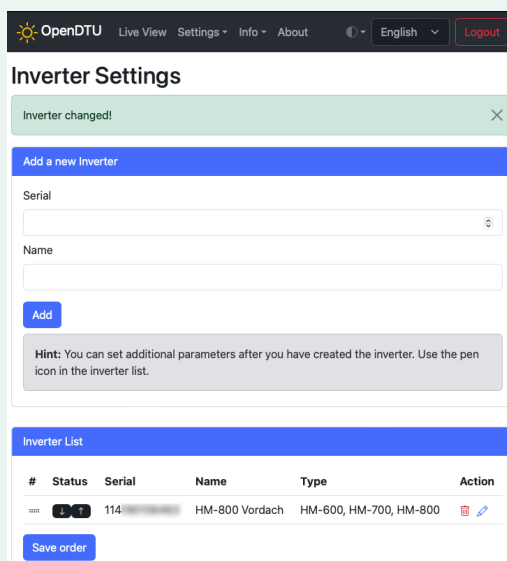
Figuur 16. Na anderhalve minuut is de firmware in de microcontroller geladen en start de DTU opnieuw op.



Figuur 17. Nadat je verbinding hebt gemaakt met het WiFi-netwerk van de DTU, kun je deze DTU-configuratiepagina bereiken op <http://192.168.4.1>, waar je moet inloggen.

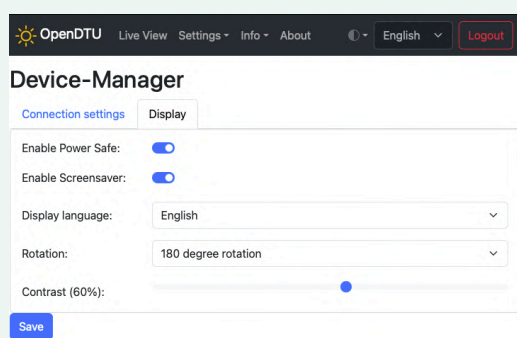
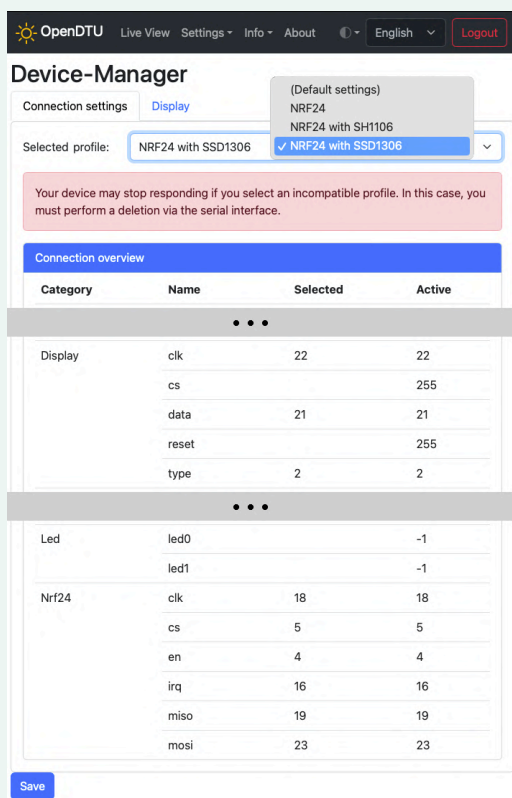


Figuur 18. Nu is het tijd om met de instellingen te beginnen. Voer eerst de SSID en het wachtwoord van je eigen WiFi-netwerk in.



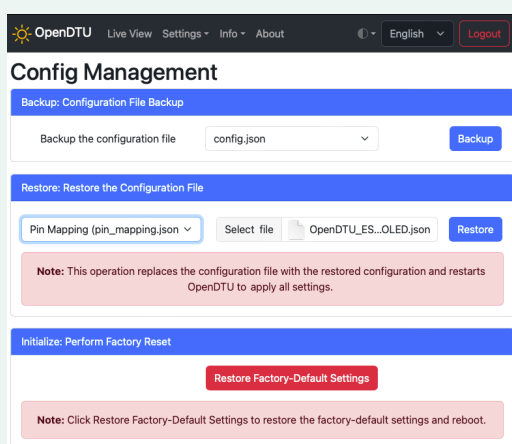
Figuur 19. Hier voert je het serienummer van je omvormer en de duur van de accesspoint-functie in en voeg je de gegevens van de aangesloten zonnepanelen toe via het potlood-symbooltje bij de betreffende omvormer.

Figuur 20. Met behulp van een bestand met profielen kan de toewijzing van de I/O-poorten aan aangesloten apparaten gespecificeerd worden. Hier zijn de radiomodule en het display van belang.



Figuur 21. Enkele instellingen voor het aangesloten display.

Figuur 22. Hier kun je de configuratie opslaan in een json-bestand en de pintoewijzing van figuur 20 opgeven met een geïmporteerd profielbestand. Bovendien kunnen alle instellingen hier worden teruggezet naar de 'delivery-state'.



Profielen zijn onder andere te vinden op de GitHub-pagina [10], vanwaar je er een kunt downloaden. Dit zijn eenvoudig bewerkbare json-bestanden. Een profiel *OpenDTU_ESP32_NRF24_OLED.json*, toegesneden op de nRF24L01+ radiomodule en OLED-displays – met de opties die zichtbaar zijn in figuur 20 – kan samen met de PCB-bestanden worden gedownload van de projectpagina bij dit artikel [6]. Je importeert het profielbestand via *Config Management* (figuur 22) door links in het midden naar de *Pin Mapping*-modus te gaan, het json-bestand met het gewenste profiel te selecteren en rechts ernaast op *Restore* te klikken. Daarna wordt de DTU opnieuw opgestart en kun je de beschreven selectie van het display enzovoort maken, zoals te zien in figuur 20. In figuur 23 zie je een prototype in zijn doorzichtige plastic behuizing. Deze DTU staat op de linkerluidspreker op mijn bureau, dicht bij de monitor. Dankzij het grote 2,42"-display ben ik altijd op de hoogte van de momentele zonnehoogte.

En verder

In de instellingen van OpenDTU kun je veel leuke kleine dingen configureren, zoals je snel zult ontdekken. Het systeem haalt de datum en tijd automatisch op via een NTP-server. Als dit niet werkt met de vooraf ingestelde server, kun je het IP-adres van je eigen router invoeren. Een ander leuk ding is dat je de configuratie kunt opslaan (zie figuur 20) zodat je een werkende versie hebt voor het geval je de configuratie verknooit.

Als je met het meetinstrument in *Live View* op de rode knop klikt, verschijnt er een venster waarin je tijdelijk (totdat de omvormer opnieuw wordt opgestart) of permanent (bijvoorbeeld als je een sterkere omvormer hebt dan de wet momenteel toestaat) een vermogensbegrenzing kunt instellen. **Figuur 24** toont mijn 800W-omvormer die is beperkt tot 75% = 600 W. Zodra de wettelijke situatie in Duitsland verandert (hopelijk dit jaar), zal ik die waarde instellen op 100%.

Bovendien is het met behulp van externe software (domoticsysteem of vergelijkbaar) en geschikte stroom-sensoren mogelijk om de opgewekte stroom automatisch bij te houden, zodat een zero feed-in (dat wil zeggen puur eigenverbruik) wordt bereikt.

OpenDTU kan de gegevens via MQTT naar een zogenaamde MQTT-broker sturen. Dergelijke oplossingen zijn beschikbaar in de cloud en lokaal (dat wil zeggen op kleine computers zoals een Raspberry Pi). Met de juiste tools kunnen de binnenkomende gegevens overal grafisch worden bekeken via het internet. Je bent dan niet afhankelijk van merkgebonden clouds en hebt volledige controle over je gegevens. De DTU zelf verbruikt ongeveer 70...110 mA zonder display bij 5 V en slechts iets meer met display. Dat is niet veel!

Ik heb ook de andere open-source oplossing – AhoyDTU – geprobeerd; ik kan niet zeggen welke ik beter vind. OpenDTU biedt meer informatie, maar is

niet zo eenvoudig te installeren en te configureren als AhoyDTU. Hoe je de laatstgenoemde software installeert, staat beschreven in een speciale uitgave van de Duitse Elektor over zonnetechnologie [11]. ◀

230500-03 (vertaling: Jelle aarnoudse)

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.



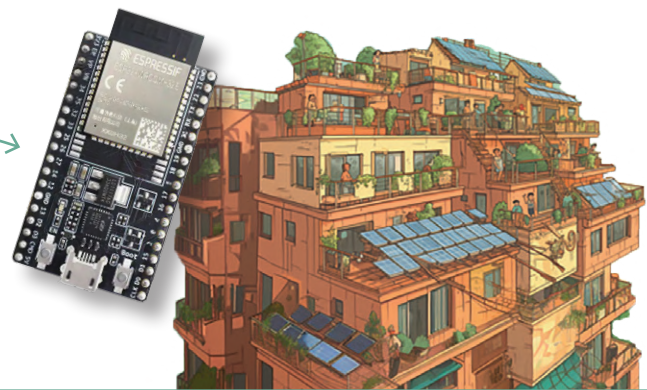
Over de auteur

Dr. Thomas Scherer liep aanvankelijk stage als technicus in de telecommunicatie-elektronica en werkte vervolgens vanaf 1980 voor de Elektor-redactie. Na zijn studie psychologie en enkele jaren fundamenteel onderzoek is hij al tientallen jaren freelance-auteur voor Elektor. Hij heeft een groot elektronica-laboratorium en is niet alleen in neuronen maar ook in elektronen geïnteresseerd – met andere woorden, in zo ongeveer alles wat met elektriciteit te maken heeft.



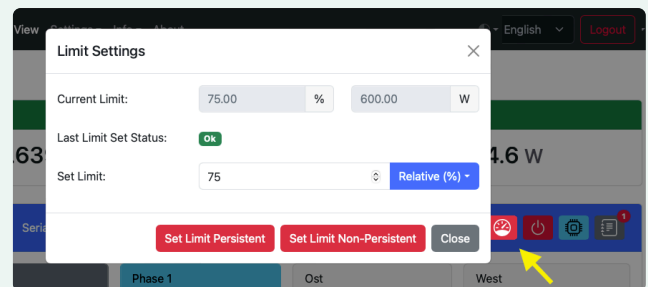
Gerelateerde producten

- Joy-IT NodeMCU ESP32 Development Board
www.elektor.nl/19973
- ESP32-DevKitC-32E
www.elektor.nl/20518



WEBLINKS

- [1] Thomas Scherer, "Zonnepanelen op je balkon", Elektor september/oktober 2021: <http://www.elektormagazine.nl/magazine/elektor-185/59907>
- [2] Mikrocontroller.net forum (Duitstalig): <https://mikrocontroller.net/topic/525778>
- [3] OpenDTU op GitHub: <https://github.com/tbnobody/OpenDTU>
- [4] AhoyDTU op Github: <https://github.com/lumapu/ahoy>
- [5] ESP32-boards van Espressif: <https://espressif.com/en/products/devkits/esp32-devkitc>
- [6] Projectpagina bij dit artikel: <https://elektormagazine.nl/230500-03>
- [7] Online-flasher voor ESP32: <https://espressif.github.io/esptool-js>
- [8] OpenDTU firmware-bestand: <https://github.com/tbnobody/OpenDTU/releases>
- [9] Coordinate finder: <https://latlong.net>
- [10] Apparaatprofielen: <https://tinyurl.com/opendtugithub>
- [11] Elektor-speciaaluitgave Solartechnik (Duitstalig): <https://elektor.de/20596>





Regelbare lineaire labvoeding

0...50 V / 0...2 A + dubbele symmetrische voeding

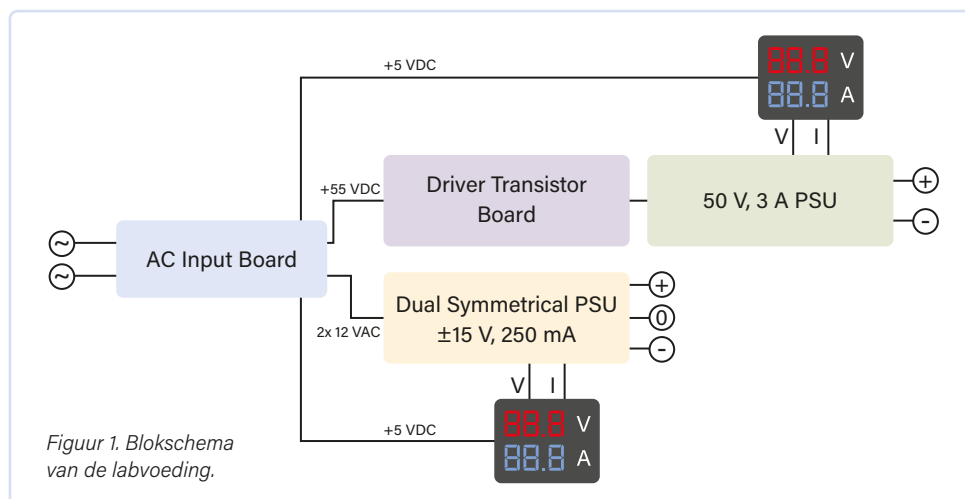
Steve Griffin (Verenigd Koninkrijk)

Toen bij het openmaken van een 40 jaar oude DHZ-voeding bleek dat de constructie niet voldeed aan de huidige bouwnormen van de auteur, besloot hij helemaal opnieuw te beginnen. Hij gebruikte moderne onderdelen en minimaliseerde de bedrading om tot het vernieuwde ontwerp te komen dat hier wordt gepresenteerd.

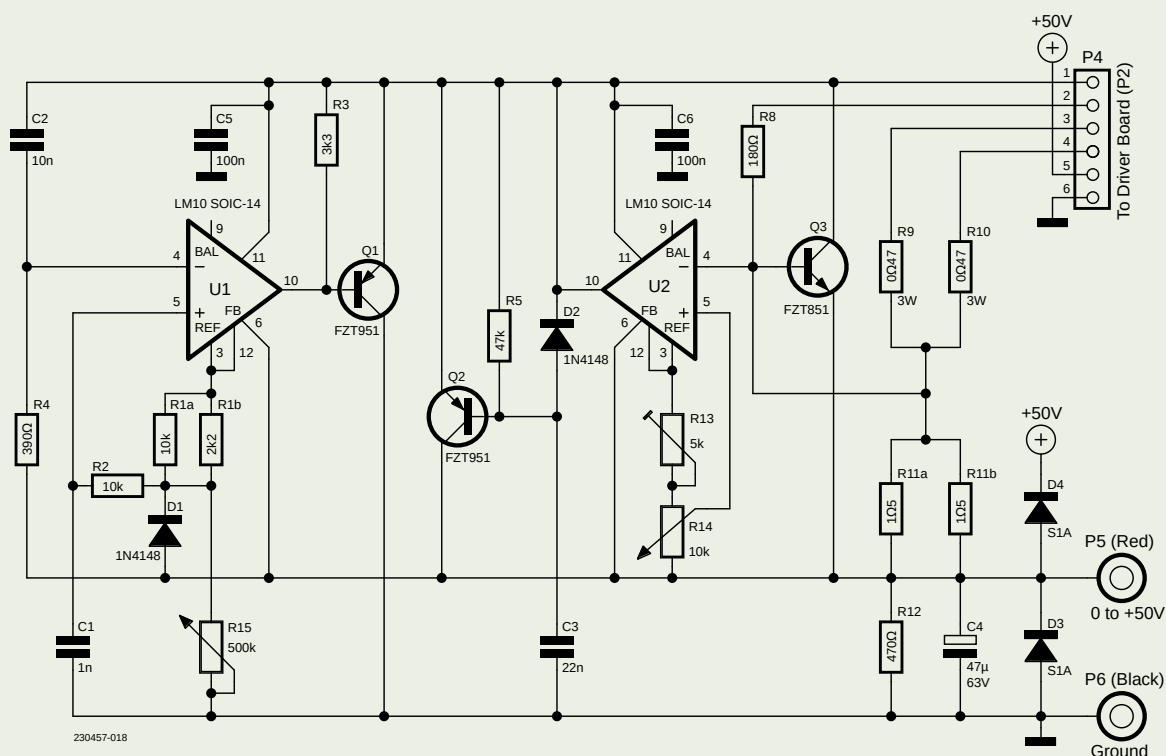
In 1980 kwam ik in de Elektor Halfgeleidergids precies tegen wat ik zocht: een fatsoenlijke voeding voor mijn elektronicalab [1]. Het zou mijn eerste grote project worden (dat wil zeggen een project met een kast eromheen). In combinatie met een eenvoudige symmetrische low-power voeding voor opamps, zou aan al mijn stroombehoeften worden voldaan in één enkele behuizing. Na een paar weken printen maken, toevoeging van een draaispoelmeter, bouwen en bedraden was het klaar. Het werkte als een droom en bleef dat meer dan 40 jaar doen.

40 jaar later...

Snel vooruit naar het heden. De opschriften op mijn trouwe voeding bestonden uit afwrijffletters, die met de jaren waren weggesleten. Daarom besloot ik dat een facelift geen kwaad zou kunnen. Dus verwijderde ik het frontpaneel om te beginnen aan een nieuw, strak computerondersteund ontwerp. Toen ik echter het inwendige onder ogen kreeg, schrok ik van wat ik zag. "Had ik dat echt zo gebouwd?" Dat kon toch eigenlijk niet meer, en zo ontstond het idee om het helemaal opnieuw te bouwen – maar dan met moderne componenten, dat wil zeggen SMD-componenten en moderne connectoren. Het blokschema van mijn nieuwe voeding zie je in **figuur 1**. Laten we beginnen met de PSU.



Figuur 1. Blokschema van de labvoeding.



Figuur 2. De 50V-regelschakeling. De waarden van R1A en R1B zijn proefondervindelijk bepaald aan de hand van de door mij gebruikte componenten. Deze stellen de maximale uitgangsspanning in op 50 V, waarbij nominaal een stroom van 100 μ A loopt als P1 (positie maximaal) precies 500 k Ω is.

Vernieuwen van de 0...50V-PSU

Een van de belangrijkste overwegingen was om de bedrading te minimaliseren. Dit leidde tot een ontwerp in drie delen: de hoofdregelprint, de driver-transistorprint en de vermogenstransistor met koellichaam. Deze werden allemaal aangesloten met nette bedrading en meerpolige connectoren.

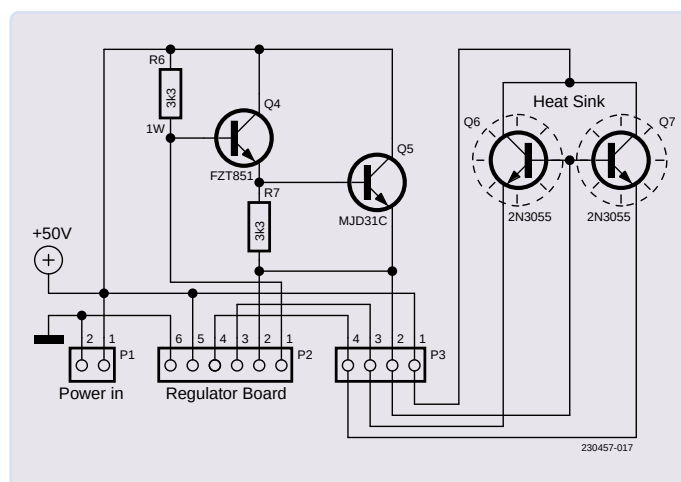
Natuurlijk had ik voor een redelijk bedrag een nieuwe, betrouwbare schakelende voeding (SMPSU) kunnen kopen, dus waarom zou ik de moeite nemen? Het antwoord is eenvoudig: elektronica is al mijn hele leven mijn hobby en het maken van nuttige elektronische apparaten is iets wat ik altijd erg leuk vind.



Dit ontwerp vereist het gebruik van nettransformatoren. Mensen die geen ervaring hebben met netspanning moeten dit project niet proberen of iemand met ervaring vragen die kan helpen met dit deel van het project!

Het nieuwe ontwerp

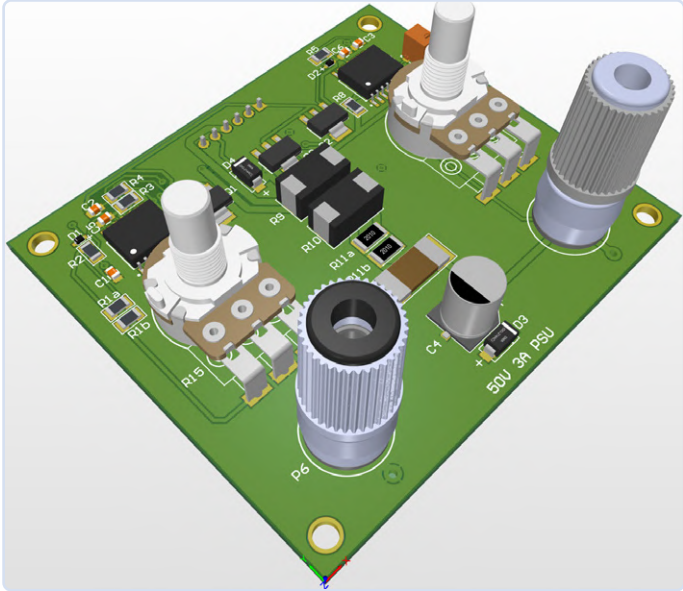
De nieuwe schakeling (figuur 2 toont de regelprint en figuur 3 de driverprint) volgt trouw het oorspronkelijke ontwerp uit 1980 – tot en met de nummering van de componenten. Een duidelijk verschil was het gebruik van SMD's. Dit veroorzaakte een probleem, aangezien de meeste halfgeleiders die in het oorspronkelijke project werden gebruikt, niet in SMD-uitvoering werden geproduceerd, waardoor er naar equivalenten moest worden gezocht. De enige componenten die de update overleefden waren de transformator, de bufferrcondensator, de vertrouwde 2N3055-eindtransistoren en de behuizing.



Figuur 3. De print met de drivertransistoren inclusief die op het koellichaam. Q6 en Q7 zijn voor de duidelijkheid 'in-circuit' getekend, maar worden in werkelijkheid aangesloten via P3. Q5 heeft een klein koellichaam nodig. Een 5°C/W opsteektype zou voldoende moeten zijn. Q6 en Q7 moeten met isolatiemateriaal op een groot koellichaam worden gemonteerd.

De potmeters

Wat het gebruik van de schakeling betreft, is het belangrijk om te weten dat potmeter R14 de uitgangsstroom regelt en potmeter R15 de uitgangsspanning. Beide schakelingen moeten voor gebruik worden afgeregeld. In het geval van R14 moet preset R13 worden ingesteld om de maximale uitgangsstroom te beperken. In het geval van R15 besloot de oorspronkelijke auteur vaste weerstanden te gebruiken om de maximale uitgangsspanning in te stellen op 50 V (daartoe moet de stroom door R15 worden ingesteld op 100 μ A).



Figuur 4. Een 3D-weergave van de 50V-regelprint.

De oorspronkelijke schakeling is niet gewijzigd, behalve dat SMD-componenten zijn gebruikt en ontkoppelcondensatoren voor U1 en U2 zijn toegevoegd. Een andere variatie is het opsplitsen van R11 in twee separate weerstanden om de warmte beter af te voeren en om meer mogelijkheden te bieden voor de snelle stroombegrenzende terugkoppeling rond Q3.

Het oorspronkelijke artikel [1] en de application notes van National Semiconductor voor de LM10-opamp geven gedetailleerde achtergrondinformatie over de werking van de schakeling, indien je daar prijs op stelt.

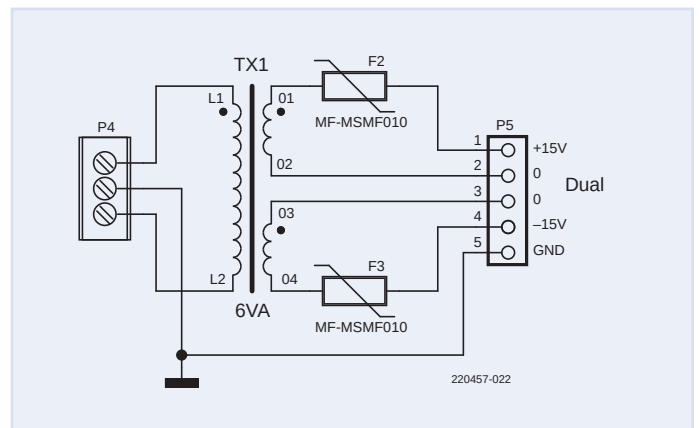
Bedrading reduceren

Een wijziging ten opzichte van het oorspronkelijke ontwerp is de montage van de potmeters direct op de regelprint – zie **figuur 4**. Dit maakt vijf draadverbindingen overbodig en biedt betere ondersteuning voor de print. Het grootste verschil zit in de plaatsing van de driver-transistoren op een aparte print. Desondanks vermindert dit het aantal draden in de behuizing. Dat komt omdat ik de driverprint

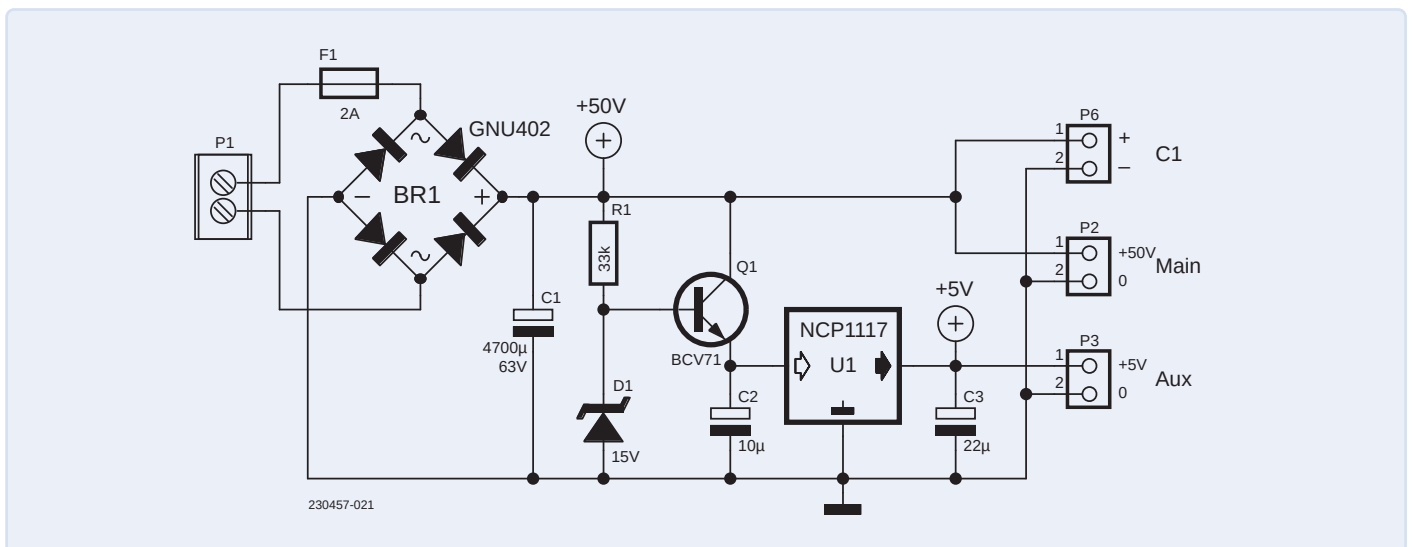
en de vermogenstransistoren samen op het achterpaneel heb gemonteerd, waarbij P4 de enige bedrading naar de regelprint nodig maakt. Vermeldenswaard is ook is dat deze connector aan de achterkant van de hoofdprint is gemonteerd voor montage op het voorpaneel. Dit kan echter worden omgekeerd als de print horizontaal moet worden gemonteerd.

De AC-ingangsprint

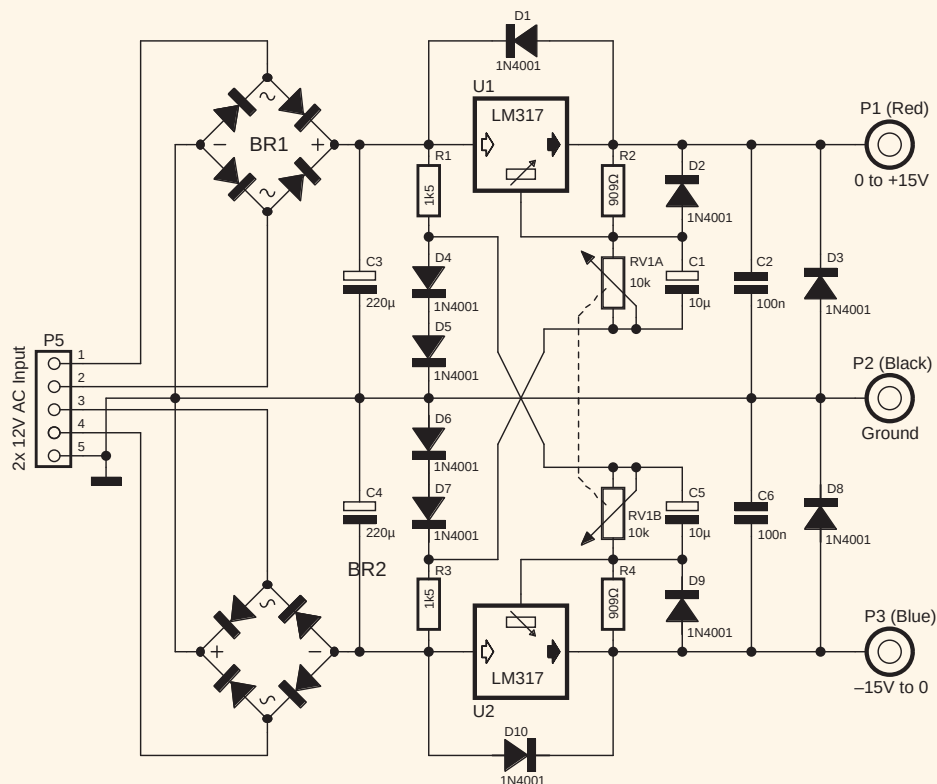
Deze print bevat alleen de zekering en de gelijkrichting voor de 50V-voeding, plus een handige aansluiting voor de op het chassis gemonteerde condensator C1 (**figuur 5**). Voor de dubbele voeding (zie verderop) verzorgt deze print de net-aansluiting (**figuur 6**) voor de dubbele 12V-voedingstransformator, die niet op de print is gemonteerd. Dit laat enige flexibiliteit toe in de keuze van deze component; een print-gemonteerde transformator moet immers precies passen. F2 en F3 zijn resetbare 100mA-zekeringen. Elke wikkeling wordt vervolgens rechtstreeks op de regelprint aangesloten via connector P5.



Figuur 6. De gezeekerde AC-voeding voor de dubbele variabele voeding is ook gemonteerd op de AC-ingangsprint.



Figuur 5. Deze schakeling, gemonteerd op de AC-ingangsprint, voedt de regelaar en levert de hulpspanning van 5 V voor de paneelmeters. C1 is te groot voor de print en is daarom op het chassis gemonteerd, aangesloten via P6.



Figuur 7. De dubbele regelbare voeding. Voor grotere positieve stromen kan U1 worden vervangen door een LT1085/4/3 met koellichaam. Voor grotere negatieve stromen kan U2 worden vervangen door een LT1033 met koellichaam.

Ik heb een aantal veranderingen ten opzichte van het originele ontwerp doorgevoerd. De belangrijkste ingangskomponenten zijn allemaal op het chassis gemonteerd. De nettransformator die ik heb gebruikt, heeft twee secundaire 20V-wikkelingen, die ik in serie heb geschakeld om 40 V_{RMS} te verkrijgen. Dit levert na gelijkrichting en afvlakking 56 V op. Het oorspronkelijke ontwerp specificeerde een vermogen van 80...100 VA, maar ik koos voor een 120VA-versie die maximaal 3 A levert, omdat dit nog steeds ruim binnen de limieten voor de uitgangstransistoren ligt.

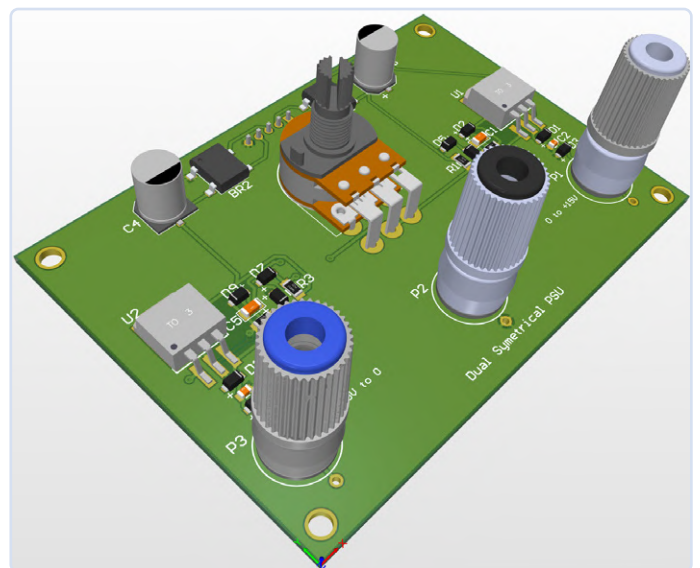
Transformatoren voor chassismontage zijn duur, dus bepaal de maximale stroom die je nodig hebt voordat je er een koopt. De transformator voedt als eerste BR1, een 4A-bruggelijkrichter met een doorlaatspanning van 1 V, waarna er 55 V beschikbaar is voor C1, een elco van 4700 µF/63 V. Deze component is ook duur. Een werkspanning van 63 V is prima, mits de RMS-uitgangsspanning van de transformator niet hoger is dan 40 V_{RMS}!

Eenvoudige dubbele symmetrische voeding

Deze schakeling is snel gebouwd en bestaat uit gemakkelijk verkrijgbare SMD-componenten. Het ontwerp van de schakeling is grotendeels overgenomen uit de application note van de fabrikant, met een paar toevoegingen. De uitgang levert een spanning van 0 tot ±15 V (dual tracking) met een maximale uitgangsstroom van 250 mA, hoewel beide waarden indien nodig gemakkelijk kunnen worden opgevoerd. Maar voor mijn doeleinden is een flexibele low-power unit precies wat ik nodig heb om bijvoorbeeld opamps te voeden.

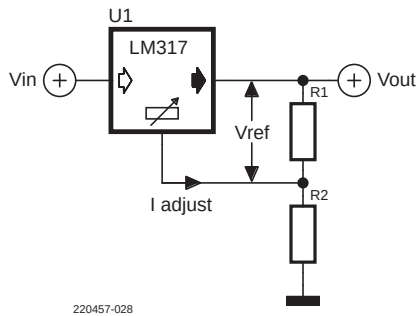
Zoals je ziet is het schema (figuur 7) eenvoudig en gebaseerd op twee instelbare lineaire spanningsregelaars, een positieve LM317 en een negatieve LM337, beide regelbaar met een dubbele potmeter. De schakeling bevat beveiligingsdiodes tegen spanningspieken en

minimaliseert ook de invloed van de 1,25V-referentiespanning voor de regelaars. Normaal gesproken kan bij dit soort schakelingen de uitgangsspanning niet helemaal tot nul worden teruggeregeld, maar door gebruik te maken van de doorlaatspanning van twee diodes in zowel de positieve als de negatieve instelschakelingen is dit probleem grotendeels ondervangen. Om de uiteindelijke bouw te vereenvoudigen, zijn de potmeter- en stroomuitgangsbussen ook gebruikt om de print op het frontpaneel te monteren (figuur 8). Hierbij is de connector aan de achterkant van de print gemonteerd.



Figuur 8. 3D-weergave van de dubbele variabele voeding.

Berekeningen



In dit ontwerp werd de maximaal haalbare uitgangsspanning berekend met:

$$V_{out} = V_{ref} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

waarin (dit geldt voor beide uitgangen):

V_{out} = gewenste uitgangsspanning (15 V)

V_{ref} = 1,25 V

R_1 = weerstandswaarde die moet worden bepaald (weerstand R_2 en R_4 in de schakeling)

R_2 = maximale weerstandswaarde van de potentiometer (RV1 = 10 kΩ in de schakeling)

De formule moet worden herschreven om R_1 te vinden.

$$R_1 = \frac{R_2}{\frac{V_{out}}{V_{ref}} - 1} \therefore R_1 = \frac{10 \text{ k}}{\frac{15}{1.25} - 1} = 909 \Omega$$

In de praktijk is een exacte maximumwaarde niet zo belangrijk, maar als je nauwkeurigheid op prijs stelt, dan zul je de maximale weerstandswaarde van de potmeters moeten meten voordat je met de berekeningen begint.

Beschrijving van de dubbele voedingsschakeling

Deze print heeft slechts twee ingangsspanningen van 12 V_{RMS} nodig, omdat de bruggelijkrichters en buffercondensatoren op de print zitten. De condensatoren moeten minstens 1,5 x de topspanning van de transformator verdragen, dus $1,41 \times 12 \text{ V} \times 1,5 = 25 \text{ V}$.

Dan komen de lineaire regelaars. Zie voor de gedetailleerde werking van de regelaars de application notes van de fabrikant. Ik heb mijn berekeningen opgenomen in het kader **Berekeningen**.

Bij het bepalen van de waarden voor de laagste uitgangsspanningen moet je bedenken dat de doorlaatspanning van diodes afhankelijk is van de junctietemperatuur en de stroom die er doorheen gaat. Ik heb na het raadplegen van de V/I-karakteristieken in de diode-datasheet voor R_1 en R_3 1,5kΩ-weerstanden gebruikt. In de application note van de regelaar staat nog een andere oplossing voor dit probleem, maar ik ontdekte dat deze methode de maximale uitgangsspanning beïnvloedde.

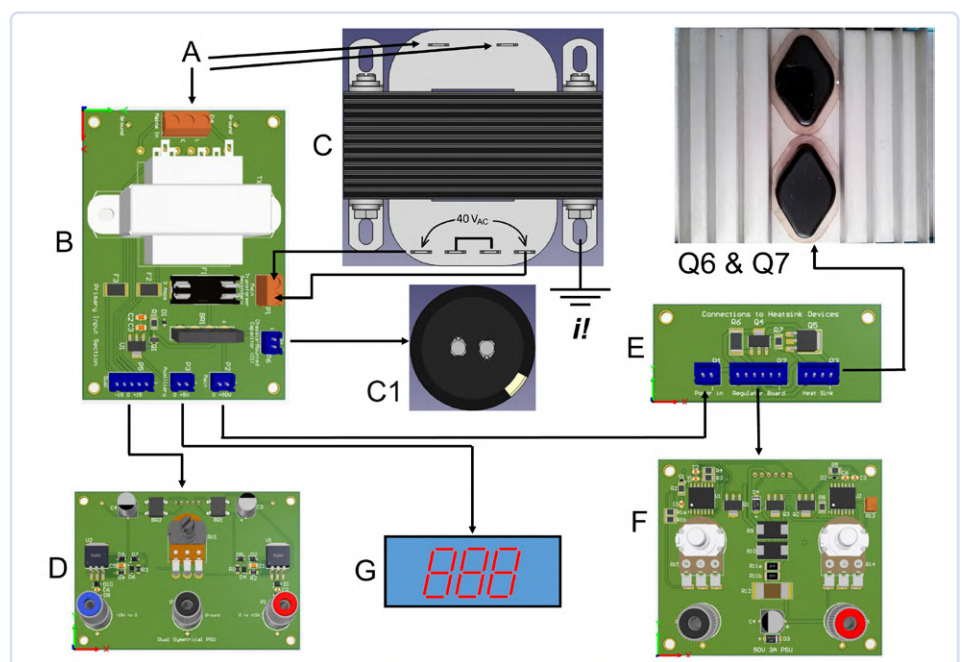
Hogere uitgangsspanningen

Deze schakeling kan worden gebruikt als stand-alone labvoeding met niet meer dan een transformator met dubbele uitgangswikkeling. De genoemde regelaars zijn geschikt voor maximaal 1,5 A en een maximale ingangsspanning van 37 V bij voldoende koeling, maar als je nog hogere uitgangsspanningen nodig hebt dan dit ontwerp levert, moeten transformator, condensator en regelaars navenant worden aangepast. Er zijn pincompatibele low-dropout regelaars met hogere waarden leverbaar, zoals de LM1084 en LM1085, die tot 5 A kunnen leveren. Let bij deze aanpassingen ook op de belastbaarheid van de andere componenten.

Uitlezing

Ik heb eenvoudige volt-/ampère-meetmodules gebruikt om de positieve uitgangen van beide regelaars te controleren; deze zijn voor weinig geld op het internet te koop. De print heeft extra uitgangen voor eventuele

Figuur 9. De bedrading van het systeem. 'A' is de AC-netingang via de paneelzekering. 'B' is de AC-ingangsprint. Nettransformator 'C' moet 40 V_{RMS} leveren. 'C1' is condensator C1 uit figuur 4. 'D' is de dubbele variabele voedingsprint. 'E' is de print met de drivertransistoren. Vermogenstransistoren Q6 en Q7 zijn gemonteerd op een gemeenschappelijk koellichaam met behulp van TO-3 isolatiemateriaal. Print 'F' is de 50 V variabele voeding. Print 'G' tenslotte is de paneelmeter. 'I!' betekent dat alle aanraakbare metalen delen met massa moeten worden verbonden.





Figuur 10. De labvoeding in volle glorie, klaar voor de komende 40 jaar.



stroommeetshunts aan te sluiten vóór de 4mm-banaanstekerbussen. Als je zo'n shunt wilt toevoegen, moet je de uitgangsbussen van de print geïsoleerd worden. Hiervoor kan TO3-isolatiemateriaal worden gebruikt, maar isolatiekous en plastic sluitringen volstaan ook.

5V-hulpvoeding

De 5V-hulpvoeding voor de meetmodules wordt gebruikt, zit op de AC-ingangsprint (zie figuur 5). De ingangsspanning voor de gebruikte 5 V low-dropout regelaar moet eerst worden verlaagd tot onder de maximaal toegestane waarde. Dit doen we met een zenerdiode (D1) die de basis van een losse NPN-transistor (Q1) vastklemt op ongeveer 15 V. Hierdoor krijgt de regelaar (U1) een veilige ingangsspanning van ongeveer 14,3 V, afkomstig van de 50...55V-voedingsrail.

Samenbouw

De complete voeding bestaat uit vier printen, een dikke condensator (C1), een nettransformator, een koellichaam met Q6 en Q7 en twee paneelmeters. **Figuur 9** laat zien hoe dit alles moet worden aangesloten. Ik heb alles ondergebracht in een geschikte metalen behuizing. Het resultaat is best bevredigend, zoals **figuur 10** bewijst.

Panelizing van de printen

Een laatste ontwerpkenmerk dat het vermelden waard is, heeft te maken met de productie van de printen. Om kosten te besparen zijn ze zo ontworpen dat ze paarsgewijs worden vervaardigd (panelizing). Hiervoor moet een zogenaamde V-score (breukgroef) tussen de printen worden aangebracht.

Alle ontwerpbestanden en de volledige onderdelenlijst voor dit project zijn te vinden op [2]. 

vertaling: Jelle Aarnoudse — 220457-03

Vragen of opmerkingen?

Hebt u technische vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar de auteur ia.steve@totalfive.co.uk of naar de redactie van Elektor via redactie@elektor.com.



Over de auteur

Steve Griffin heeft zijn leven lang elektronica als hobby gehad. Hij heeft gewerkt in de elektronica-reparatie, heeft lesgegeven in elektrotechniek en heeft uiteindelijk als senior elektrotechnicus aan de Universiteit van Warwick in het Verenigd Koninkrijk gewerkt, waar hij zich de laatste tijd heeft beziggehouden met hooggevoelige sensoren, halfgeleiders heeft onderzocht en zelfs betrokken was bij de bouw van schakelingen voor het snel opladen van high-voltage accu's (om maar een paar dingen te noemen). Steve Griffin ontwerpt regelmatig originele schakelingen en printen. Zijn jongste interesse is 3D-ontwerp en -printen.



Gerelateerde producten

> **Miniware MDP-XP Digital Power Supply Set (MDP-M01+ MDP-P906)**
www.elektor.nl/20458

> **Joy-IT DPM8605 Programmable Power Supply (0-60 V, 0-5 A)**
www.elektor.nl/19385

WEBLINKS

[1] "Labvoeding 0 - 50 V/0 - 2A", Elektuur Halfgeleidergids 1980: <http://www.elektormagazine.nl/magazine/elektor-197999/42782>

[2] Dit project op Elektor Labs: <https://elektormagazine.com/labs/bench-power-supply-ensemble>

[3] Deel 1 op Elektor Labs: <https://elektormagazine.com/labs/variable-0-50v-2a-supply-refresh>

[4] Deel 2 op Elektor Labs: <https://elektormagazine.com/labs/simple-dual-voltage-bench-power-supply>

Energieopslag – vandaag en morgen

Vragen gesteld door C. J. Abate (Elektor)

Innovaties in energieopslag-technologieën zullen een revolutie teweegbrengen in de manier waarop we energie benutten en opslaan voor een duurzame toekomst. Dr. Simon Engelke (oprichter en voorzitter van Battery Associates) deelt zijn inzichten over onderwerpen zoals veelbelovende opslagoplossingen, recycling van Li-ion-accu's en meer.

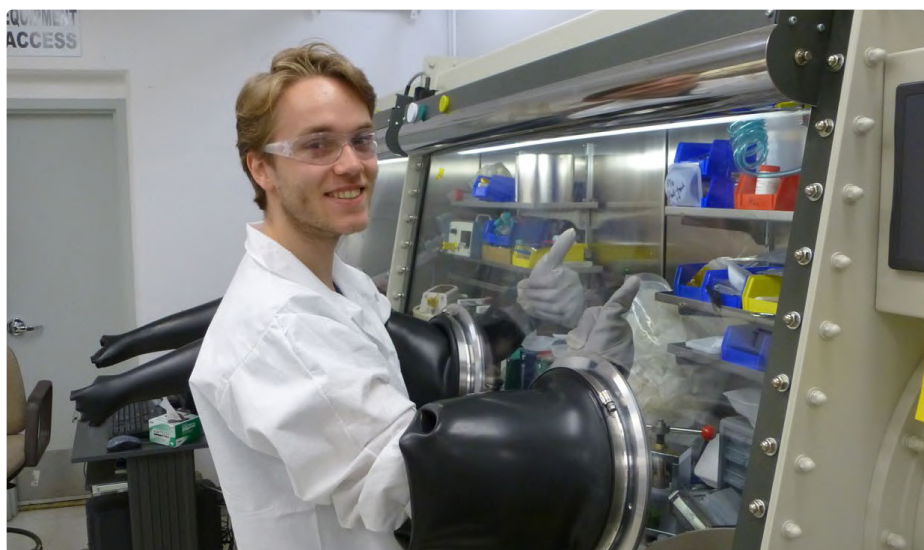
C. J. Abate: Laten we, voordat we het hebben over uw academisch onderzoek en uw werk bij Battery Associates, beginnen met hoe u voor het eerst geïnteresseerd raakte in energieopslag en batterijtechnologieën. Zetten deze onderwerpen u bijvoorbeeld al aan het denken tijdens uw jeugd, of raakte u er voor het eerst in geïnteresseerd tijdens uw tijd aan de Universiteit van Maastricht?

Simon Engelke: Op de middelbare school dacht ik na over wat tijdens ons leven de belangrijkste kwesties waren voor mijn generatie. De twee onderwerpen waar ik steeds op terugkwam waren ten eerste pandemieën en de ontwikkeling van vaccins, en ten tweede klimaatverandering en energieopslag. Ik begon eigenlijk met het onderwerp pandemieën en vaccins. Ik had het geluk dat ik aan het eind van de

middelbare school voor mijn scriptie naar de National Institutes of Health (NIH) in de VS kon gaan. Ik heb daar ook een aantal geweldige inzichten opgedaan, maar ik besloot me te richten op klimaatverandering, omdat ik het gevoel had dat ik daar een grotere invloed kon hebben en omdat het ook een combinatie was van mijn favoriete onderwerpen op de middelbare school – scheikunde en natuurkunde. Daarom ben ik begonnen met mijn studie vrije kunsten ('liberal arts') en wetenschappen aan de Universiteit Maastricht, waar ik scheikunde en natuurkunde kon combineren met wiskunde en programmeren. In die tijd kreeg ik de kans om terug te gaan naar de VS, naar UC Berkeley en het Lawrence Berkeley National Laboratory voor een uitwisselingsprogramma van een jaar, waar ik voor mijn afstudeeronderzoek kon doen naar natrium-ion-accu's en automatisering van accu-onderzoek. Hiermee werd mijn route naar energieopslag en accu's volledig bepaald.

C. J. Abate: U hebt een paar maanden in de Verenigde Staten doorgebracht bij Google en, zoals u al zei, bij het Lawrence Berkeley National Laboratory. Kunt u wat meer vertellen over deze twee ervaringen?

Simon Engelke: Dat was werkelijk een openbaring. Ik heb daar meer praktijkgericht onderzoek kunnen doen (**figuur 1**), vooral op het gebied van accu's. Het was echt fascinerend om de geschiedenis te leren kennen van al het andere geweldige onderzoek dat daar in het verleden is gedaan, onder andere door een aantal Nobelprijswinnaars. Er zijn een paar dingen die ik daar heb kunnen doen. Het was ook heel inzichtelijk om te leren over het Amerikaanse systeem van studeren 'van negen tot vijf' en verschillende andere elementen die



Figuur 1. Praktijkgericht onderzoek!



Figuur 2. Dr. Engelke richtte zich in Cambridge voornamelijk op accu-onderzoek.



Figuur 3. Lezing op het World Economic Forum.

we vandaag de dag inzetten in ons onderwijswerk bij Battery Associates. Ik kreeg een beurs van Google om aan een aantal interessante projecten te werken terwijl ik daar was. Ik heb samengewerkt met onderzoekers van Berkeley en MIT, waarbij ik heb gekeken naar zoekmachines voor accu-onderzoek, geautomatiseerd data-onderzoek en robotica.

C. J. Abate: Wat bracht u na uw afstuderen aan de Universiteit Maastricht in 2014 naar de Universiteit van Cambridge in plaats van naar de industrie? Wat was uw interesse?

Simon Engelke: Ik heb daar eigenlijk een tijdje over nagedacht: “Wat is de beste volgende stap?” Ik onderzocht de achtergronden van het senior management en van ondernemers in de accu-industrie en voelde dat een PhD me echt zou helpen, vooral op jonge leeftijd, om meer geloofwaardigheid te hebben bij mijn eerste stappen in de accu-wereld.. Dat is wat me naar de Universiteit van Cambridge bracht, waar ik me richtte op accu-onderzoek; ik werd een fellow bij het World Economic Forum (WEF). Mijn PhD (**figuur 2**) leverde me praktijkervaring in het lab, terwijl het werk bij het WEF me inzicht in de markt, ervaring in de industrie en bekendheid met beleidsvorming gaf.

Ik ben al geruime tijd ondernemer. Op mijn 16e startte ik verschillende projecten in mijn woonplaats Berlijn. Terugkijkend op de brieven die ik destijds schreef voor beurzen, was ik erg gericht op een ondernemers-traject met de onderwerpen waar ik om gaf. Zelfs als ik faalde, kreeg ik meer ervaring, een groter netwerk en meer geloofwaardigheid, wat altijd van pas komt.

C. J. Abate: Wat is Battery Associates en waarom hebt u het opgericht?

Simon Engelke: Battery Associates is een kennispartner op het gebied van accu's.

Onze missie is om een duurzame wereld te creëren door de kracht van mensen en accu-innovatie. Wij bieden training (BatteryEDU), consulting (BatteryPRO) en innovatie (BatteryLAB) services aan. Voor training is ons vlaggenschip de BatteryMBA, waar we accu-leiders uit meer dan 40 landen opleiden. In onze consultingtak helpen we organisaties met hun uitdagingen op het gebied van accu's en met ons innovatieplatform ontwikkelen we tools.

Ik had het gevoel dat de industrie een unieke speler met een andere aanpak nodig had. Een impactgericht bedrijf dat de knowhow combineert met het samenbrengen van mensen en het opbouwen van een community, dat diversiteit in de accusector stimuleert en dat profiteert van het wereldwijde karakter van de industrie met werknemers op afstand. Ik geloof echt dat de accu-industrie een van de meest cruciale industrieën ter wereld zal worden. Accu's zijn nodig om de klimaatverandering tegen te gaan en mobiliteit en energie koolstofvrij te maken. Ik spreek hierover op relevante evenementen en organisaties zoals IAA Mobility (**figuur 3**) en het World Economic Forum (**figuur 4**). Ik geloof dat Battery Associates hier een belangrijke rol kan spelen. De aanpak van ons bedrijf is om te stimuleren en in de loop van de tijd organisch te groeien om een duurzame, betrouwbare partner en impactgedreven organisatie in de accuwereeld te worden.

C. J. Abate: De Battery Cyclor is een oplossing voor engineers, onderzoekers en academici die op zoek zijn naar een modulaire accutester. Vertel ons eens wat over de belangrijkste kenmerken van het ontwerp.

Simon Engelke: Het doel is om een echt onderzoeksinstrument te bieden waarmee mensen efficiënte accutests kunnen uitvoeren (**figuur 5**). We beginnen met een eenvoudigere versie voor één cel, die

is ontwikkeld voor accu-liefhebbers, voor training, voor de academische wereld en voor start-ups in een vroeg stadium. Met de huidige versie is het mogelijk om eenvoudige accutests uit te voeren, maar we ontwikkelen momenteel extra sensoren die ook kunnen worden aangesloten. We zijn van plan om de functies te blijven verbeteren en in de loop van de tijd een robuuster product te bouwen, rekening houdend met de vraag van klanten. Op dit moment ligt de focus op de ontwikkeling van de cyclor zelf en we hebben het idee om in de toekomst meer open-source bronnen aan te bieden die verbonden zijn met de cyclor. We willen dit ook in nauwe samenwerking met de community doen. We geloven in een tool die modulair en kosteneffectief is en werkelijk gericht op specifieke gebruikssituaties.

C. J. Abate: Kan de Battery Cyclor nog steeds voorbesteld worden? En wat kost hij?

Simon Engelke: Voorbestelling is mogelijk; hij kost € 250. Bestellingen kunnen via onze productpagina [1] worden doorgegeven.

C. J. Abate: Wat is de meest opmerkelijke verandering in de industrie sinds 2015, toen u begon met uw PhD in Cambridge?

Simon Engelke: Ik denk gewoon de populariteit van accu's en hun industrie. Toen ik begon, was het onderwerp nog



Figuur 4. De Battery Cyclor is eenvoudig, slim en betaalbaar en maakt het mogelijk om gegevens te delen met de accutest-community.

niet zo populair, maar mensen letten er nu echt op. Elk jaar zie ik dat de groei van de industrie wordt onderschat. Er is wereldwijde groei in mobiliteit en we zien ook een aanzienlijke groei in stationaire opslag. Als het gaat om het faciliteren van nieuwe toepassingen, zien we dat er meer robots komen. En natuurlijk de ontwikkeling van AI. Er zijn veel opwindende resources en mogelijkheden die dit met zich meebrengt, zoals het eenvoudiger verwerken van gegevens. Er zijn ook spannende chemische veranderingen aan de accuzijde, zoals natrium-ion- en lithium-ijzerfosfaat-accu's (LFP), die opwindende ontwikkelingen hebben doorgemaakt en nieuwe toepassingen mogelijk maken.

C. J. Abate: Wat is volgens u de grootste uitdaging waar de accuproducerende industrie momenteel voor staat?

Simon Engelke: Ik denk dat er op dit moment eigenlijk drie grote uitdagingen zijn: beschikbaarheid van materiaal, talent (talent om met accu's te werken, onderzoek

te doen en accu's te produceren) en opschaaling (aankondigingen omzetten in groot-schalige, betrouwbare productie).

C.J. Abate: Het recyclen van Li-ion-accu's is een interessant onderwerp voor veel leden van de Elektor-community. Wat zijn de belangrijkste uitdagingen? Waar liggen kansen voor verbetering?

Simon Engelke: Ik denk dat er hier enkele zeer interessante ontwikkelingen gaande zijn. Aan de Europese kant werken we aan de nieuwe EU-accuverordening, die nieuwe recyclingvereisten bevat, waaronder het gebruik van gerecyclede accumaterialen in nieuwe accu's. Dit vereist gerecyclede materialen van industriële kwaliteit, wat de mogelijkheid biedt om een echte circulaire economie voor accu's te creëren. Naast regio's als Europa hoop ik dat meer landen gerecyclede materialen gaan zien als een hulpbron in plaats van een verplichting.

C. J. Abate: Laten we een jaar of twee vooruitkijken. Welke technologieën voor energieopslag zijn volgens u het meest veelbelovend?

Simon Engelke: Er zijn belangrijke gebieden waar we het komende jaar of de komende twee jaar naar moeten kijken: extra opslagmedia (bijvoorbeeld voor langdurige opslag) en veranderingen in de chemische samenstelling van accu's. Lithium-ion accu's zullen belangrijk blijven, vooral voor kleinere apparaten. We zullen LFP waarschijnlijk zien als een veelgebruikte optie voor mobiele en stationaire toepassingen. Er is veel discussie over ontwikkelingen op het gebied van natrium-ion accu's, dus het zal interessant zijn om te zien hoe zich dit ontwikkelt en binnen welke tijd.

C. J. Abate: Tot slot, hebt u nog advies voor een getalenteerde student die erover denkt om zijn of haar carrière te richten op energie en accu's?

Simon Engelke: Dat is een goede vraag. Als ze op zoek zijn naar online resources, zijn er programma's die we aanbieden zoals Battery101 [2], en we hebben het BatteryMBA [3] programma, dat een diepgaand inzicht geeft in accu's en de nieuwste ontwikkelingen in de industrie. We bieden beurzen voor beide. We hosten ook de Battery Insiders-podcast en hebben de afgelopen jaren veel onderwerpen behandeld. Daarnaast zijn er veel samenkomsten opgezet door verschillende organisaties. Wij organiseren deze zelf, maar er zijn ook andere organisaties, zoals de Volta Foundation, die mensen bij elkaar brengen. Ik denk dat het een goed startpunt is om naar deze samenkomsten te gaan en gelijkgestemden te ontmoeten. Als men vragen heeft, kan men contact met mij of mijn team opnemen via LinkedIn of onze website [4]. We kijken graag of we u ook kunnen ondersteunen op uw reis. We zijn superblij dat er meer mensen in de sector komen en we houden vol omdat het zo'n belangrijk onderwerp is om aan te pakken, niet alleen als antwoord op de klimaatverandering maar ook voor het creëren van een echt duurzame en circulaire wereld, op de lange termijn. ◀

230636-03

Over Simon Engelke

Dr. Simon Engelke is de oprichter en voorzitter van Battery Associates. Hij promoveerde op lithium-ion-accu's aan de Universiteit van Cambridge.

Vragen of opmerkingen?

Hebt u technische vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Neem contact op met Battery Associates via [4], of stuur een e-mail naar de redactie van Elektor via redactie@elektor.com.

WEBLINKS

- [1] Battery Cyclor: <https://battery.associates/battery-cycler-product-page>
- [2] Battery101-cursus: <https://battery.courses/courses/battery101>
- [3] BatteryMBA-programma: <https://battery.mba>
- [4] Neem contact op met Battery Associates: <https://battery.associates>



2024 een AI-odyssee

het houdt nog lang niet op

Brian Tristram Williams (Elektor)

Onze odyssee gaat een nieuw jaar in en het tempo van de nieuwe ontwikkelingen is nog niet afgenomen. Daarnaast: hoe gaat het met ons Torens-van-Hanoi project? Het is op zijn zachtst gezegd een interessante ervaring – vol technische uitdagingen en veel hoofdbreken.

Gelukkig nieuwjaar

Welkom in 2024! 2023 was het jaar van de AI-doorbraak, met een explosieve groei van generatieve AI-tools. Volgens een McKinsey Global Survey [1] zegt een derde van de respondenten dat hun organisaties regelmatig generatieve AI gebruiken in ten minste één bedrijfsonderdeel. Generatieve AI-tools zijn uitgegroeid van een technische niche tot een focus van bedrijfsleiders, waarbij 40% van de respondenten van plan is om hun AI-investeringen op te voeren vanwege de vooruitgang in generatieve AI. Generatieve AI heeft zich uitgebreid van uitsluitend tekst naar een multimodale analyse van zo ongeveer alles, van code via PDF's tot spreadsheets en afbeeldingen, om vervolgens die analyse te gebruiken om nieuwe multimodale output te genereren, waaronder tekst en afbeel-

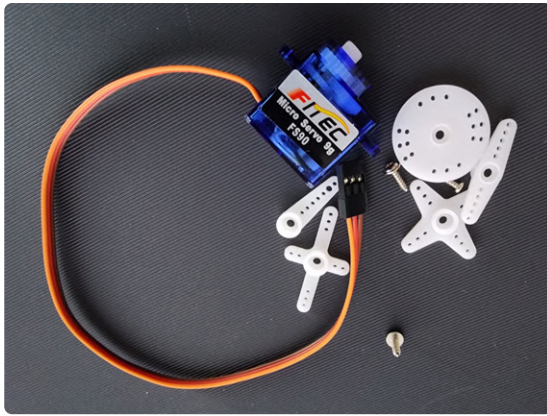
dingen, maar ook video- en audiotoeepassingen komen steeds vaker voor.

Welnu, als zelfs de traag bewegende grote bedrijven aanzienlijke inspanningen leveren om dit onbekende maar verleidelijke nieuwe gebied te gaan verkennen, dan ben ik vastbesloten om het te gebruiken om mij te helpen en mij te onderwijzen – op manieren die zelfs geen utopie waren toen ik bijvoorbeeld op de middelbare school zat.

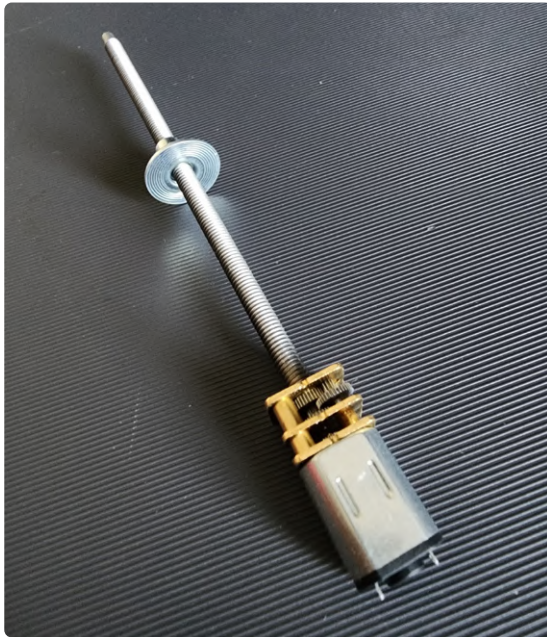
Een geïllustreerde inleiding

Een goed voorbeeld: een geweldig modern sciencefiction-werk is *The Diamond Age* (1995) [2] van Neil Stephenson. Zoals veel van Stephensons werken is het ongelooflijk vooruitziend, maar zijn wilde en uitbundige speculaties over AI gingen misschien niet ver genoeg voor 2024. In het boek heeft nanotechnologie de wereld gerevolutioneerd. Nell, een jong meisje in armoedige omstandigheden, vindt een interactief boek dat voor veel geld is verworven en bedoeld is voor de dochter van een rijke klant. Het boek, Een geïllustreerd leerboek voor jonge dames, is ontworpen om de lezer adaptief te onderwijzen en te begeleiden, net zoals grote taalmodellen zich nu aanpassen aan onze specifieke, individuele behoeften en hun uitvoer afstemmen op wat het beste voor ons werkt. Nell maakt zich het boek eigen en het past zich aan haar aan. Haar interacties met het AI-boek worden bijgegaan door echte, menselijke stemacteurs die op afstand, anoniem en live werken en die de taak hebben om de extravagante educatieve metaforen in te spreken die als verhalen voor het meisje worden weergegeven – vandaar de kosten.

Figuur 1. Fitec FS90 9 g micro servo.



Figuur 2. N20-motor met een 100 mm M4-schroefdraadas.



Figuur 3. Actobotics micro plastic robot-grijpklaauw.



Er is niet langer een mens nodig om een menselijke stem te maken; niet alleen menselijk klinkend, zoals de spraaksynthese die we hadden in onze Texas Instruments Speak & Spells in de jaren '80, maar echt menselijk, met pauzes, intonatie en emotie. Ik heb ElevenLabs [3] gebruikt om menselijk klinkende spraak te genereren – zelfs het klonen van mijn eigen stem en een paar van mijn favorieten – en het werkt erg goed.

Nu heeft de mobiele app van ChatGPT voor Android [5] en iOS [6] echter de optie om handsfree te communiceren, alleen met je stem. Geen ontwaakwoord, geen 'over en uit'. Terwijl ik het eten klaarmaakte, gaf ik mijn telefoon aan Chase, een 10-jarige jongen, en luisterde ik een half uur lang hoe hij en ChatGPT uitvoerig praatte over van alles, van Fortnite tot motorcross en zelfs over hoe raar het is om met een AI te praten en hoe het

lijkt op *Knight Rider* (een begrip in mijn huishouden). En dankzij de geïntegreerde DALL-E, ook van OpenAI, kan het ook tekeningen maken. Het interactieve leerboek bestaat, en dat zonder betaalde acteurs.

Deze ontwikkelingen zijn een uitkomst voor eenzamen, ouderen, zwakken, mensen met een visuele beperking of jonge kinderen, zoals Nell, die nog niet hebben leren lezen.

Nu terug naar mijn AI, die ik (met een glimlach) *Een geïllustreerd leerboek voor oude mannen* noem. Het was de taak van deze AI om me te helpen bij het maken van een nieuwe eierwekker, gebaseerd op het spel *Torens van Hanoi* (zie de vorige aflevering in [6]).

De Torens van Hanoi - update

De vorige keer begon ik aan het ambitieuze project om me door AI te laten helpen met iets waarvoor ik eerder iemand met enige elektromechanische vaardigheden had moeten raadplegen. Zoals ik had verwacht, was het mechanisch ontwerp de grootste uitdaging. Ik ben thuis in elektronica en software, maar mechanica is iets heel anders. De keuze tussen een servomotor en een stappenmotor leek in eerste instantie eenvoudig, maar daar kwam een heleboel bij kijken. De berekening van het vereiste koppel is lastig voor mij, vooral als je een gewicht aan een arm wilt optillen.

Maar met de hulp van mijn kunstmatige vriend en wat online winkelen, heb ik tot nu toe wat onderdelen bij elkaar gescharreld om een poging te wagen:

- 4 stuks Fitec (voorheen Feetech) FS90 9 g micro-servo's (**figuur 1**). Deze kunnen gemakkelijk een werkhoeek van 120° aan en hebben een koppel van 1,5 kg·cm bij 6 V. In een eerste experiment ben ik niet al te bezorgd over hoeveel het weegt of hoe snel het beweegt – laten we de boel eerst aan de praat krijgen voordat we het efficiënt gaan doen.
- 1 N20-motor met een schroefdraadas van 100 mm M4 (**figuur 2**). Je hoeft maar twee draden aan de klemmen te solderen en je kunt aan de slag.
- 1 Actobotics micro plastic robot-grijpklaauw (**figuur 3**). Deze is compatibel met de Hitec HS-55 micro servo vormfactor, die hetzelfde is als de Fitec FS90. Ik heb dit in mijn online winkelwagentje gelegd voordat ik afrekenende omdat ik dacht dat het nuttig zou kunnen zijn – het werd niet specifiek aanbevolen door ChatGPT.
- 1 ESP32-gebaseerde HW-724 module met WiFi, Bluetooth en OLED (**figuur 4**). Waarom deze module? Ten eerste was hij op voorraad en goedkoop. Ten tweede heb ik niet veel met Espressif SoC's gewerkt sinds ik in 2015 mijn badkamerweegschaal van WiFi heb voorzien met een ESP8266. Ik heb veel met Arduino gewerkt, maar ik dacht: laten we eens iets nieuws proberen. Er waren veel andere manieren die ik had kunnen kiezen, zoals de Raspberry Pi Pico W.

Hoe bouwen we dat allemaal samen? Dit deel van het project was een mix van frustratie en ontdekking. Zoals ik de vorige keer al zei, heb ik dankzij het Arduino-boek van Günter Spanner een Meccano-set waarmee ik een prototype kon maken, hoewel ChatGPT aanraadt om te beginnen met ijslolly-stokjes! In **figuur 5** zie je de stokjes zoals die bij mij te koop zijn.

Ik moet nog uitzoeken welke motordrivers ik ga gebruiken, hoeveel stroom de opstelling nodig heeft, hoe ik de hogere spanningen krijg die de motoren nodig hebben; en dan van het lezen van datasheets daadwerkelijk gaan uitzoeken hoe deze onderdelen in de praktijk gaan samenwerken.

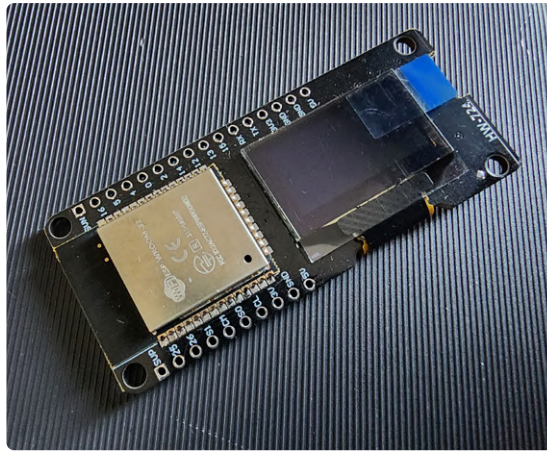
Adviezen van ChatGPT

Natuurlijk hield ik mijn trouwe AI-vriend op de hoogte, maar die bleek minder behulpzaam toen we van de theorie naar de praktijk gingen. De reacties waren een ratjetoe – er werden wat suggesties gedaan over het gebruik van lichtere materialen voor de schijven om de belasting te verminderen, maar er werden ook verschillende soorten motoren en mechanische structuren voorgesteld. Het is fascinerend (om er een positieve draai aan te geven) om te zien hoeveel manieren er zijn om één enkel probleem op te lossen.

Een andere uitdaging die ik heb met ChatGPT-4 is dat ik steeds al mijn tokens opgebruik en dan een paar uur moet wachten voordat ik verder kan gaan met het stellen van mijn onzinnige vragen. Of tenminste, het zegt dat ik al mijn tokens heb opgebruikt. Eerlijk gezegd denk ik dat het een beetje te intelligent wordt naar mijn zin en me een tijdje uitschakelt als het mijn gezeur niet meer aankan. Om dit op te lossen, heb ik geprobeerd een generatieve AI chatbot lokaal op mijn PC te installeren, waar ik niet te horen krijg dat ik te veel gebruik maak van de beschikbare bronnen. Daarover een andere keer meer.

De stand van zaken

Op dit moment bevindt het project zich nog in de ontwerpfase. Ik heb een werkbank vol onderdelen en de opties die ik heb geprobeerd hebben nog niet precies opgeleverd wat ik nodig heb. Het voltooien van deze puzzel is zeker een puzzel op zich, maar is wel een leerzaam zodat ik beslist niet zal opgeven.



Figuur 4. Generieke HW-724 ESP32-gebaseerde module met WiFi, Bluetooth en OLED.

Reacties uit de community zijn natuurlijk altijd welkom, zelfs als je intelligentie niet kunstmatig is! Als je suggesties of ervaringen hebt, hoor ik het graag. 

vertaling: Hans Adams — 230181-D-01

Vragen of opmerkingen?

Hebt u technische vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar de auteur via brian.williams@elektor.com.

Over de auteur

Brian Tristam Williams is al gefascineerd door computers en elektronica sinds hij op 10-jarige leeftijd zijn eerste 'microcomputer' kreeg. Zijn avontuur met Elektor Magazine begon toen hij op 16-jarige leeftijd zijn eerste nummer kocht, en sindsdien volgt hij de wereld van elektronica en computers op de voet, waarbij hij voortdurend onderzoekt en leert. In 2010 ging hij bij Elektor werken en tegenwoordig blijft hij graag op de hoogte van de nieuwste trends in de technologie, waarbij hij zich vooral richt op kunstmatige intelligentie en single-board computers zoals de Raspberry Pi.



Figuur 5. Ijslolly-stokjes om een prototype te bouwen?



Gerelateerde producten

> **Elektor ESP32 Smart Kit**
www.elektor.nl/18305

WEBLINKS

- [1] "The state of AI in 2023" — McKinsey Global Survey: <https://tinyurl.com/mckinseyai2023>
- [2] Neal Stephenson, "The Diamond Age: Or, a Young Lady's Illustrated Primer": https://goodreads.com/book/show/827.The_Diamond_Age
- [3] ElevenLabs – AI-spraakgenerator: <https://elevenlabs.io>
- [4] ChatGPT voor iOS: <https://apps.apple.com/us/app/chatgpt/id6448311069>
- [5] ChatGPT voor Android: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.openai.chatgpt>
- [6] Brian Tristam Williams, "2023: een AI-odyssee", Elektor november/december 2023: <http://www.elektormagazine.nl/magazine/elektor-318/62373>

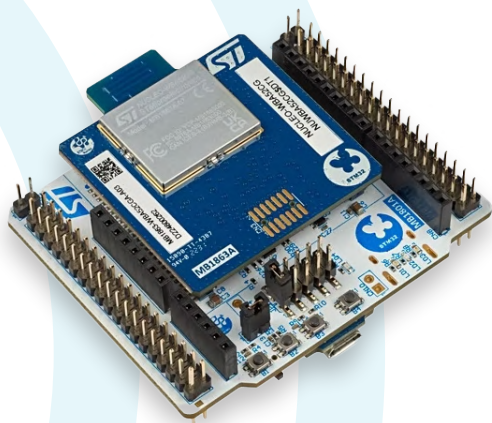


Bluetooth LE op de STM32

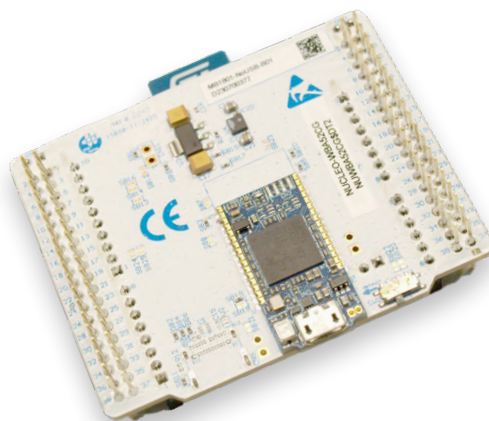
meetwaarden op afstand uitlezen

Tam Hanna (Hongarije)

Voor veel elektronische apparaten is koppeling met een smartphone essentieel. Bluetooth LE-technologie is daar ideaal voor. Maar het implementeren van een BLE-toepassing op een microcontroller is niet zo gemakkelijk. Geavanceerde ontwikkelomgevingen met codegeneratie zijn daarbij een grote hulp. We demonstreren dit hier met een STM32WBA52 Nucleo-board en de STM32CubeIDE.



Figuur 1. De eigenlijke radio-chipset zit op een carrierboard...



Figuur 2. ...terwijl de Arduino-connector en de debugger op een aparte print zitten.

Het ontwikkelen van een product met Bluetooth LE-communicatie is niet altijd eenvoudig. We moeten eerst het beste draadloze SoC kiezen voor de toepassing, waarbij we letten op een ultra-laag energieverbruik maar ook op het hele ecosysteem dat voor de gekozen hardware verkrijgbaar is.

STMicroelectronics heeft veel inspanning gestoken in het aanbieden van een vriendelijk gratis ecosysteem voor alle universele STM32 MCU's en doet hetzelfde voor zijn draadloze MCU's. De STM32WBA52 ondersteunt Bluetooth LE volledig en BLE is volledig geïntegreerd in de STM32Cube-tools. Controllers van eerdere generaties, zoals de

BlueNRG, gaan ook over naar het STM32Cube-ecosysteem. In dit artikel laten ze zien hoe u een Bluetooth LE-toepassing kunt bouwen met het STM32Cube Ecosystem.

De werkomgeving

Eén van de belangrijkste voordelen van ST's MCU's is de STM32CubeIDE. Deze geïntegreerde ontwikkelomgeving bevat een codegenerator die indrukwekkende resultaten levert.

Voor middelmatige requirements volstaat het vaak om de periferie te configureren met STM32CubeIDE's grafische functionaliteit en zelf

Andere controllers en development boards

De eerste alternatieve kandidaat is de STM32WL55: Dit is een multi core-MCU met een Arm Cortex-M4 en een Cortex-M0+-kern. De radiotransceiver, die is geoptimaliseerd voor diverse sub-gigahertz-protocols, is geïntegreerd in de MCU. Bij de introductie beloofde ST ondersteuning voor "LoRa, (G)FSK, (G)MSK en BPSK-modulatie. Het is een volledig open wireless system-on-chip en compatibel met gestandaardiseerde en andere protocollen zoals LoRaWAN, Sigfox, wM-Bus en meer."

Het Nucleo-board, dat voornamelijk bedoeld is voor de evaluatie van LoraWAN-knooppunten, is verkrijgbaar in twee versies: de WL55JC1 voor het frequentiebereik 865-928 MHz, en de WL55JC2 voor het frequentiebereik 433-510 MHz.



Kandidaat nummer 2 is de STM32WB5MM-DK, een board waarvan de gecertificeerde module ook is gebaseerd op de dubbele rekenkern STM32WB55. Op dit board zit een controller die van zijn bovengenoemde broertje verschilt in de ondersteuning van extra protocols; de draadloze transceiver van dit type kan ook communiceren via Bluetooth LE en bevat ook een 802.15.4 MAC en ondersteuning voor Open Thread, Zigbee en Matter.

Het evaluatieboard bevat ook verschillende soorten periferie, zoals een extern QSPI NOR Flash-geheugen en zelfs een klein display, dat het gemakkelijker maakt om sensor-systemen aan de praat te krijgen zonder externe hardware.



Win € 5000!

In het kader van de STM32 Wireless Innovation Design Contest kunt u eigen draadloze toepassingen ontwikkelen met krachtige boards, ondersteund door het rijke ecosysteem van STMicroelectronics. U kunt elke taak aanpakken die u wilt... op de manier die u het prettigst vindt! IoT, robotica, gaming, domotica, meten en testen en AI zijn maar enkele van de mogelijke toepassingsgebieden. Laat uw creativiteit de vrije loop, geniet en win! Er is een totaal prijzengeld van € 5000 te winnen!

Details over deelname aan de STM32 Wireless Innovation Design Contest, zoals de deadlines en de exacte voorwaarden voor deelname, zijn te vinden op de webpagina op elektormagazine.com/st-contest.



alleen de gebruikerscode te schrijven. Het is niet nodig om datasheets door te spitten en codevoorbeelden te "ontleden". Dat bespaart heel veel werk.

We hebben hier een NUCLEO-WBA52CG-kaart gebruikt als werkomgeving (zie **figuur 1** en **2**).

De hoofdprocessor is een STM32WBA52CG: een Arm® Cortex®-M33-kern met een hoog beveiligingsniveau (PSA Level 3 gecertificeerd), hoog output vermogen (tot +10 dBm) en geoptimaliseerd voor low power-communicatie voor een lang batterijleven. Hij biedt volledige ondersteuning voor de Bluetooth LE 5.3-standaard. ST levert ook verschillende andere evaluatie-boards, die we kort beschrijven in het kader **Andere controllers en development boards**.

Aan de onderkant van de NUCLEO-WBA52CG-kaart ziet u een blauwe *surface mount*-module op de print. Dit is een volwassen ST Link-debugger, de STLINKV3-MOD, die ook verkocht wordt als een apart product.

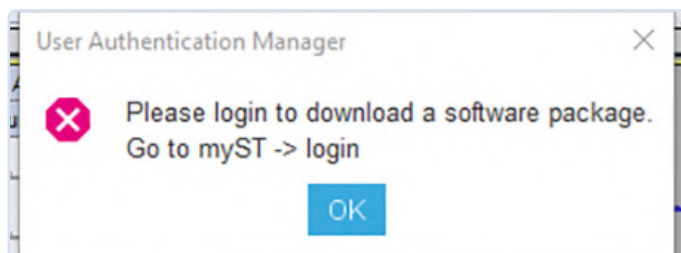
We gaan voor onze experimenten gebruik maken van de STM32-CubeIDE. Deze is gratis te downloaden van [1]. De auteur werkt hier met versie 1.13.2 van de geïntegreerde ontwikkelomgeving. Hij draait hier op een Windows 10-werkstation met een AMD-processor met acht rekenkernen. STM32CubeIDE stelt niet al te hoge eisen aan de kracht van het systeem, maar, net als bij veel andere Eclipse-systemen, werkt de gebruikersinterface het prettigst bij flinke single core-prestaties.

Klik na het starten de IDE op *File* → *New STM32 Project* om de STM32-projectgenerator te starten. Dat kan even duren: STM32CubeIDE downloadt een lijst van boarddefinities van een server van ST bij het opstarten, zodat de ontwikkelaar altijd de meest recente projecttemplates tot zijn beschikking heeft.

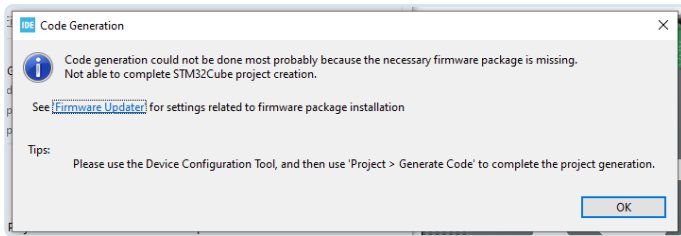
Vervolgens gaan we naar de tab *Board Selector*, waar we NUCLEO-WBA52CG kiezen in het veld *Commercial Part Number*. Er verschijnt dan een afbeelding van de kaart in het venster *Board List*. Klik erop om hem te selecteren. Klik dan op *Next* om de eigenlijke *STM32 Project*-wizard te starten. Wijs nu een projectnaam toe. Let op dat u niet de *Enable TrustZone*-optie activeert en laat de andere instellingen die de STM32CubeIDE suggereert onveranderd.

Klik dan op *Finish*. De generator gaat dan een projectraamwerk opbouwen. Beantwoord de vraag over het parameteriseren van de periferie met *Yes*. Dat betekent dat we vertrouwen op de BSP (*Board Support Package*) van het Nucleo Board.

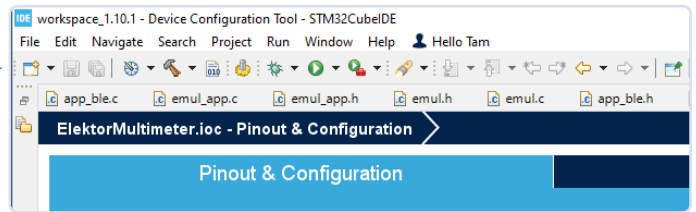
Soms geeft Cube de waarschuwing die u ziet in **figuur 3**. Die geeft aan dat u geen ST-account hebt.



Figuur 3. Om pakketten te downloaden, moet u eerst inloggen.



Figuur 4. Deze dialoog betekent dat het software-package nog steeds ontbreekt.



Figuur 5. STM32CubeIDE is behoorlijk vriendelijk.

Als dat gebeurt, ziet u, normaal gesproken, ook het dialoogvenster in **figuur 4**. Soms zit dat verborgen achter een ander venster.

Als u deze foutmelding krijgt, hebt u pech gehad. De gemakkelijkste oplossing is het hele project te verwijderen in de *Project Explorer*. Let op: In het venster *Delete Resource* moet *Delete Project Content on Disk* worden aangevinkt, anders verwijdert STM32CubeIDE het project niet uit het ROM-geheugen.

Bij de volgende stap klikt u op *myST* → *Login*. In het dialoogvenster dat dan verschijnt, voert u uw inloggegevens van de ST-website in. Als u nog geen ST-account hebt, moet u er een aanmaken. Met dit account hebt u toegang tot de technische ondersteuning op de website. U ontvangt dan ook regelmatig uitnodigingen voor events waar u meer kunt leren over de wereld van ST: naast online-events, zijn er ook regelmatig events *in real life*.

Als u bent ingelogd, verschijnt uw naam in de menubalk zoals in **figuur 5**. Dat is het teken dat u opnieuw het projectraamwerk kunt laten aanmaken.

Tijdens het uitpakken van het archief met het STM32Cube-WBA Software-pakket, moet u ondermeer akkoord gaan met een licentieovereenkomst.

Als u daarmee klaar bent, komt u in de standaard-configuratie van een STM32 microcontroller, waar u de periferie kunt configureren.

Sneller uitpakken

Het uitpakken van het firmwarearchief neemt nogal wat tijd in beslag onder Windows: dat ligt vooral aan de virusscanner van Windows. In theorie zou u die tijdelijk kunnen uitschakelen in het Configuratievenster, maar we raden dat niet aan.

Implementeren van de Bluetooth LE-stack

Het met de hand ontwikkelen van netwerkstacks is een 'gebed zonder eind' dat een hoop ondankebaar werk oplevert. Bij ST is het gelukkig zo, dat de Bluetooth-stack (ook wel 'middleware' genoemd) gedeeltelijk geïntegreerd is in de grafische codegenerator.

Om de Bluetooth-hardware aan de praat te krijgen, hoeft u zelfs niet met de hand extra softwarepakketten te downloaden. De benodigde modules zijn, meestal, al aanwezig in het beschikbaar gestelde softwarepakket.

De grootste uitdaging is nu het opzetten van periferie. Om het energieverbruik te minimaliseren heeft ST zijn 32bit-controllers altijd uitgerust met uitgebreide voedingspoorten, die het mogelijk maken functionele eenheden die niet worden gebruikt uit te schakelen. Vanzelfsprekend brengt die extra flexibiliteit ook meer verantwoordelijkheid en mogelijk extra inspanning met zich mee bij het opzetten van het project.

De Bluetooth LE-stack heeft allerlei periferie nodig, waarvan het doel niet altijd voor de hand ligt. Gelukkig biedt ST een kant-en-klare lijst aan op [2], die we gewoon kunnen volgen. Het is belangrijk en noodzakelijk om ook enkele 'exotische' apparaten, zoals de tempera-

tuur bewaking van de ADC, te activeren. Die levert statusinformatie die de Bluetooth-stack absoluut nodig heeft om op te starten.

Fouten in de hardwareconfiguratie kunnen soms lastig zijn. Als de Bluetooth LE-stack niet blijkt te werken, kunt u het beste beginnen met de fout te zoeken in dit gebied.

We gaan er van uit, dat de lezer min of meer bekend is met het gebruik van Bluetooth LE. Een korte introductie vindt u bij [3].

Voor de configuratie van de Bluetooth-stack schakelen we naar de rubriek *STM32_WPAN*, waar we kiezen voor *Mode* → *BLE* en de optie *Select and configure your Server application* kiezen.

ST interpreteert de nomenclatuur van de Bluetooth SIG op een gebruikersvriendelijke manier en bespaart de gebruiker van de chips de eigenaardige aanduidingen *Center* en *Peripheral*.

Activeer voor de volgende stap de tab *Configuration*. U moet daar de *High Level*-settings specificeren, inclusief die voor *GAP*.

Omdat we er van uit gaan dat u in uw lab geen Bluetooth LE-sniffer hebt, raden we een stap-voor-stap benadering aan bij het opzetten van de Bluetooth LE-stack. Maar ST biedt ook een voorbeeldimplementatie met een Bluetooth LE-sniffer aan, gebaseerd op STM32WB [5]. De eerste stap is *Advertising* te activeren en te controleren of het apparaat zichtbaar is met behulp van een Android- of IOS-apparaat met een Bluetooth LE-app of, beter nog, met één van ST's mobiele apps zoals ST BLE Toolbox.

Om de Advertising-functie te activeren, schakelen we naar de *Application parameters* en voeren de gewenste gebruikersnaam in bij *CFG_GAP_DEVICE_NAME*. We gebruiken hier de string *TAMSM*. De software vult het lengteveld automatisch in. Let erop dat de Bluetooth LE-standaard strenge beperkingen oplegt aan de maximaal toegestane lengte van de pakketten en dus aan de lengte van de naam. Bij de *Advertising Elements* kan de content in advertising-pakketten verder worden aangepast. Het is aan te raden *Include AD_TYPE_COMPLETE_LOCAL_NAME* in te schakelen bij de *Advertising Elements* door *Yes* te kiezen.

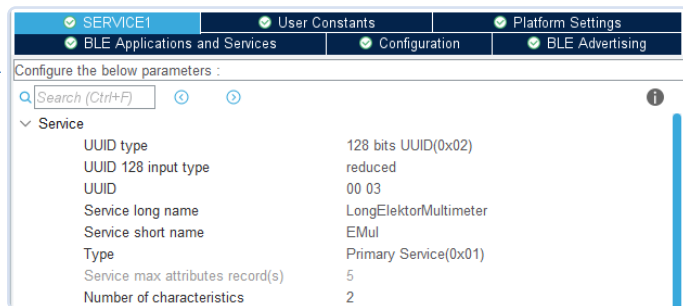
We moeten nu de beschikbare gestelde diensten gaan definiëren. De STM32CubeIDE beschikt over een gebruikersvriendelijke grafische configuratiewizard om dit gemakkelijk te maken.

Ga daarvoor eerst naar de tab *BLE Applications and Services*, en geef bij *Server Mode Number of Services* aan hoeveel BLE-services er moeten worden aangemaakt. Voor het gemak hebben we optie één gekozen. Er verschijnt dan een nieuwe tab met de naam *SERVICE1*. Als we meer services toevoegen, verschijnen er ook tabs *SERVICE2*, *SERVICE3* enzovoort.

Open dan de tab *SERVICE1 om de configuratie van de te creëren BLE-service in te stellen*. Heel belangrijk is het veld *Number of Characteristics*, dat het aantal parameters van de service aangeeft.

We moeten ook de *UUID* specificeren. Dat gebeurt in de dialoog in **figuur 6**.

Als u de waarde *reduced* kiest in het veld *UUID 128 input type*, hoeft u maar vier hexadecimale getallen in te vullen in het veld *UUID*. Cube bepaalt de rest uit andere informatie.



Figuur 6. Hier wordt de UUID-configuratie gedaan.

We hebben met twee eigenschappen te maken in de volgende stappen, dus verschijnen de categorieën *Characteristic 1* en *Characteristic 2*.

Naast het opnieuw toekennen van UUID's, moet u de velden *char_prop_write* en *char_prop_read* correct invullen. Die bepalen de rechten die een client krijgt als hij een verbinding maakt.

In het veld *Value Length* heeft de auteur 4 ingevoerd als de waarde voor de eerste karakteristiek, en we hebben de tweede karakteristiek de waarde 1 gegeven. Deze twee parameters bepalen hoeveel informatie er wordt opgeslagen in de beide velden.

U kunt geavanceerde parameters van de Bluetooth LE-stack invullen bij de *Platform Settings*, maar meestal kunt u de standaardwaarden gebruiken; ST biedt een gedetailleerde bespreking van de beschikbare opties bij eerder genoemde URL [2].

Heel interessant is de functie waarmee de Bluetooth LE-stack statusinformatie naar de UART kan sturen. Dit is een functie waar we nu niet op in kunnen gaan, maar die kan zeker nuttig zijn voor ontwikkelaars tijdens de debugfase.

Genereren van de code en uitvoeren van een eerste test

We hebben nu voldaan aan de minimale eisen voor het in gebruik nemen van de Bluetooth LE-stack. Nu gaan we naar de *Project Manager Code Generator* om opties in te voeren voor het omzetten van het *.ioc*-bestand in de eigenlijke compileerbare files.

Bij *STM32Cube MCU Packages and Embedded Software Packs* vinken we *Add necessary library files as reference in the toolchain project configuration file* aan om in het projectraamwerk de benodigde hardwaredrivers en andere elementen mee te nemen.

Daarna schakelen we naar de *Advanced Settings*, waar u (in het ideale geval) de instellingen van ST kunt overnemen (zie **figuur 7**). Maar de prioriteit 'moven' werkte niet op ons werkstation, dus we hebben 'alleen' de opties *Do not generate function call* en *Visibility* aangepast.

Nu kunnen we de *.ioc*-file opslaan. De STM32CubeIDE vraagt u nu, of u het projectraamwerk wilt genereren, en dat is precies wat u wilt.

Let op: mappen kunnen gebruikersbestanden bevatten

Een belangrijke opmerking: de mappen die u moet verwijderen om het project opnieuw compileerbaar te maken, worden ook gebruikt voor het opslaan van de code van de gebruiker bij het configureren van de Bluetooth LE-toepassing. De oplossing is een versiebeheersysteem te gebruiken; overeenkomsten met de editor-battles bij Symbian-programmeren zijn puur toevallig.

Opzetten van de Advertiser

Als u uw project nu 'compileerbaar' hebt gemaakt, kunt u het zichtbaar gaan maken voor de genoemde Bluetooth LE-scanner. Verwijder nu het veld *TX_POWER_LEVEL* in het pakket en voeg het veld *AD_TYPE_APPEARANCE REIN* toe: Dat maakt dat de scanner een gemakkelijk herkenbaar symbool weergeeft.

U kunt ook het *advertising interval* instellen op 20. Dit wordt gedefinieerd met *ADV_INTERVAL_MIN* en *ADV_INTERVAL_MAX*. Zet ook *AD_TYPE_MANUFACTURING* op *yes* om het zichtbaar te maken in de ST Toolbox app. Hoewel de radiomodule meer energie verbruikt in deze speciale toestand, verspreidt hij zijn berichten met een hogere frequentie en is daarom veel gemakkelijker te herkennen voor de scanner.

U kunt nu ook naar *Configuration RT GPIO Debug RT_DEBUG_GPIO_MODULE* gaan en zorgen dat er *NO* staat in het veld *RT_DEBUG_GPIO_MODULE*. Als u dat niet doet, zal Bluetooth-stack crashen bij het opstarten. Dat komt doordat de lijst van GPIO-pennen leeg is. Tenslotte moet u de file *app_ble.c* openen, daar kunt u code bij *USER CODE BEGIN APP_BLE_Init_3* in de functie *APP_BLE_Init()* aanpassen volgens het volgende schema. Let op het verborgen karakter bij het kopiëren en plakken van deze code:

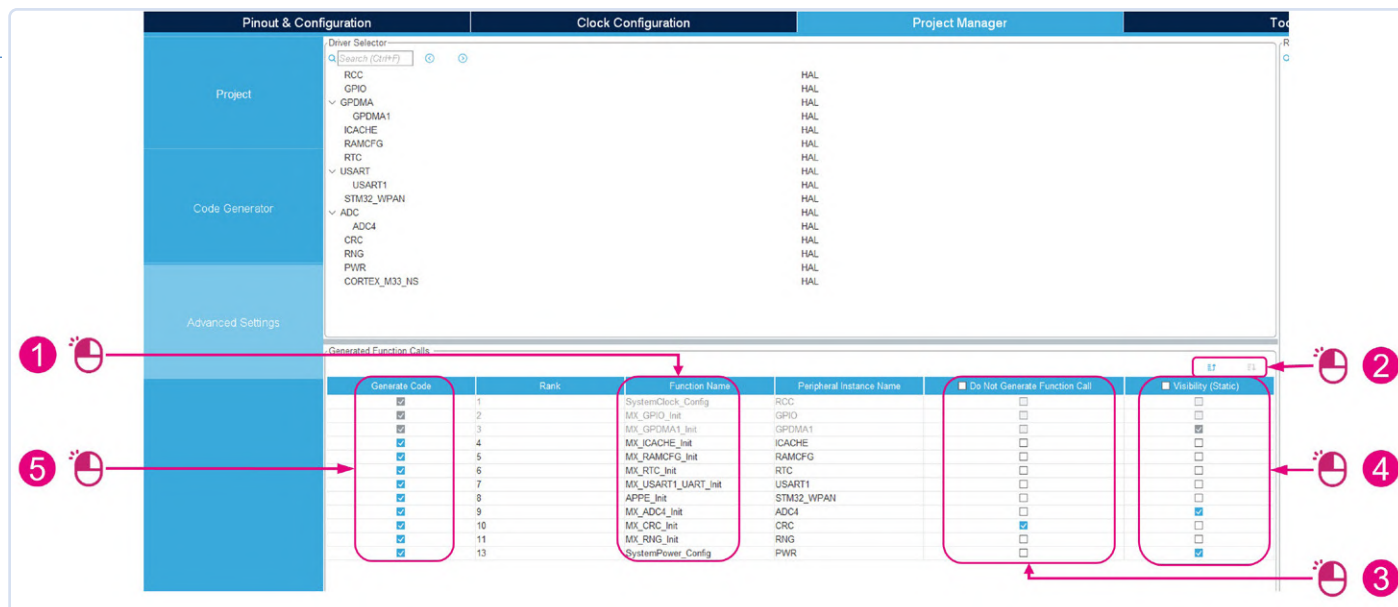
```
/* USER CODE BEGIN APP_BLE_Init_3 */
tBleStatus ret =
    aci_hal_set_radio_activity_mask(0x0006);
if (ret != BLE_STATUS_SUCCESS)
{
    APP_DBG_MSG(" Fail :
    aci_hal_set_radio_activity_mask command,
    result: 0x%2X\n", ret);
}
else
{
    APP_DBG_MSG(" Success:
    aci_hal_set_radio_activity_mask command\n\r");
}

/* Start to Advertise to accept a connection */
APP_BLE_Procedure_Gap_Peripheral
    (PROC_GAP_PERIPH_ADVERTISE_START_FAST);

/* USER CODE END APP_BLE_Init_3 */
```

Als u niet wilt dat advertising stopt als de verbinding is verbroken moet u dit in *app_ble.c* toevoegen:

```
SVCCTL_App_Notification
- HCI_DISCONNECTION_COMPLETE_EVT_CODE
/* USER CODE BEGIN EVT_DISCONN_COMPLETE */
APP_BLE_Procedure_Gap_Peripheral
    (PROC_GAP_PERIPH_ADVERTISE_START_FAST);
/* USER CODE END EVT_DISCONN_COMPLETE */
```



Figuur 7. Deze instellingen leiden naar het doel (bron: STMicroelectronics [4]).

Het belangrijkste hier is om `APP_BLE_Procedure_Gap_Peripheral(PROC_GAP_PERIPH_ADVERTISE_START_FAST)` aan te roepen, wat zorgt voor het activeren van de Advertising in de Bluetooth-stack. Let op: die code wordt niet automatisch gegenereerd door de STM32CubeIDE-configurator want dat wordt beschouwd als de verantwoordelijkheid van de ontwikkelaar. Het datatype `tBleStatus` is ook interessant: Dit is een typedef die bedoeld is voor het retourneren van de Bluetooth LE-statusinformatie. Onze toepassing is nu klaar om naar het board geflashed te worden. De beloning voor onze inspanningen is het verschijnen van de vensters in **figuur 8** en **9**.

De structuur van de applicatie

We hebben eerder, bij `SERVICE1`, de waarde `EMUL` toegekend als `Service Short Name`. Dat leidt nu tot het verschijnen van een groep van extra files in de app-subdirectory (zie **figuur 10**). Het "opslaan" van de waarden doet de file `emul.c`, met name de functie `EMUL_UpdateValue()` speelt daarbij een belangrijke rol. De eerste regels luiden als volgt:

```
tBleStatus EMUL_UpdateValue
(EMUL_CharOpcode_t CharOpcode,
 EMUL_Data_t *pData)
{
    tBleStatus ret = BLE_STATUS_INVALID_PARAMS;

    /* USER CODE BEGIN Service1_App_Update_Char_1 */

    /* USER CODE END Service1_App_Update_Char_1 */

    switch(CharOpcode)
    {
        case EMUL_SONA1:

            ret = aci_gatt_update_char_value
```

```
(EMUL_Context.EmulSvcHdle,
 EMUL_Context.Sona1CharHdle,
 0, /* charValOffset */
 pData->Length, /* charValueLen */
 (uint8_t *)pData->p_Payload);
```

De functie `aci_gatt_update_char_value()` is beschikbaar gesteld door de Bluetooth-stack die de geleverde informatie naar de cache schrijft. De stack haalt die daar op als er leesverzoeken komen van de aangesloten devices.

Via de structuur `EMUL_CharOpcode_t` vinden we dan de volgende structuur, waarvan de items overeenkomen met de karakteristieken die we eerder in Cube hebben ingevoerd (SONA1 en SONA2 zijn de namen van de karakters):

```
typedef enum
{
    EMUL_SONA1,
    EMUL_SONA2,
    /* USER CODE BEGIN Service1_CharOpcode_t */

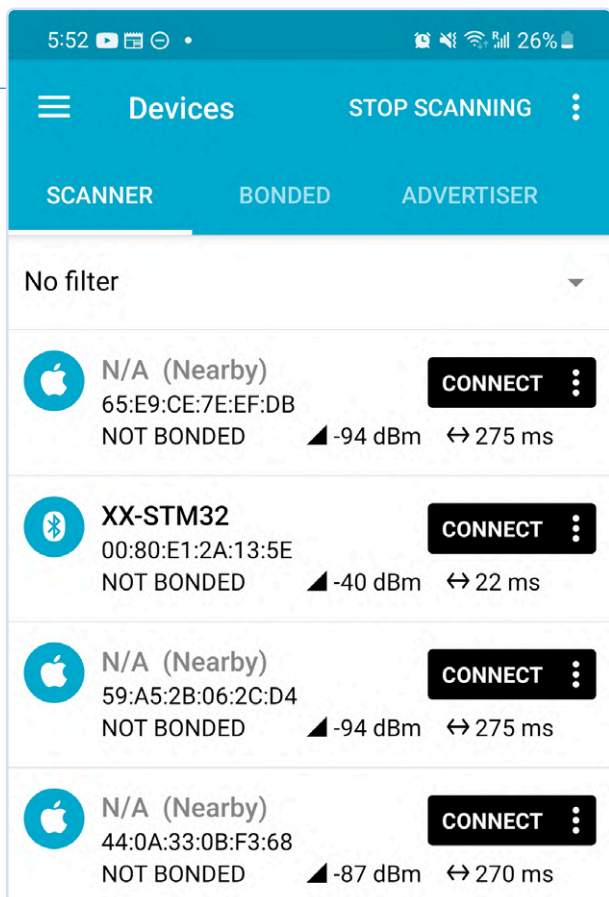
    /* USER CODE END Service1_CharOpcode_t */
    EMUL_CHAROPCODE_LAST
} EMUL_CharOpcode_t;
```

De structuur `EMUL_Data_t` is verantwoordelijk voor het schrijven of leveren van de waarden en ziet er als volgt uit:

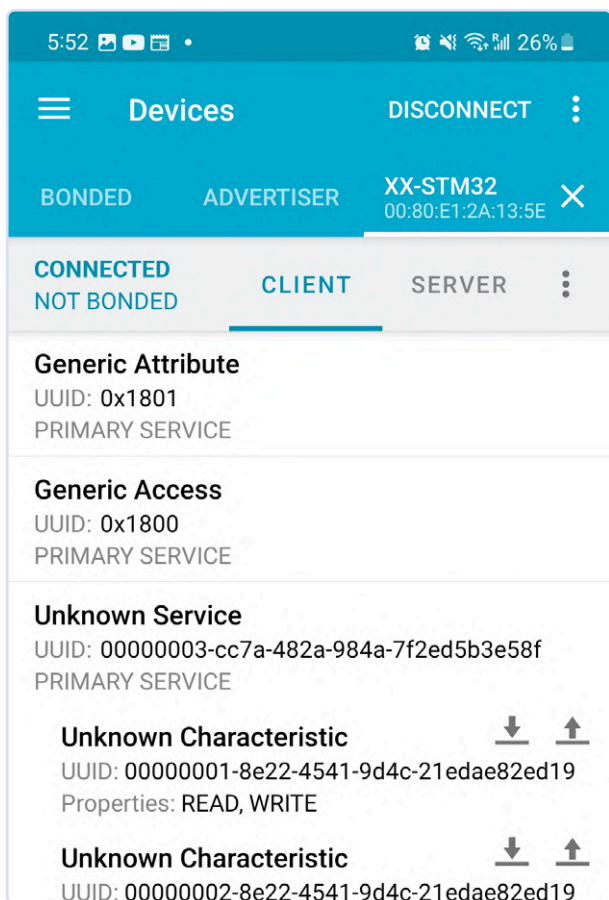
```
typedef struct
{
    uint8_t *p_Payload;
    uint8_t Length;

    /* USER CODE BEGIN Service1_Data_t */

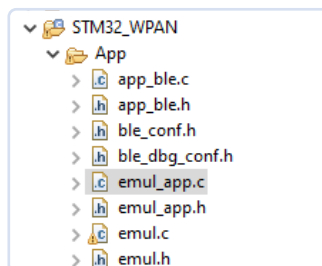
    /* USER CODE END Service1_Data_t */
} EMUL_Data_t;
```



Figuur 8. Het apparaat is zichtbaar op de Samsung-telefoon...



Figuur 9. ...en maakt twee karakteristieken zichtbaar in de service!



Figuur 10. De vier files samen "configureren" de service.

Als u de functie nader onderzoekt, vindt u ook stukken code met de onderstaande structuur. Die is verantwoordelijk voor het ontvangen van informatie die is bedoeld voor de tweede karakteristiek.

```
case EMUL_SONA2:
    ret = aci_gatt_update_char_value
        (EMUL_Context.EmulSvcHdle,
         EMUL_Context.Sona2CharHdle,
         0, /* charValOffset */
         pData->Length, /* charValueLen */
         (uint8_t *)pData->p_Payload);
```

Gewapend met deze kennis gaan we terug naar *main.c*. Het eerste `#include`-statement geeft toegang tot de app-files:

```
/* USER CODE BEGIN Includes */

#include "../STM32_WPAN/App/emul.h"

/* USER CODE END Includes */
```

Ook *common_blesvc.h* moeten we opnemen omdat deze toegang geeft tot de Bluetooth-stack primitieven die in *Emul.h* worden gebruikt.

```
/* USER CODE BEGIN Includes */
#include "common_blesvc.h"
#include "../STM32_WPAN/App/emul.h"

/* USER CODE END Includes */
```

Vervolgens willen we wat rekenkracht in de hoofdloop gebruiken om een teller bij te werken en regelmatig updates naar de Bluetooth-stack te schrijven. Dit is de gemakkelijkste manier, al zou het eleganter zijn om gebruik te maken van de Timer Server-utility. Hint: als de code niet in de `USERCODE`-sectie staat, wordt die gewist bij het regenereren:

```
/* Infinite loop */
/* USER CODE BEGIN WHILE */
int aCounter = 0;
int32_t aValue = 0;
while (1)
{
    /* USER CODE END WHILE */
```



```

MX_APPE_Process();

/* USER CODE BEGIN 3 */
aCounter++;
if(aCounter>10000)
{
    aCounter=0;
    aValue++;
    EMUL_Data_t pData;
    pData.Length=4;
    pData.p_Payload = malloc(4);
    memcpy(pData.p_Payload, &aValue, 4);
    EMUL_UpdateValue(EMUL_SONAI, &pData);
    free(pData.p_Payload);
}
}
/* USER CODE END 3 */

```

Een opmerking over `malloc()`: in een echt embedded systeem zou het beter zijn om gebruik te maken van een buffer op de stack, maar voor eenvoudige demo is `malloc()` wel toelaatbaar.

Houd er rekening mee, dat calls naar `EMUL_UpdateValue()` energievreters kunnen zijn, afhankelijk van de configuratie van de Bluetooth-stack. Dat komt doordat karakteristieken, volgens de Bluetooth LE-standaard, ook notificaties kunnen zenden. Als dat gebeurt, ontvangen alle geregistreerde clients een bericht, wat veel stroom kost.

We zouden het programma nu opnieuw willen testen, maar pogingen om te lezen in de scanner zouden mislukken met een timeout. De oorzaak van dit op het eerste gezicht ongewenste gedrag is dat de individuele lees- en/of schrijfcommando's zijn ingeschakeld in de ST Bluetooth-stack. Als we beter hadden opgelet tijdens het compileren, hadden we warnings van het type *#warning user shall call aci_gatt_allow_read() function if allowed* gezien die daar op wijzen. Om dat op te lossen, activeren we het read-commando in de `EMUL_EventHandler` in het `emul.c`-bestand op de volgende manier:

```

if (p_read_req->Attribute_Handle ==
    (EMUL_Context.SonaiCharHdle +
     CHARACTERISTIC_VALUE_ATTRIBUTE_OFFSET))
{
    return_value = SVCCTL_EvtAckFlowEnable;
    /*USER CODE BEGIN Service1_Char_1_ACI_
    GATT_READ_PERMIT_REQ_VSEVT_CODE_1 */
    /*USER CODE END Service1_Char_1_ACI_
    GATT_READ_PERMIT_REQ_VSEVT_CODE_1*/
    /*USER CODE BEGIN Service1_Char_1_ACI_
    GATT_READ_PERMIT_REQ_VSEVT_CODE_2 */

    #warning user shall call aci_gatt_allow_read()
    function if allowed

    aci_gatt_allow_read

```

```

(p_read_req->Connection_Handle);
/*USER CODE END Service1_Char_1_ACI_
GATT_READ_PERMIT_REQ_VSEVT_CODE_2*/
}
/* if(p_read_req->Attribute_Handle ==
(EMUL_Context.SonaiCharHdle +
CHARACTERISTIC_VALUE_ATTRIBUTE_OFFSET))*/

```

De parameter voor de functie `aci_gatt_allow_read()` is de *Connection Handle*. Deze is op te halen via `p_read_req->Connection_Handle`.

Nu kan het programma worden uitgevoerd. In **figuur 11** en **12** ziet u dat de gemeten waarde die wordt opgeslagen in de karakteristiek toeneemt in de tijd.

Basiskennis over BLE wordt verondersteld!

De auteur gaat er van uit, dat de lezer min of meer bekend is met het gebruik van Bluetooth LE. Een korte introductie vindt u op [3].

Conclusie en vooruitblik

De eerste stappen met de Bluetooth-stack zijn nogal arbeidsintensief maar STM32CubeIDE helpt enorm om het ontwikkelproces te versnellen. Een voordeel is, dat de stack, naast een bijzonder laag energieverbruik, zeer fijnmazige controle geeft over wat er gebeurt in de draadloze interface en in de microcontroller.

Natuurlijk zou een echt meetapparaat dat zijn gemeten waarden naar een smartphone stuurt via BLE nog wat meer werk met zich meebrengen: Naast een analoog frontend zou ook een bijbehorende app op de telefoon nodig zijn. Die kan (in het ideale geval) worden gemaakt met behulp van MAUI of een soortgelijk platform-onafhankelijk framework. Meer hierover in één van de volgende afleveringen. We hopen dat deze eerste stappen een goede inleiding vormen voor het werken met een fascinerend Bluetooth-ontwikkelingssysteem! 

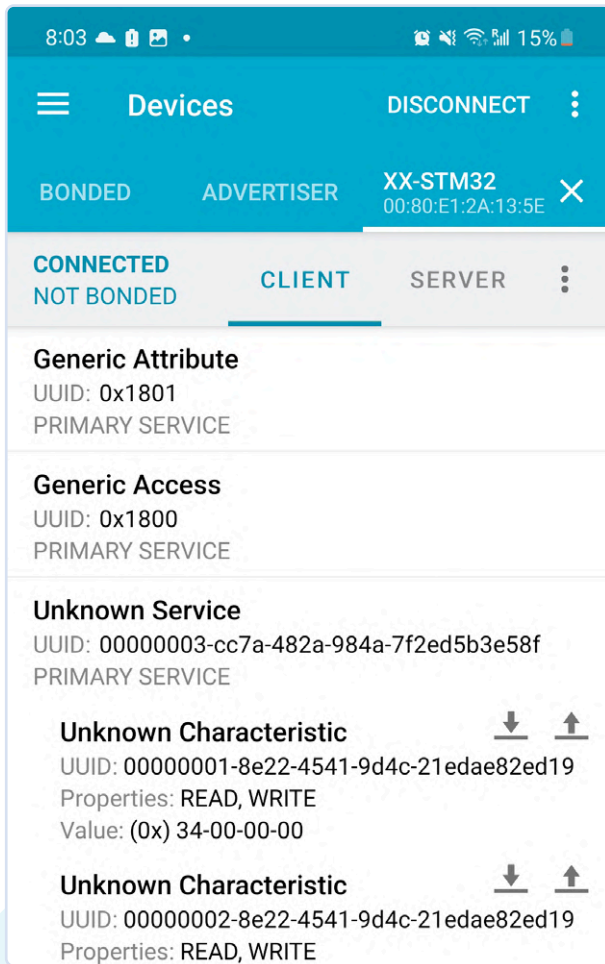
vertaling: Evelien Snel — 230698-03

Vragen of opmerkingen?

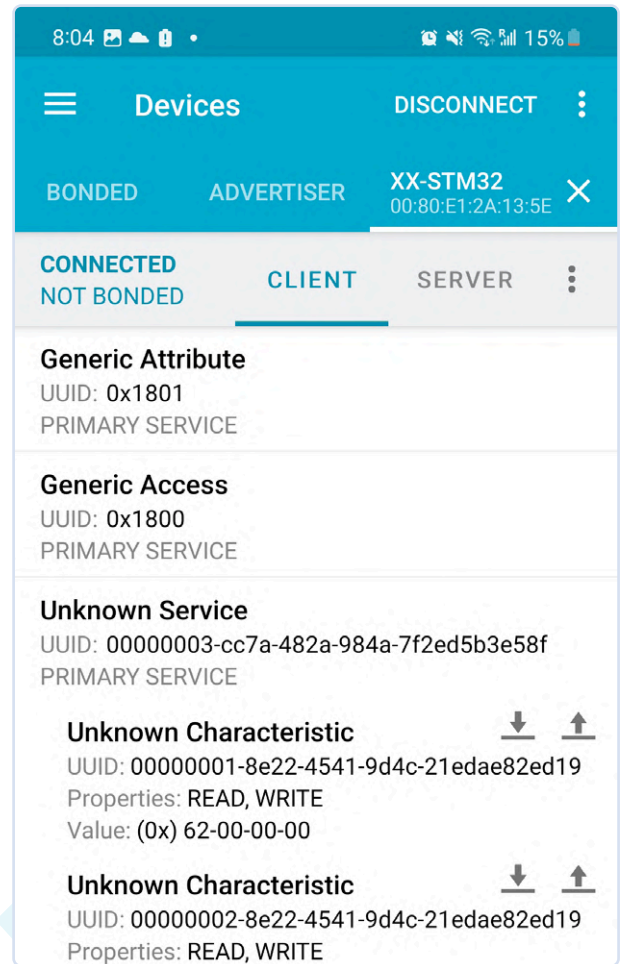
Hebt u technische vragen of opmerkingen hebt naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar de auteur via tamhan@tamoggemon.com of naar de redactie van Elektor via redactie@elektor.com.

Over de auteur

Tam Hanna werkt al meer dan 20 jaar als ingenieur met elektronica, computers en software. Hij is een zelfstandig ontwerper, auteur en journalist (@tam.hanna op Instagram). In zijn vrije tijd ontwerpt en produceert hij 3D-geprinte oplossingen en hij is een liefhebber van goede sigaren.



Figuur 11. Als de korrels in een zandloper...



Figuur 12. ...wordt de verzonden waarde geïncrmenteerd.

WEBLINKS

- [1] STM32 Cube IDE: <https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubeide.html>
- [2] BLE op de STM32WBA: eerste stappen: https://wiki.st.com/stm32mcu/wiki/Connectivity:STM32WBA_BLE_STM32CubeMX
- [3] Korte inleiding in Bluetooth Low Energy (BLE): <https://developer.android.com/develop/connectivity/bluetooth/ble/ble-overview>
- [4] De instellingen in STM32CubeIDE [screenshot]: <https://tinyurl.com/stm32cubeidesettingsjpg>
- [5] STM Sniffer voor Bluetooth Low Energy: https://wiki.st.com/stm32mcu/wiki/Connectivity:STM32_Sniffer_for_BLE



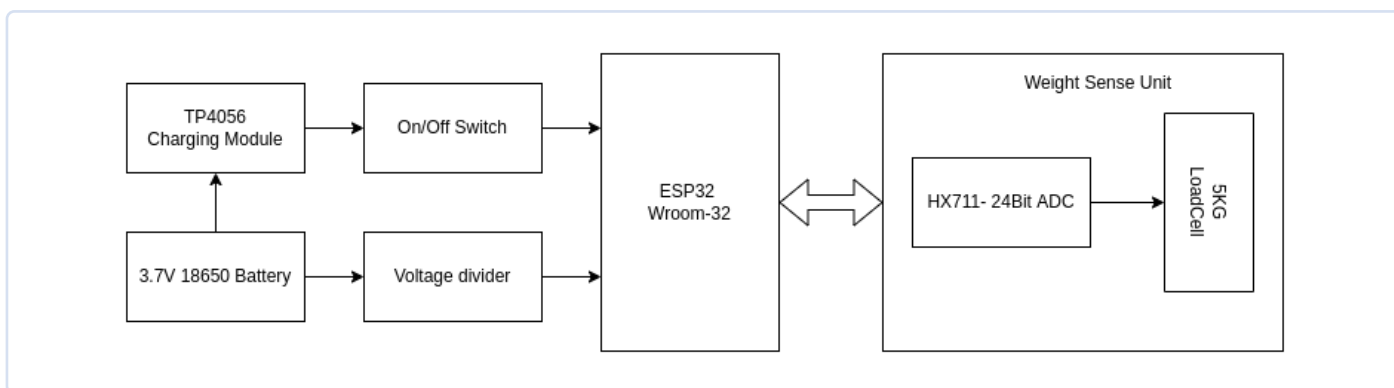
Mensvriendelijk slim keuken-voorraadsysteem

Maheshwaran Sadasivam & Vairamani Kanagavel (India)

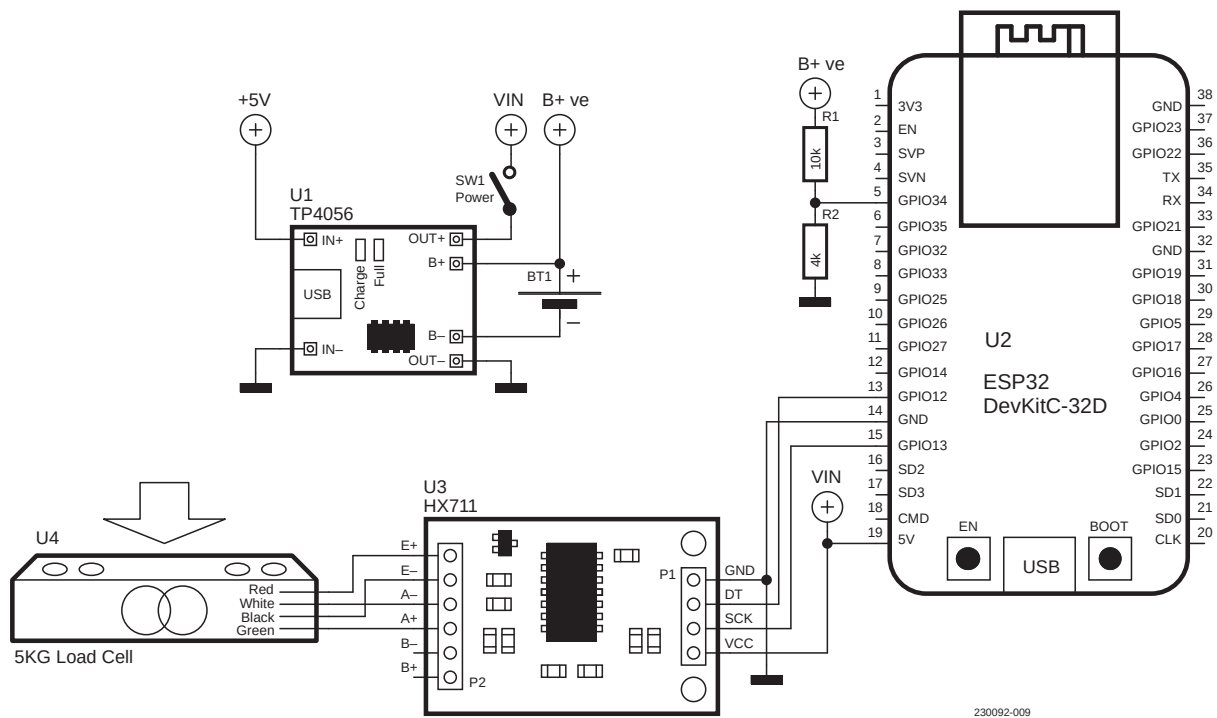
Nooit meer problemen met boodschappen doen met dit keuken-voorraadsysteem. Houd je boodschappen moeiteloos bij, met realtime updates van wat er op voorraad is. Dit systeem maakt gebruik van goedkope onderdelen, zoals een Espresif ESP32, een weegcel en een SparkFun HX711 versterker. Met batterijvoeding en een USB-lader heb je altijd alles onder controle. Nooit meer raden, sluit menselijke fouten uit en koop precies wat je nodig hebt!

Het primaire doel van elke innovatie of ontwikkeling is om de kwaliteit van het menselijk leven te verbeteren door middel van wat we mensvriendelijke of mensgerichte systemen noemen. De opkomst van smart home-technologieën in de afgelopen jaren wordt grotendeels toegeschreven aan de toepassing van het Internet of Things (IoT) in domotica. Ons project dient als een voorraadbeheersysteem voor de keuken van de gebruiker.

Ons systeem biedt realtime voorraadgegevens van etenswaren via een webbrowser. We maken gebruik van een met sensoren uitgeruste voorraadbuis om gegevens over de actuele voorraad te verzamelen. Deze gegevens worden vervolgens overgedragen en opgeslagen in een cloudplatform via WiFi. Gebruikers hebben toegang tot deze informatie om precies te weten hoeveel ze moeten kopen of bijvullen. Het systeem werkt op accu's en kan via een USB Type-B connector worden opgeladen.



Figuur 1. Blokschema van de mensvriendelijke voorraadbuis.



Figuur 2. Schema van het systeem.

Beschrijving van de hardware

Figuur 1 toont het blokschema van ons systeem. We gebruiken een weegcel [1] als sensor om het gewicht van de inhoud van de voorraadbus te meten (tot 5 kg). De uitgang van de sensor is een differentiële spanning die een maat is voor het gewicht. Dit analoge signaal wordt omgezet in een digitaal signaal via een SparkFun HX711 versterker-module [2], uitgerust met een 24-bit ADC. Een Espressif ESP32-microcontroller [3] verwerkt de ADC-gegevens en stuurt ze naar het Adafruit IO-cloudplatform via WiFi, met behulp van het MQTT-protocol. Gebruikers hebben toegang tot hun voorraadinformatie via het Adafruit IO-dashboard. Het systeem wordt gevoed door een 3,7 V lithium-ion accu, die kan worden opgeladen door een 5-V USB-lader via een TP4056-laadmodule [4].

Figuur 2 toont het volledige schema van het systeem. De weegcel heeft vier gekleurde draden: rood, zwart, wit en groen. Deze draden worden verbonden met de corresponderende pinnen op de HX711 versterkermodule: rood en zwart gaan naar de E+ en E- pinnen van de HX711, terwijl wit en groen respectievelijk naar A- en A+ gaan. GND en VCC van de HX711 zijn verbonden met 5 V en GND op de ESP32-module, terwijl de DT- en SCK-pinnen naar respectievelijk GPIO 12 en GPIO 13 gaan. Weerstand R1 en R2 fungeren als spanningsdelers voor het meten van de accuspanning; hun knooppunt is verbonden met GPIO 34, de ADC van de ESP32. De TP4056-laadmodule wordt gebruikt voor opladen via USB Type-B. Zie de onderdelenlijst voor meer informatie.

Het systeem werd getest met verschillende levensmiddelen; een paar voorbeelden zijn te zien in **figuur 3**.

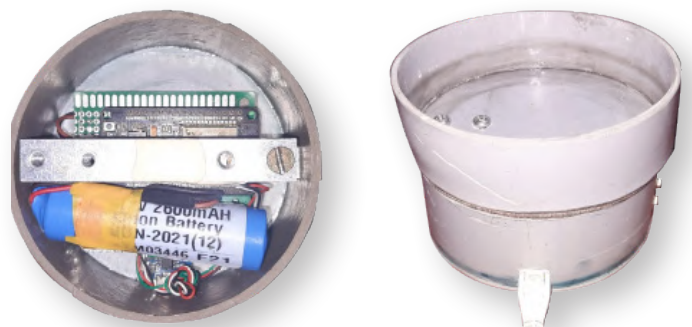
Het mechanische gedeelte

Figuur 4a toont de schakeling van het prototype, terwijl **figuur 4b** de aansluiting van de lader op het prototype toont.

De weegcel wordt als volgt gemonteerd:



Figuur 3. Met deze levensmiddelen is het systeem getest (maïs, linzen en rijst).



Figuur 4. Montage in de voorraadbus (links) en laden via USB (rechts).

1. De aluminium weegcel moet 4 montagegaten met schroefdraad hebben en een label dat de draairichting van de schroeven aangeeft. Monteer de kant zonder label tegen het vaste oppervlak en monteer de kant met het label aan het bewegende oppervlak. De pijl op de gelabelde kant moet naar beneden wijzen in de richting waarin het plateau beweegt wanneer er een gewicht op wordt gelegd.
2. De montageplaat en de bewegende plaat moeten beide zo vast mogelijk bevestigd zijn.
3. Zorg ervoor dat er stevige afstandhouders tussen de montageplaten en de weegcel worden geplaatst; afstandbussen of sluitringen zijn beide bruikbaar.

Wij hebben PVC-buis gebruikt voor het frame en een ronde PVC-plaat als basis waarop de rest wordt bevestigd met behulp van schroeven, moeren en sluitringen. De meetcel buigt enigszins als er gewicht op wordt geplaatst. Het CAD-model van de mechanische constructie en de ontwerp-tekening van het prototype zijn te zien in **figuur 5**.

Beschrijving van de firmware

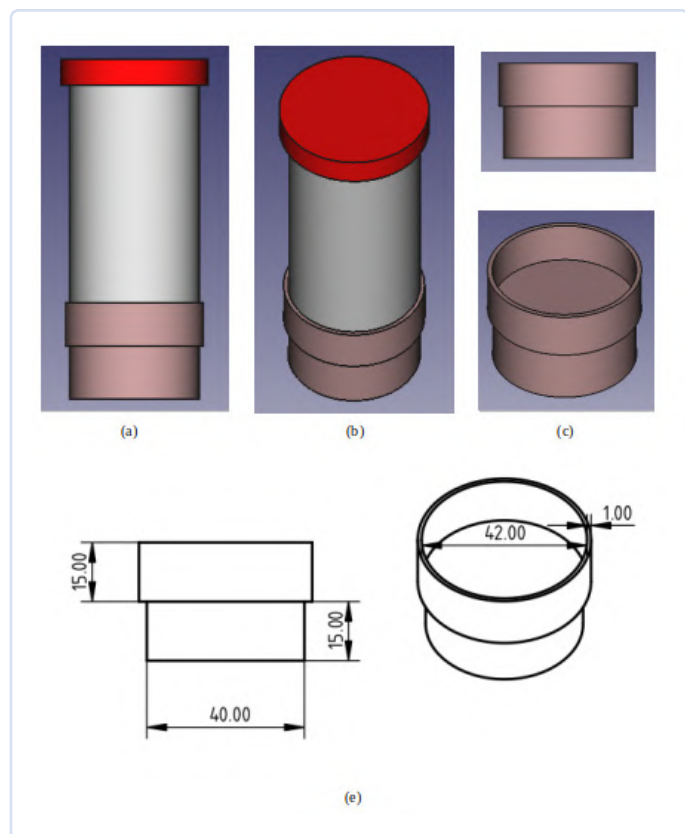
De firmware voor dit systeem is ontwikkeld met de Arduino IDE plus Embedded C. HX711, Adafruit IO en Adafruit-sensorbibliotheken zijn toegevoegd in de Arduino IDE. Zodra het bibliotheekbestand is geïnstalleerd, kun je de ESP32 development kit met een USB-kabel op de computer aansluiten en de code voor het systeem downloaden [5]. Opmerking: vervang je SSID en wachtwoord in de code, compileer de code en laad deze in de ESP32.

Het algemene stroomdiagram van de firmware is te zien in **figuur 6**. De firmware start WiFi om een internetverbinding te krijgen op basis van de inloggegevens. Vervolgens wordt de ADC van de HX711 versterkermodule benaderd via een tweedraads interface (Clock en Data) om het gewicht op de weegcel te bepalen. De ADC-pin GPIO 34 van de ESP32 wordt geïnitieerd voor het meten van de accuspanning. Zodra de initialisatie is voltooid, leest de ESP32 de gegevens van de meetcel en de accuspanning. De meetgegevens worden met voorinstelde intervallen overgebracht naar het Adafruit IO-dashboard via het MQTT-protocol, zoals getoond in **figuur 7**. Zodra de voorraadbus op de weegcel is geplaatst, moet de gebruiker op de 'tarra'-knop op het dashboard drukken, die de meetwaarde terugzet naar een referentie-nulpunt. Wanneer dit is gedaan, voert de code de tarrafunctie uit. Tips over het maken van een Adafruit IO-dashboard vind je op [6].

Conclusie

Het hier beschreven systeem kan een zegen zijn voor mensen om altijd en overal informatie over noodzakelijke boodschappen te kunnen krijgen. Het maakt een einde aan menselijke fouten en registreert voorraadgegevens automatisch. De gebruiker kan plannen maken voor het bijvullen en kopen van boodschappen op basis van de gegevens – en dat vanuit elke browser. Het systeem biedt toegang tot voorraadgegevens en rapporteert deze in realtime. In de toekomst kan dit systeem worden doorgeschakeld naar een winkel en kunnen bestelgegevens worden opgevraagd en boodschappen op afroep worden bezorgd. Het gebruik van een vergelijkbaar systeem in de industrie elimineert menselijke tussenkomst bij het voorraadbeheer en biedt 24/7 ondersteuning bij het monitoren. ◀

230092-03



Figuur 5. CAD-model van het systeem en maatschets.



Onderdelenlijst

Weerstanden (1/4 W, through-hole):

R1 = 10 k

R2 = 4 k

Diversen:

SW1 = SW_SPST (voedingsschakelaar)

BT1 = accu (18650 3,7 V lithium-ion oplaadbaar)

U1 = TP4056 op breakout-board

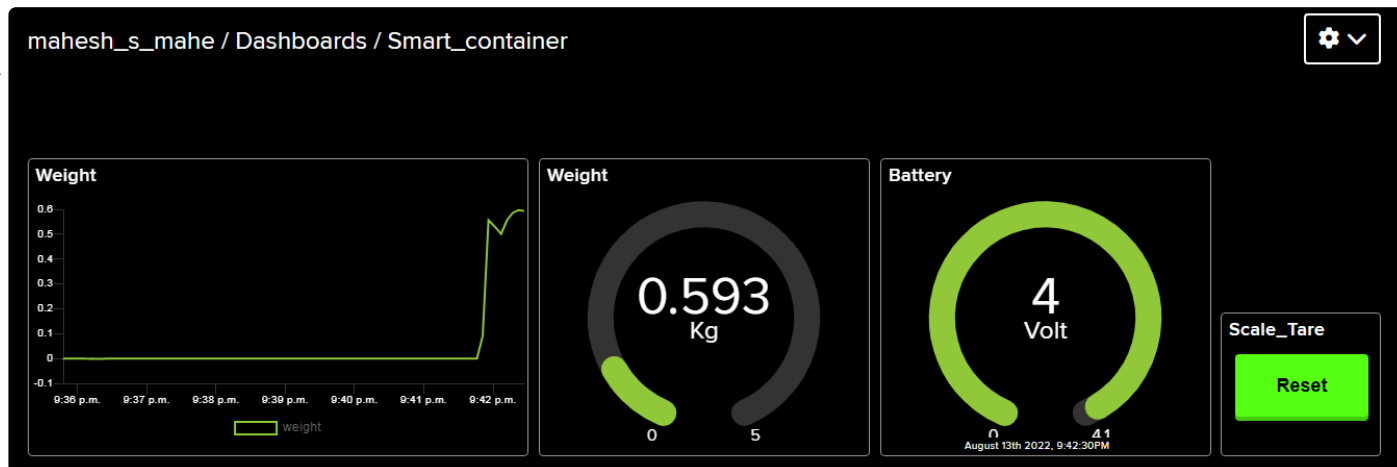
U2 = ESP32 DEVKITC-32D (ESP32 development kit)

U3 = HX711-uitbreidingsboard

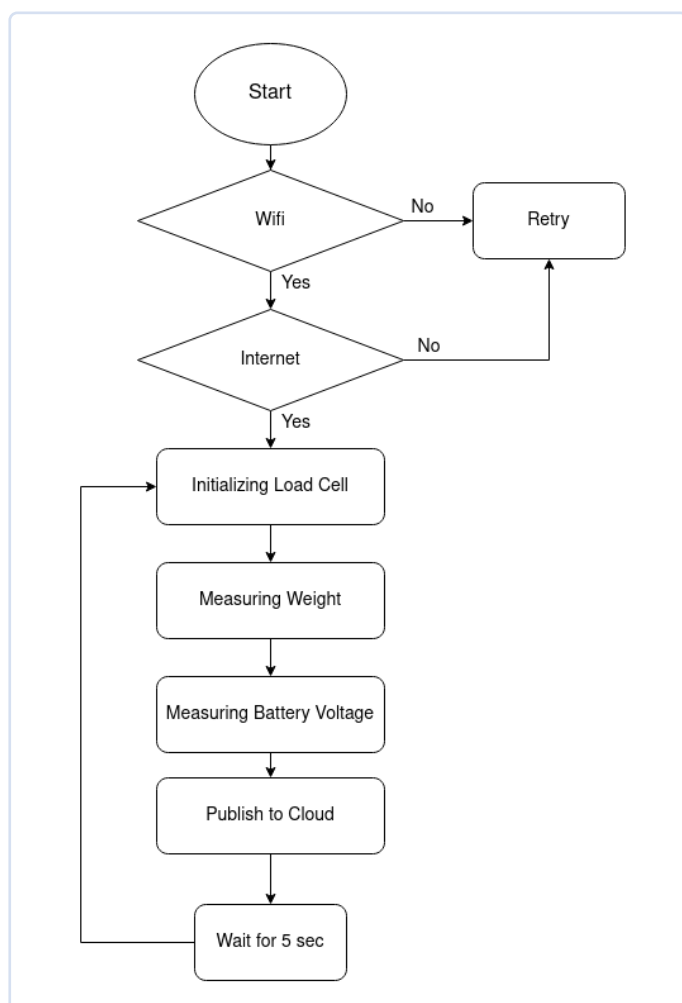
U4 = weegcel (5 kg)

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.



Figuur 7. Meetwaarden worden bijgewerkt in het Adafruit IO-dashboard.



Figuur6 . Stroomdiagram van het systeem.



Over de auteurs

Maheshwaran Sadasivam is een elektronica-onderzoeker die een M.Sc. in elektronica heeft behaald aan St. Joseph's College, Tiruchirappalli, Tamil Nadu, India. Zijn interessegebieden zijn mensgerichte automatiseringssystemen, embedded systemen en robotica.

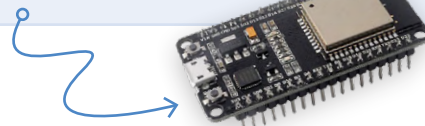


Vairamani Kanagavel is een elektronica-onderzoeker die zijn M.Sc. in elektronica voltooide aan St. Joseph's College, Tiruchirappalli, Tamil Nadu, India, en zijn Ph.D. in instrumentatie aan de Madurai Kamaraj University, Madurai, Tamil Nadu, India. Zijn interessegebieden zijn draadloze sensornetwerken en mensgerichte automatiseringssystemen.



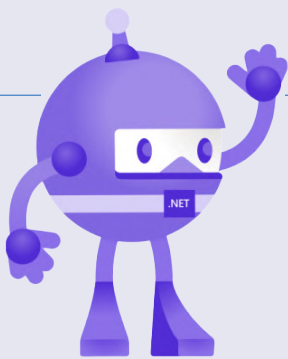
Gerelateerde producten

> ESP32-DevKitC-32D
www.elektor.nl/18701



WEBLINKS

- [1] Aan de slag met weegcellen: <https://tinyurl.com/loadcellstart>
- [2] HX711-datasheet (SparkFun Electronics): <https://tinyurl.com/sfhx711>
- [3] ESP32-serie datasheet: <https://tinyurl.com/esp32datasheet>
- [4] TP4056 lineaire Li-Ion acculader: <https://tinyurl.com/tp4056liion>
- [5] Software downloaden: <https://elektormagazine.com/230092-03>
- [6] Aan de slag met Adafruit IO: <https://learn.adafruit.com/adafruit-io/getting-started>



MAUI:

programmeren voor PC, tablet en smartphone

het nieuwe framework in theorie en praktijk

Dr. Veikko Krypczyk (Duitsland)

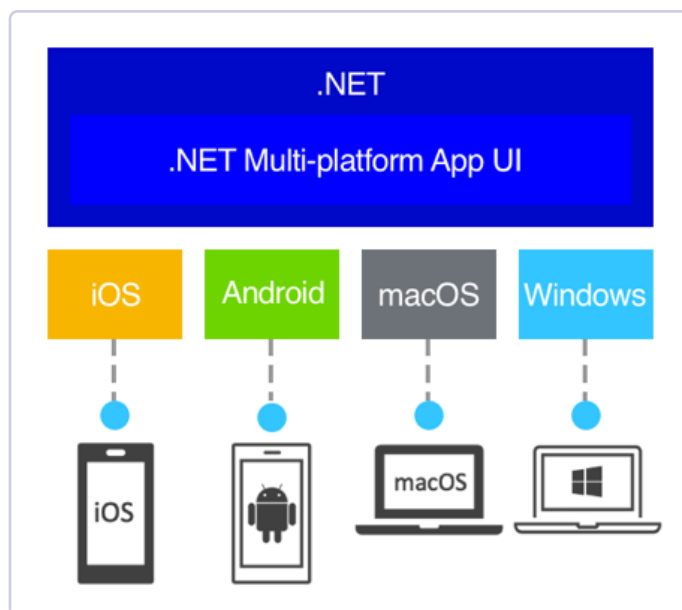
Bij het ontwikkelen van een PC-toepassing, bijvoorbeeld voor simulatie of gegevensverzameling, wordt het steeds belangrijker dat de app ook beschikbaar is voor mobiele apparaten. Nu hebben we met .NET MAUI een interessante ontwikkeltool waarmee ontwikkelaars de kloof tussen verschillende platforms naadloos kunnen overbruggen.

Elektronici moeten vaak niet alleen microcontrollers programmeren, maar ook de corresponderende applicaties voor PC's of mobiele apparaten. Een veelvoorkomend scenario is bijvoorbeeld het schrijven van een app voor een smartphone waarmee je hardware op afstand kunt bedienen via een mobiele data- of Bluetooth Low Energy-verbinding (BLE). Je wilt bijvoorbeeld individuele buitenlampen op je terrein bedienen, waarbij de lampen zijn uitgerust met een microcontroller-gebaseerde interface. De communicatie tussen de interface en een smartphone kan via BLE verlopen. Je hoeft alleen maar een op maat geprogrammeerde app te ontwikkelen die op je smartphone draait. Dat is waar dit artikel over gaat. Hier verkennen we een nieuw en geavanceerd framework met de naam .NET MAUI [1] voor het maken van toepassingen voor verschillende apparaten en besturingssystemen.

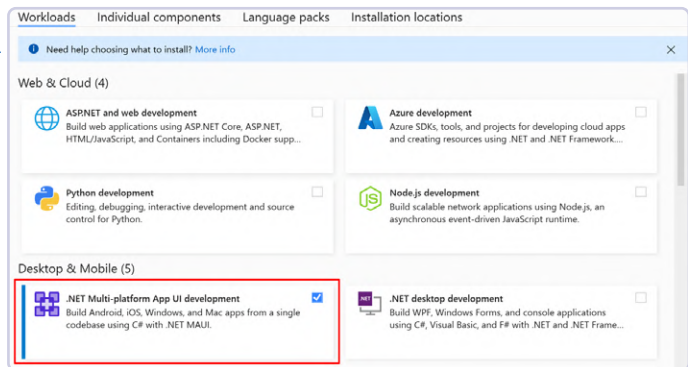
.NET MAUI: een overzicht

Zoals de naam al doet vermoeden, maakt het .NET MAUI framework gebruik van het cross-platform .NET framework vanaf versie 6.0. Programmeren kan zowel voor Windows als voor macOS met behulp van de geïntegreerde ontwikkelomgeving Visual Studio. Voor dit project volstaat de gratis Community Edition. Als je onder Windows ontwikkelt, richt je je op Windows- en Android-systemen.

Voor het maken van apps voor iOS en macOS is toegang tot een Mac-PC vereist, omdat het genereren van de uiteindelijke app-pakketten niet mogelijk is zonder een Mac-PC. Deze beperking is niet specifiek voor .NET MAUI, maar geldt in het algemeen voor het ontwikkelen van apps voor de iOS- en macOS-omgeving. Als je daarentegen ontwikkelt op macOS (Visual Studio for Mac), kun je rechtstreeks apps maken voor alle systemen behalve Windows. We leggen de opzet van de ontwikkelomgeving uit en doorlopen dan de stappen van het maken van een app als voorbeeld. De apps voor alle doelsystemen worden gegenereerd vanuit een gedeelde codebase, waarbij C# wordt gebruikt voor de programm logica en XAML voor de gebruikersinterface. Het framework zorgt ervoor dat de app op het betreffende apparaat draait en waar nodig wordt aangepast aan de systeemomgeving (**figuur 1**).



Figuur 1. .NET MAUI genereert een multi-platform UI (bron: Microsoft).



Figuur 2. Selecteer de .NET MAUI Workload om te installeren.

Je hoeft je (in elk geval in eerste instantie) geen zorgen te maken over hoe de gebruikersinterfaces eruit zullen zien en zullen functioneren op Windows, macOS of Android. In plaats daarvan definiëer je de gebruikersinterface op een abstract niveau met XAML; MAUI zorgt voor de juiste weergave van de knop, het tekstveld en andere elementen op de doelsystemen. Er is niets dat je tegenhoudt om individuele aanpassingen te maken voor elk doelplatform, zoals het gebruik van verschillende kleuren, pictogrammen, spatiering, enzovoort, maar in het ideale geval zijn deze aanpassingen minimaal of helemaal niet nodig.

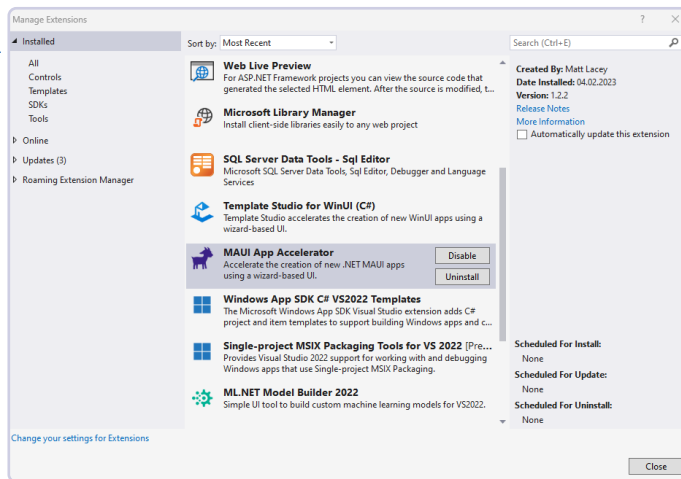
Hetzelfde geldt voor het gebruik van hardware en apparaateigenschappen. Vooral op mobiele apparaten kan informatie van een sensor zoals een camera, GPS enzovoort vaak een belangrijke rol spelen. Elk besturingssysteem maakt op een andere manier gebruik van deze systeemfuncties, meestal via specifieke programmabibliotheken (API's). .NET MAUI abstraheert ook deze systeembibliotheken en biedt een generieke programmeerinterface voor een breed scala aan systeem- en apparaatfunctionaliteiten. Dit betekent dat je enkel voor deze platformoverkoepelende interface moet programmeren en je geen zorgen hoeft te maken over hoe je de sensoren en andere functies op elk specifiek doelsysteem moet gebruiken. Als zo'n generieke programmeerinterface (nog) niet bestaat, kun je ook toegang krijgen tot de specifieke API's van elk systeem met behulp van platform-specifieke code. Dat zou echter eerder de uitzondering dan de regel moeten zijn.

Hoewel .NET MAUI nog relatief nieuw is (eind 2022 voor het eerst uitgebracht), is het de technologische opvolger van Xamarin, dat heeft geprofiteerd van de steun van een grote en actieve online-community. Ze leveren actief componenten en bibliotheken voor uitbreiding en bieden uitgebreide ondersteuning in de vorm van documentatie, blogposts, discussieforums en meer.

De ontwikkelomgeving voorbereiden

Het hele proces is niet ingewikkeld. We gaan ervan uit dat je met Microsoft Windows werkt. Om te beginnen moet je ervoor zorgen dat je de meest recente updates voor Windows 10 of 11 hebt geïnstalleerd. Installeer vervolgens Visual Studio [2]. Selecteer in de installatiewizard een *Workload* met de naam *.NET Multi-platform App UI development* (figuur 2).

Je kunt de installatiewizard later weer openen als je extra componenten moet installeren. Nu hebben we al projectsjablonen om een .NET MAUI app te ontwikkelen. Het maken van een nieuw project wordt echter sterk vereenvoudigd door een extra



Figuur 3. Installatie van de MAUI App Accelerator Extension.

extensie. Start Visual Studio en klik rechtsonder in het opstart-dia-logvenster op *Continue without code*. Visual Studio start nu op zonder een actief project. Ga naar het menu *Extensions* en selecteer *Manage Extension*. Zoek naar de *MAUI App Accelerator* extensie (figuur 3) en installeer deze.

Nadat de installatie is voltooid, moet Visual Studio opnieuw worden opgestart. Nu hebben we een assistent waarmee we de basisstructuur van een .NET MAUI-app zullen maken. We kunnen dit demonstreren aan de hand van een voorbeeld.

Downloads

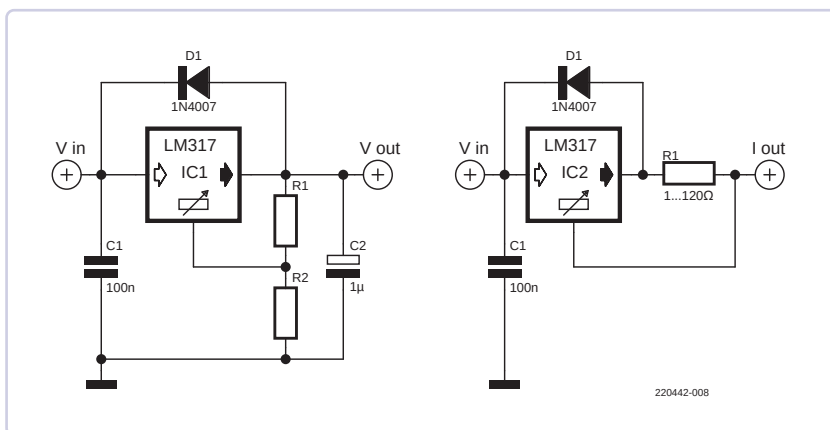
De volledige broncode en meer informatie (screenshots, wireframes) zijn te vinden op de GitHub-repository van de auteur [4].

Een voorbeeld

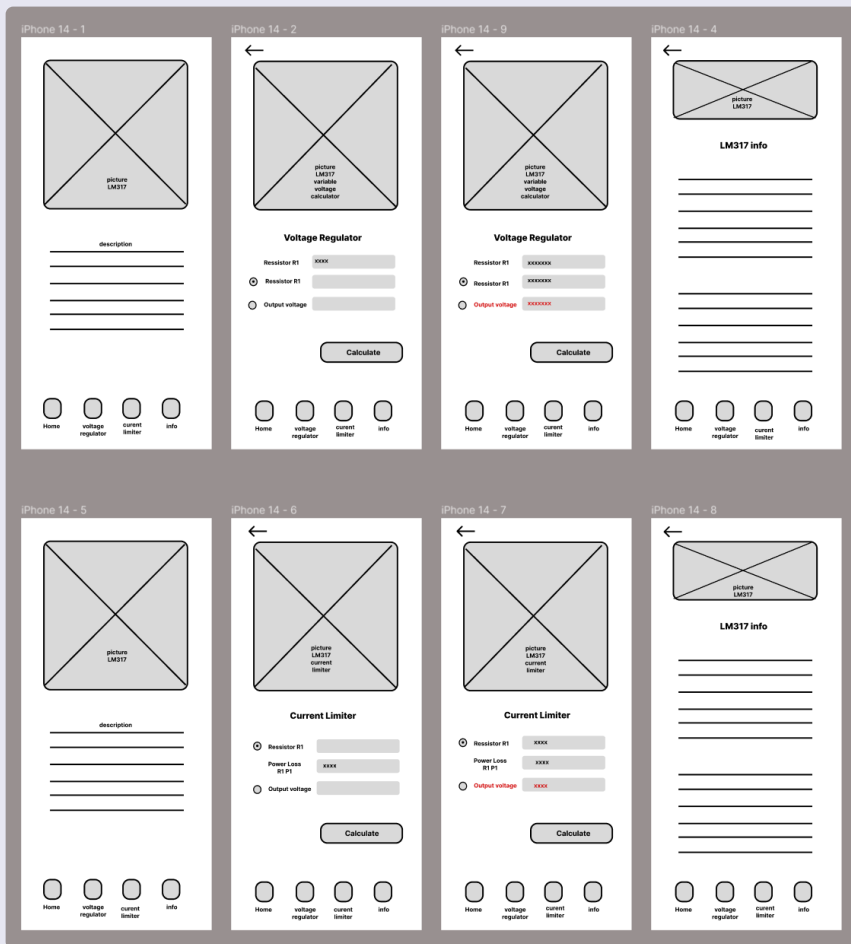
We willen een mobiele app ontwikkelen voor Android en iOS. We gaan een informatie- en reken-app maken voor de bekende LM317-spanningsregelaar. De functionaliteit en het gebruik van de LM317 zou bij de meeste lezers bekend moeten zijn. We kunnen deze spanningsregelaar gebruiken om een constante uitgangsspanning of een constante stroom te genereren (figuur 4).

Om de geleverde uitgangsspanning te berekenen, kunnen we de volgende vereenvoudigde praktische formule toepassen:

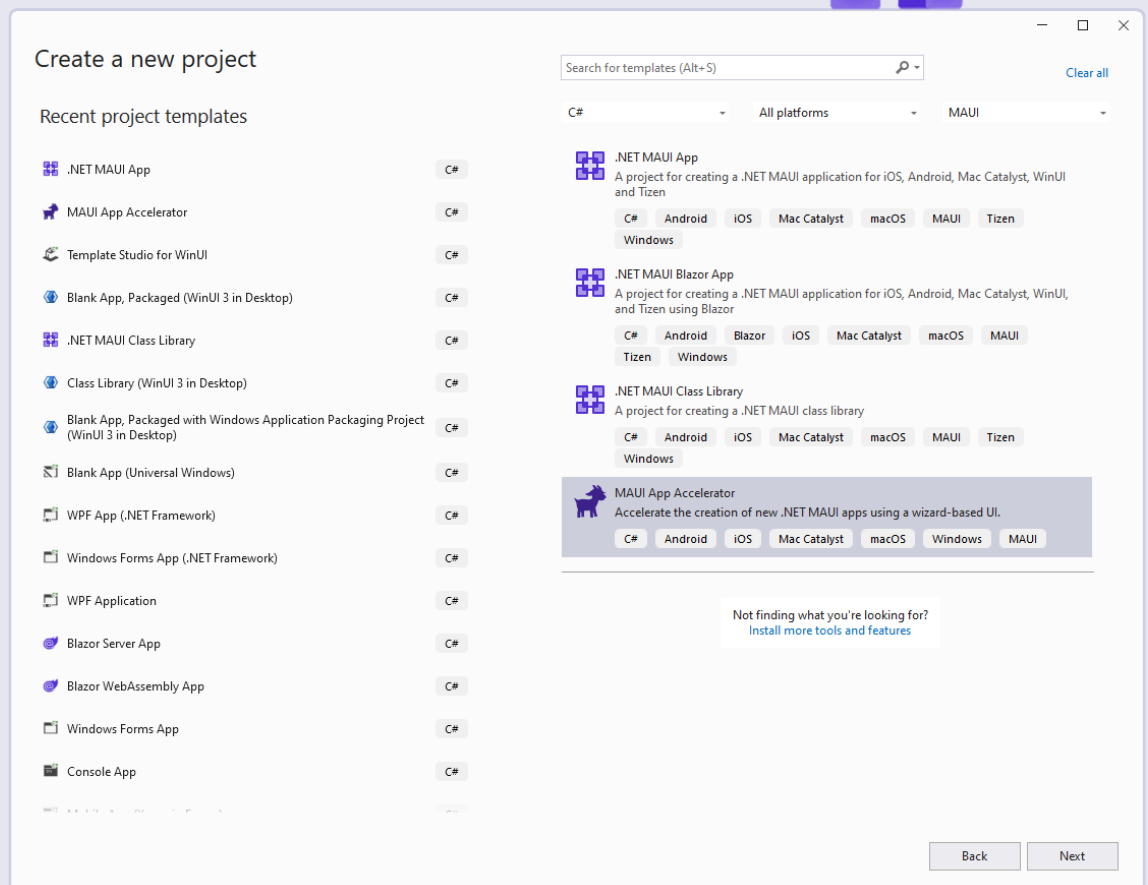
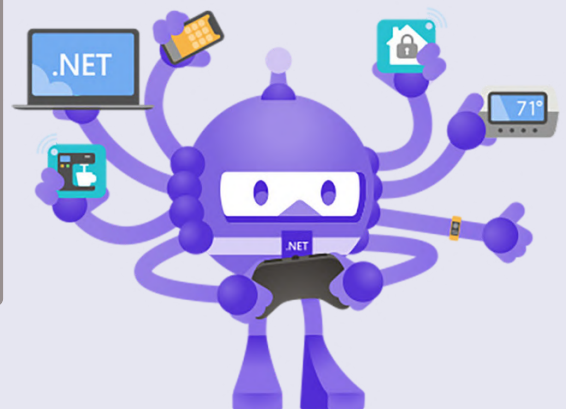
$$V_{\text{out}} = 1,25 \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$



Figuur 4. Gebruiksscenario's voor de LM317-spanningsregelaar.



Figuur 5. Wireframe voor de calculator-app (iOS of Android).



Figuur 6. Selecteer het MAUI App Accelerator-sjabloon voor het starten van het project.



Configure your new project

MAUI App Accelerator C# Android iOS Mac Catalyst macOS Windows MAUI

Project name
ElectronicCalculator

Location
C:\Users\User\OneDrive\Desktop

Solution name ⓘ
ElectronicCalculator

☐ Place solution and project in the same directory

Project will be created in "C:\Users\User\OneDrive\Desktop\ElectronicCalculator\ElectronicCalculator\"

Back Create

Figuur 7. Voer de naam en opslaglocatie van het project in.

We kunnen deze vergelijking herschikken om R2 op te lossen en de waarde van de weerstand te bepalen om een specifieke uitgangsspanning te produceren. De waarde van weerstand R1 is gespecificeerd als $240\ \Omega$ in de datasheet van de LM317. Dit IC kan ook worden gebruikt om een constante stroombron te maken, waarbij deze relatie geldt:

$$I_{\text{out}} = \frac{1,25}{R_1}$$

In dit geval moet R1 een waarde hebben waarvoor geldt $1\ \Omega \leq R_1 \leq 120\ \Omega$. Hoewel er al veel reken-apps beschikbaar zijn voor deze spanningsregelaar, is het handig om er hier een te bouwen als voorbeeld van het maken van een app met .NET MAUI.

Het ontwerp

Een beginnersfout is om meteen te gaan programmeren terwijl je nog geen plan hebt bedacht. Het is altijd handig om een visueel prototype te hebben, al is het maar een ruwe schets (figuur 5). Dit prototype is een wireframe voor een mobiele app (iOS of Android). We gebruiken vier pagina's die kunnen worden geselecteerd via navigatietabs onder aan de pagina. Deze vier pagina's moeten de volgende inhoud bieden:

- **Home:** schema en algemene informatie over de LM317-spanningsregelaar.
- **Voltage Regulator:** schema en invoervelden voor de weerstanden R1 en R2, evenals de gewenste uitgangsspanning (U_{Out}). Met de keuzerondjes kan worden geselecteerd of de berekening moet worden uitgevoerd voor R2 of U_{Out} . Er is ook een knop om de berekening te starten.
- **Constant Current Regulator:** hiervoor hebben we invoervelden voor weerstand R1 en de uitgangsstroom. Met de keuzerondjes kun je kiezen om de waarde van R1 of I_{Out} te berekenen. Er is ook een knop om de berekening uit te voeren.

- **Info:** hier tonen we de volledige datasheet van de spanningsregelaar, zoals op een webpagina.

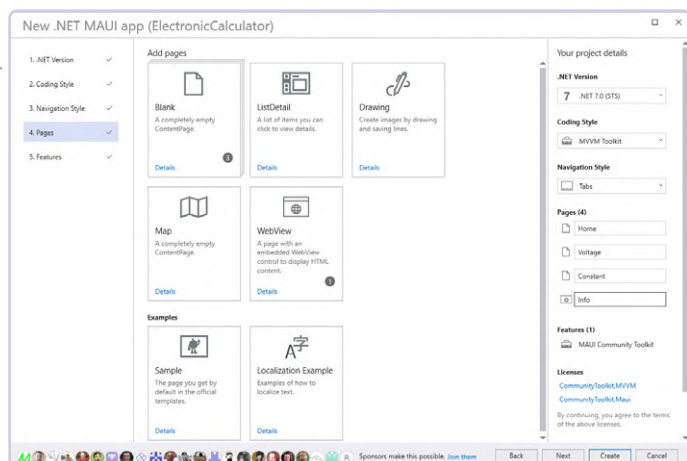
Een concept als dit vormt de basis voor de implementatie van de app.

Begin van het project

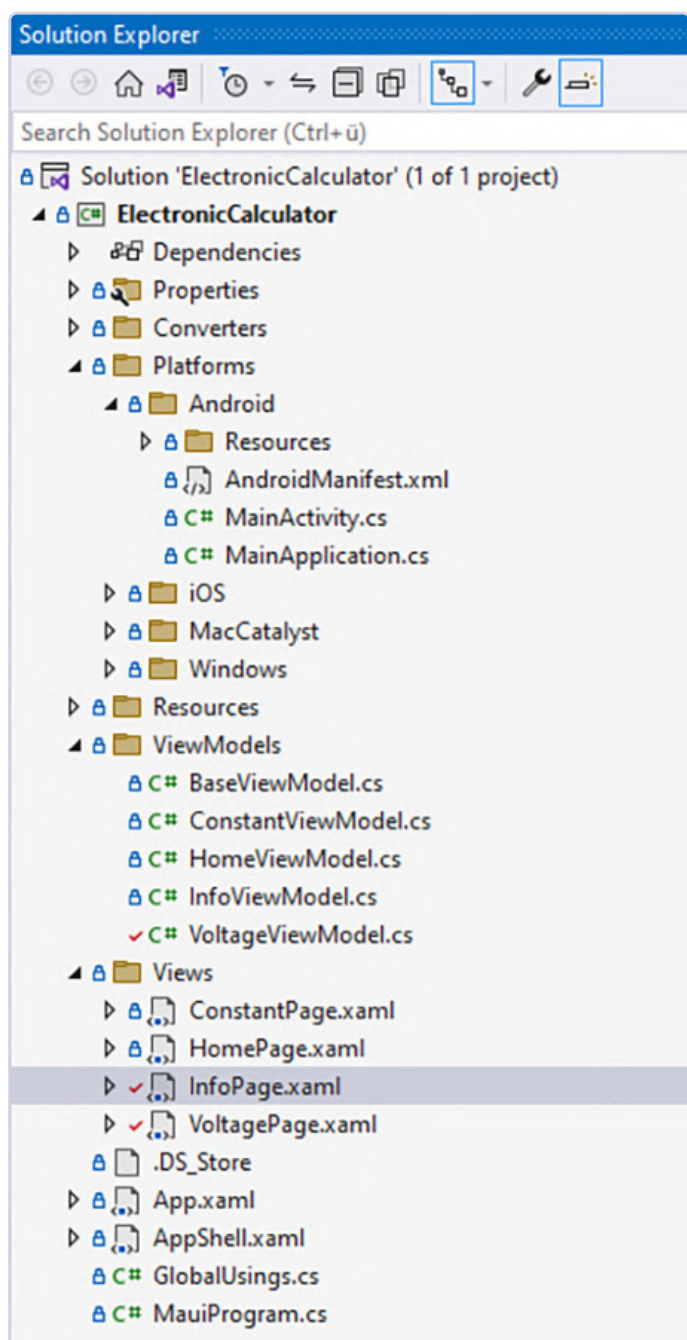
Nadat je Visual Studio opnieuw hebt gestart, selecteer je het MAUI App Accelerator-sjabloon (figuur 6). In de volgende stap moet je de naam van de app en de locatie opgeven; zie figuur 7. Vervolgens word je gevraagd om de .NET-versie (framework) te kiezen – gebruik de nieuwste, .NET 7.0 op het moment van schrijven (figuur 8). Geef in de volgende stap (figuur 9) de volgende informatie:

- **Coding Style:** de architectuur van de app wordt hier gedefinieerd. Kies **MVVM-Toolkit**, wat betekent dat je een overeenkomstige bibliotheek in het project integreert en het MVVM-architectuurpatroon gebruikt. Dit zorgt voor ontkoppeling van

Figuur 8. Selecteer de .NET-versie en navigatie.



Figuur 9. De layout en pagina's van de app definiëren.



Figuur 10. Projectstructuur van de MAUI-app.

de lagen (Model, View, ViewModel) en wordt beschouwd als de standaard voor het implementeren van apps waarbij de gebruikersinterface wordt gedefinieerd met XAML. Je kunt er meer informatie over vinden op [3].

- **Navigation Style:** kies *Tabs* uit de beschikbare opties om tabbladen te gebruiken voor navigatie.
- **Pages:** hier kun je drie pagina's van het type *Blank* toevoegen en ze *Home*, *Voltage* en *Constant* noemen. Voeg daarnaast een pagina van het type *WebView* toe en noem deze *Info*.

Als je deze details hebt ingevuld, kun je Visual Studio de app laten maken. Dit proces kan even duren. Daarna kom je in de ontwikkelomgeving terecht met het project geopend.

Als we de projectstructuur (**figuur 10**) bekijken, valt het volgende op:

- **Multi-targeting:** er is maar één project voor alle platformen, met een aparte map voor elk doelsysteem.
- **ViewModels:** bevat de klassen voor de programmalogica en dient als verbinding met de gebruikersinterface.
- **Views:** klassen die bestaan uit C# en XAML-bestanden voor de gebruikersinterface.
- **App.xaml, MauiProgram.cs:** ingangen voor de UI en uitvoering van de app.
- **Resources:** bevat afbeeldingen en andere bronnen voor de app.

Zonder verdere programmering kan de app nu voor de eerste keer worden gestart (**figuur 11**). Eventueel kan gevraagd worden om een Android-emulator in te stellen op je systeem voor de eerste start.

De gebruikersinterface

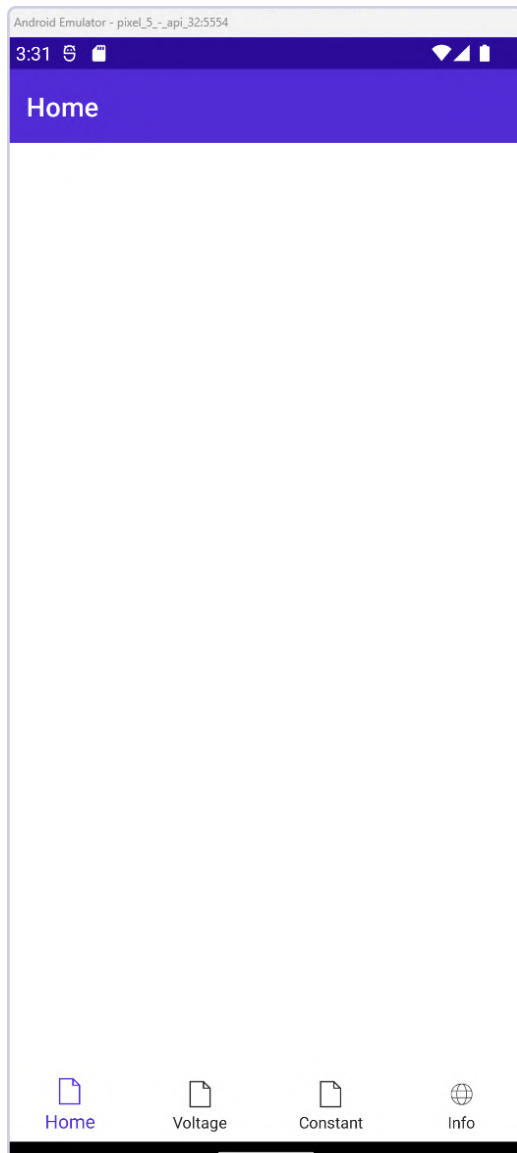
De gebruikersinterface wordt gedeclareerd in XAML, en dan met name in de view-bestanden. Laten we als voorbeeld eens kijken naar de pagina voor het tweede tabblad. Eerst moet de layout van de pagina worden gedefinieerd. Hiervoor bestaan verschillende layout-containers, zoals *Grid* voor het definiëren van rijen en kolommen. Binnen zo'n raster kunnen de individuele elementen van de gebruikersinterface, zoals een afbeelding, knop of tekstvak, in cellen worden geplaatst. Andere layout-containers laten verticale of horizontale rangschikking van de elementen toe. Het principe is om zoveel mogelijk relatieve positionering en spatiëring te gebruiken in plaats van absolute waarden. Dit is nodig om ervoor te zorgen dat de gebruikersinterface op een groot aantal apparaten met verschillende schermgroottes en resoluties correct wordt weergegeven. Onze pagina bestaat bijvoorbeeld uit een raster met twee rijen op het bovenste niveau, waardoor de pagina in twee even grote gebieden (50:50) wordt verdeeld. In de bovenste helft plaatsen we de afbeelding voor het schema. In de onderste helft worden de tekstvelden voor invoer, labelvelden voor bijschriften, keuzerondjes en een knop in een regelmatig patroon gerangschikt. De individuele elementen kunnen verder worden aangepast wat betreft grootte, uitlijning en ontwerp. Een uittreksel van de broncode voor de pagina is te zien in **listing 1**.



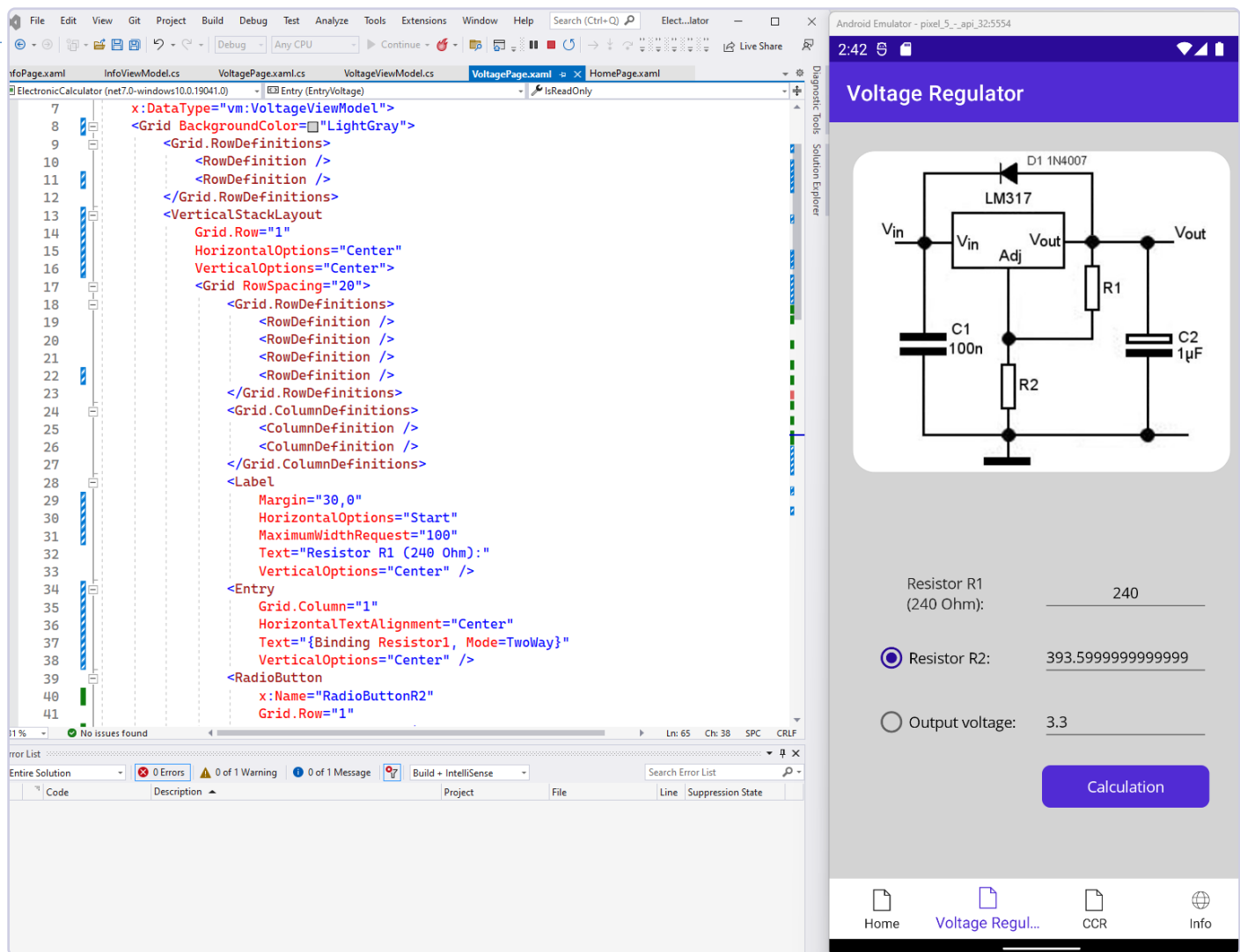
Listing 1. Gedeelte van de broncode voor de paginadefinitie.

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
<ContentPage
    <Grid BackgroundColor="LightGray">
        <Grid.RowDefinitions>
            <RowDefinition />
            <RowDefinition />
        </Grid.RowDefinitions>
        <VerticalStackLayout
            Grid.Row="1"
            HorizontalOptions="Center"
            VerticalOptions="Center">
            <Grid RowSpacing="20">
                <Grid.RowDefinitions>
                    <RowDefinition />
                    <RowDefinition />
                    <RowDefinition />
                    <RowDefinition />
                </Grid.RowDefinitions>
                <Grid.ColumnDefinitions>
                    <ColumnDefinition />
                    <ColumnDefinition />
                </Grid.ColumnDefinitions>
                <Label
                    Margin="30,0"
                    HorizontalOptions="Start"
                    MaximumWidthRequest="100"
                    Text="Resistor R1 (240 Ohm):"
                    VerticalOptions="Center" />
                <Entry
                    Grid.Column="1"
                    HorizontalTextAlignment="Center"
                    Text=""
                    VerticalOptions="Center" />
                ...
                <Button
                    Grid.Row="3"
                    Grid.Column="1"
                    Command=""
                    Text="Calculation" />
            </Grid>
        </VerticalStackLayout>
        <VerticalStackLayout Margin="20"
            VerticalOptions="Center">
            <Border>
                <Border.StrokeShape>
                    <RoundRectangle CornerRadius="20" />
                </Border.StrokeShape>
                <Image Aspect="AspectFit" Source="lm317c.jpg" />
            </Border>
        </VerticalStackLayout>
    </Grid>
</ContentPage>
```

Voor een beter begrip kun je de app starten in een emulator en de broncode voor deze pagina in Visual Studio ernaast op het scherm zetten. In de Debug-modus kun je met de *Hot Reload*-functie wijzigingen aanbrengen in de XAML-code en het effect daarvan meteen zien in de draaiende app, wat betekent dat ze worden toegepast na het opslaan zonder dat je opnieuw hoeft op te starten (!). Het werkt ook op een echt mobiel apparaat en vervangt een grafische ontwerper (**figuur 12**). Op deze manier kun je elementen 'wegcommentariëren' of eigenschappen aanpassen in de XAML-code en direct de gevolgen in de app zien.



Figuur 11. Lanceer de app in de Android-emulator.



Figuur 12. Hot reloading maakt het mogelijk een UI heel snel te bouwen.

Alle pagina's van de app zijn op deze manier gemaakt. Je kunt de broncode van de View-bestanden (XAML) bekijken voor meer details. De *InfoPage* bevat alleen een *WebView*-element. Hier kunnen we een HTML-bestand weergeven. We hebben een statische link opgenomen naar een webpagina waar de datasheet van de spanningsregelaar kan worden gevonden. Als alternatief zou het mogelijk zijn geweest om een besturingselement te integreren voor het weergeven van een PDF-bestand.

De programmalogica

Hiermee bedoelen we de stappen of instructies die bepalen hoe de gewenste waarden voor de weerstand en de uitgangsspanning worden berekend. De kernconcepten bestaan uit de volgende elementen:

- **Variables:** variabelen worden gebruikt om de waarden van de ingevoerde gegevens op te slaan en te beheren. Dit gebeurt in de overeenkomstige ViewModel-bestanden, zoals in het bestand *VoltageViewModel*:

```
[ObservableProperty]
private double voltage;
```

```
[ObservableProperty]
private double resistor1 = 240;
```

```
[ObservableProperty]
private double resistor2;
```

```
[ObservableProperty]
private bool voltageMode = true;
```

Attributen van de variabele zijn de zichtbaarheid (*private*), het gegevenstype (*double*) en de naam (*resistor1*). Door het *[ObservableProperty]*-attribuut te gebruiken, wordt de ontwikkelomgeving geïnstrueerd om de lokale variabele automatisch om te zetten in een *public* eigenschap. Hierdoor kan de waarde ook van buiten de klasse worden benaderd.

- **Data Binding:** elementen van de velden van de gebruikersinterface, zoals het gegevensinvoerveld (*Entry*), zijn gebonden aan eigenschappen in de C#-code. Dit gebeurt rechtstreeks in het overeenkomstige XAML-bestand. Bijvoorbeeld:



```
x:Name="EntryR2"
Grid.Row="1"
Grid.Column="1"
MinimumWidthRequest="150"
Text=""
VerticalOptions="Center" />
```

Dit is de definitie van het tekst invoerveld (Entry) voor de weerstandswaarde R_2 . De eigenschap `Text` is gebonden aan de gedefinieerde eigenschap (zoals hierboven vermeld) met behulp van de Binding-syntax. `Mode = TwoWay` geeft aan dat de gegevensbinding bidirectioneel is, zodat een wijziging in het invoerveld (gebruikersinvoer) de onderliggende broncode bijwerkt en wijzigingen in de variabele (na berekening) ook de weergave bijwerkt.

- **Commands:** in de broncode wordt een berekeningsmethode gedefinieerd, bijvoorbeeld voor de uitgangsspanning of de weerstandswaarde:

```
[RelayCommand]
private void Calculate()
{
    if (voltageMode)
    {
        Voltage = 1.25 * (1 + Resistor2 / Resistor1);
    }
    else
    {
        Resistor2 = Resistor1 * (Voltage / 1.25 - 1);
    }
}
```

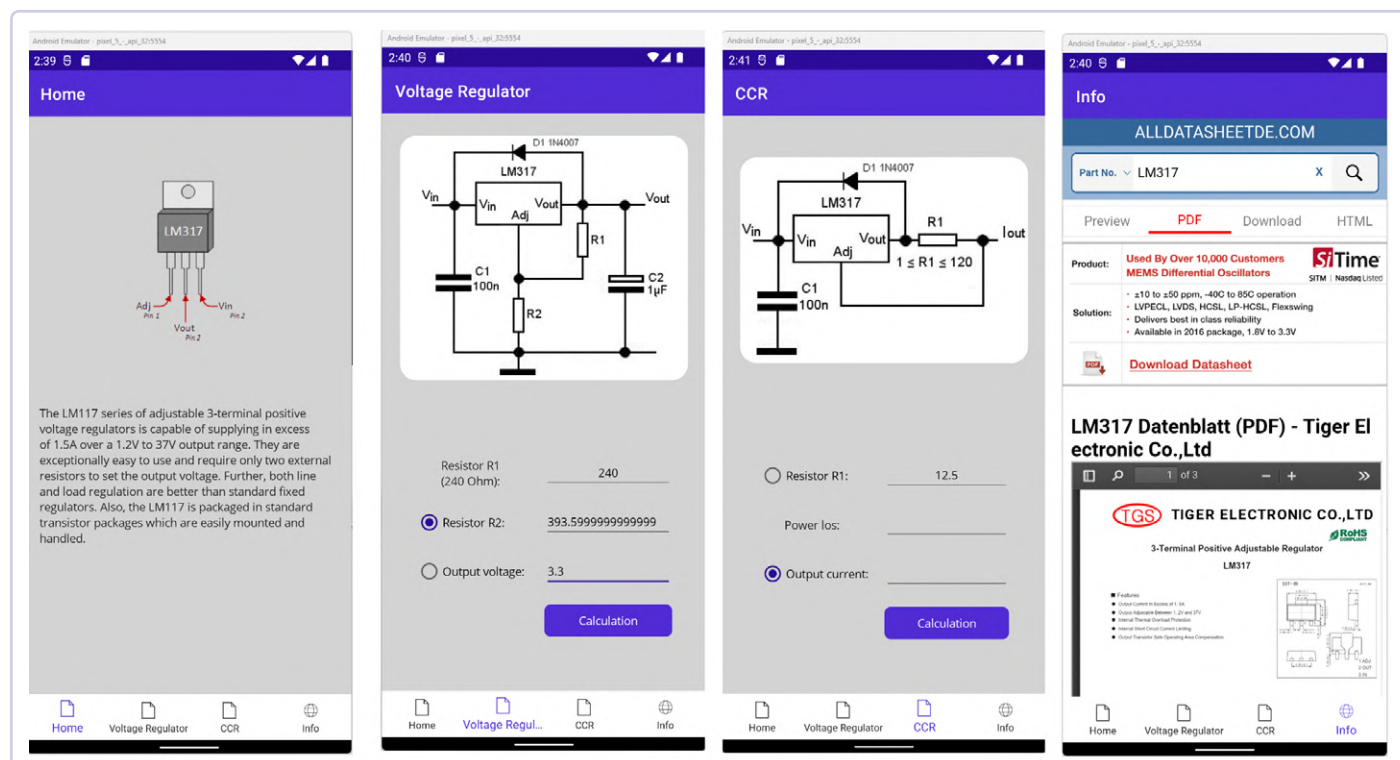
Door het `[RelayCommand]`-attribuut toe te voegen, kan de methode rechtstreeks vanuit het XAML-bestand, in dit geval via de knop, worden aangeroepen als een commando. De eigenschap `Command` bindt eraan.

```
Grid.Row="3"
Grid.Column="1"
Command=""
Text=" Calculation " />
```

Dit zijn de essentiële functies van de app. Voor een beter begrip kun je de broncode in Visual Studio bestuderen en ermee experimenteren.

De resultaten

Het resultaat is een app voor mobiele systemen, in eerste instantie ontworpen voor Android (**figuur 13**). We kunnen de tabbladen gebruiken om tussen pagina's te bladeren en de berekeningen te bekijken. Je kunt ook de datasheet inzien. De app werd in eerste instantie bekeken met behulp van de emulator, maar een echt Android-apparaat kan via USB of lokale WiFi aan de ontwikkel-PC worden gekoppeld om de app op het apparaat te installeren. Het Android-apparaat vereist dat de Developer Mode is ingeschakeld voordat het APK-bestand wordt gedownload.



Figuur 13. De eerste versie van de app met calculatorfunctie in de Android-emulator.



Andere platformen

Met .NET MAUI kun je native apps maken voor verschillende platformen. Het hier getoonde voorbeeld is toegesneden op een mobiele app (met tabbladen met beperkte inhoud). Als je codeert op een Mac met de nieuwste versie van de Xcode-ontwikkelomgeving, kun je de app voor iOS rechtstreeks vanuit Visual Studio compileren en uitvoeren op een iPhone of iOS-simulator. Het kan zijn dat je kleine aanpassingen in het ontwerp nodig hebt, zoals bij de kleuren. Om de kans op compatibiliteitsproblemen te verkleinen, kun je het beste zo weinig mogelijk statische en absolute elementen definiëren en het systeem de uitlijning en het ontwerp laten afhandelen volgens de ontwerprichtlijnen; of specifieke functies definiëren voor elk doelsysteem als dat nodig is.

Als je de achtergrond van een pagina expliciet een kleur geeft en er tekstinvuervelden op plaatst, kan dat er op het ene platform goed uitzien, maar kan het tekstveld op een ander platform een andere styling hebben, waardoor het niet past. Daarom is de regel: blijf bij de standaard of maak aanpassingen voor specifieke platformen. Niettemin kunnen we de volledige broncode voor de gebruikers-interface en de bedrijfslogica of kernfunctionaliteit delen, wat je in de meeste gevallen veel werk bespaart.

Toevoegingen

De app is slechts een functioneel prototype. De volgende wijzigingen moeten worden doorgevoerd voordat je de app distribueert onder gebruikers:

- › Vervang alle afbeeldingen door afbeeldingen in het .svg-formaat. Dit zijn vectorafbeeldingen die automatisch verliesvrij worden geschaald, afhankelijk van het doelsysteem.
- › Bepaal alle pictogrammen voor de tabbalk onderaan het scherm. De hiervoor benodigde afbeeldingen worden opgeslagen in de map *Resources/Images* en toegewezen in het bestand *AppShell.xaml*.
- › Valideer het invoerbereik van weerstanden, uitgangsspanning enzovoort om zinnige waarden te garanderen (waardebereik) en implementeer foutafhandeling voor onjuiste invoer. Dit wordt gedaan in de *ViewModel*-bestanden.
- › Voer uitgebreide tests uit op verschillende apparaten met emulatoren en op de fysieke apparaten zelf.
- › Maak app-packages voor de doelplatformen, bijvoorbeeld Android en iOS.
- › Registreer de apps in de respectievelijke app-stores.

Extra functies van .NET MAUI

Met dit voorbeeld hebben we slechts een kleine selectie aangestipt van de functies die .NET MAUI te bieden heeft voor het maken van apps voor meerdere platformen. De volgende functies, die vooral van zijn bij het bouwen van apps voor elektronica-projecten, mogen niet ongenoemd blijven:

- › **Toegang tot apparaatfuncties en sensoren:** .NET MAUI biedt van huis uit toegang tot verschillende hardwarefuncties. In de meeste gevallen moet je de nodige rechten aanvragen in de platformbestanden voordat je de apparaatfuncties kunt benaderen via een universele interface.
- › **Bibliotheken voor systeemfuncties:** aanvullende functies kunnen worden voorzien via externe bibliotheken voor .NET; deze kunnen nuttig zijn voor toegang tot specifieke hardware, sensoren en meer. Deze bibliotheken worden geleverd door externe verkopers en de community. Het loont de moeite om ernaar te zoeken.
- › **Componenten voor gebruikersinterfaces:** .NET MAUI biedt standaard al een reeks visuele componenten. De selectie wordt voortdurend uitgebreid door externe leveranciers en de community.
- › **Uitrol van apps:** tegenwoordig worden apps voor algemeen gebruik beschikbaar gesteld via Google Play of Apple Appstore, afhankelijk van het doelplatform. De packages kunnen rechtstreeks vanuit Visual Studio worden aangemaakt. Houd er rekening mee dat je je aan het bedrijfsbeleid moet houden en dat de app voorzien moet zijn van een digitaal certificaat. Voor iOS en macOS is hiervoor een Mac nodig.

De keuze voor .NET als basis voor deze ontwikkelingsaanpak biedt veel voordelen. Veel services, API's en andere bronnen die nodig zijn voor moderne softwareontwikkeling ondersteunen .NET rechtstreeks via eigen bibliotheken, bekend als software development kits (SDK's) voor dit framework. Als je je gegevens bijvoorbeeld in de cloud wilt opslaan, is de kans groot dat er al een .NET-bibliotheek beschikbaar is om dat te doen.

Conclusie

.NET MAUI biedt een interessante benadering voor het maken van een app voor alle relevante doelsystemen. Het resulteert in native apps die geen webbrowser nodig hebben om te draaien en die toegang bieden tot systeemfuncties. De combinatie van native app-ontwikkeling en platformoverschrijdend programmeren, zowel voor desktop- als mobiele apparaten, maakt deze aanpak aantrekkelijk voor elektronica-projecten. Het is echter een beetje teleurstellend dat .NET MAUI momenteel geen Linux ondersteunt, want het zou leuk zijn om het te kunnen gebruiken in een Raspberry Pi-omgeving. Microsoft heeft de verantwoordelijkheid voor de ondersteuning van Linux overgedragen aan de community. Het kan even duren voordat deze beschikbaar komt.

Als dit artikel je interesse in .NET MAUI heeft gewekt, kun je een goede introductie met handige videotutorials vinden op [5]! 

220442-03 (vertaling: Jelle Aarnoudse)



Over de auteur

Dr. Veikko Krypczyk is software-ontwikkelaar, trainer en technisch auteur, gespecialiseerd in onderwerpen zoals WinUI 3 en .NET MAUI (informatie beschikbaar op [6]). In zijn vrije tijd is zijn soldeerbout nooit ver weg en bouwt hij graag verschillende elektronica-projecten. Hij is gefascineerd door de combinatie van elektronica en software, die samen vaak onverwachte oplossingen kunnen opleveren.

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.



Gerelateerd product

> **John Allwork, C# Programming for Windows and Android, Elektor 2015 (Ebook)**
www.elektor.nl/18220

WEB LINKS

- [1] .NET MAUI : <https://dotnet.microsoft.com/en-us/apps/maui>
- [2] Visual Studio : <https://visualstudio.microsoft.com/>
- [3] MVVM-toolkit : <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/architecture/maui/mvvm>
- [4] ElectronicCalculator GitHub-repository van de auteur: <https://github.com/veikkoEF/ElectronicCalculator>
- [5] Video-tutorials: .NET MAUI for Beginners by dotnet:
<https://youtube.com/playlist?list=PLdo4fOcmZ0oUBAdL2NwBpDs32zwGqb9DY>
- [6] Website van de auteur: <https://larinet.com>

Word lid van onze Community



www.elektormagazine.nl/community



ChatMagLev

kunstmatig
intelligente
levitatie



Figuur 1. De hardware van het MagLev-project.

Peter Neufeld (Duitsland)

De nieuwe handige tool in de gereedschapskist van software-hobbyisten is ChatGPT. Die kan niet alleen compleet nieuwe code schrijven, maar ook handgeschreven software aanvullen en verbeteren. In dit artikel probeert Elektor-auteur Peter Neufeld dit uit en komt met verschillende verbeteringen voor zijn populaire magnetische levitatie-project.

Iedereen die bekend is met de wereld van hardware- en softwareprojecten weet hoe die de neiging hebben om nog lang na te echoën. Het bouw- en programmeerproces kan leuk zijn en het resulterende project kan redelijk goed functioneren, maar toch zijn er bijna altijd functies die je zou willen

aanpassen of toevoegen in de software – maar daarvoor lijk je nooit tijd te hebben omdat je andere dingen te doen hebt.

Dit was ook het geval met de Arduino C++ code voor mijn project 'Magnetische levitatie op de digitale manier', dat ik heb beschreven in Elektor [1], op Elektor Labs [2] en op mijn eigen website [3]. De hardware werkt prima, maar de Arduino-code was snel in elkaar geknutseld om te laten zien dat het in principe werkt. 'Af' en 'mooi' zijn echter heel verschillende zaken!

Toen ik me ging bezighouden met de mogelijkheden van AI, kwam al snel de gedachte bij mij op of ChatGPT [4] me zou kunnen helpen met mijn hobby-softwareprojecten.

Bij eerste experimenten was ik al snel in staat om kleine stukjes code en complete Arduino C++ programma's te laten genereren door ChatGPT die overeenkwamen met mijn ruwe specificaties die ik had geformuleerd in eenvoudige technische taal.

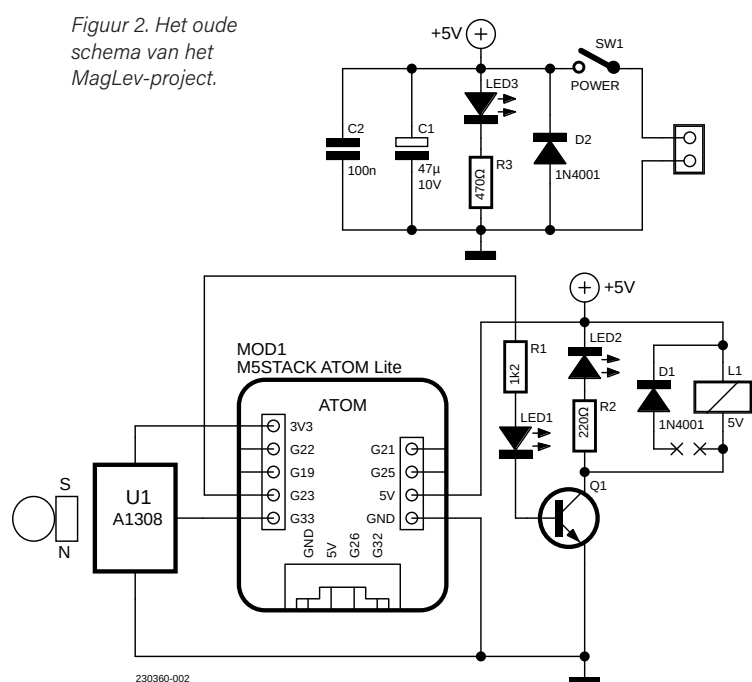
Daarom kristalliseerden zich uiteindelijk twee benaderingen uit om mijn hobby te ondersteunen met AI:

1. Uitbreiding/aanvulling van bestaande programma's: is het mogelijk om bestaande en functionerende Arduino C++ code uit te breiden met extra softwarefuncties door de oude code en specifieke vragen door te geven aan ChatGPT?

Om vooruit te lopen op het resultaat: voor mij, als gelegenheds- en hobbyprogrammeur, gaan er ineens deuren open die voorheen maar half open of zelfs helemaal dicht waren. Dit doet de ongetwijfeld duistere aspecten van het gebruik van AI-systemen bijna vergeten. Het goed werkende MagLev-systeem op de kopfoto hierboven is een zichtbaar resultaat van AI-ondersteund werk.

Dit is mijn ietwat complexe vraag aan ChatGPT:

Figuur 2. Het oude schema van het MagLev-project.



```
void loop(){
  HALL_VAL = analogRead(HALL_PIN);
  //read HALL-Sensor with
  //default 0-3.9V input >> 12bit
  if (HALL_VAL < (TRIGGER + X) ){
    digitalWrite(RELAIS_PIN, HIGH);
    // lift the payload
    X = HYST;
  }
  else{
    digitalWrite(RELAIS_PIN, LOW);
    // drop the payload
    X = 0 - HYST;
  }
}
```

elektor januari/februari 2024 61



Listing 1. Uitbreiding van de handgeschreven code.

Dit is de uitgebreide code voor het Arduino C++ programma dat je me hebt gestuurd:

```
#include <Preferences.h>
Preferences preferences;

int TRIGGER = 2740;
int HYST = 35;
int HALL_PIN = 33;
int HALL_VAL = 0;
int RELAIS_PIN = 23;
int X = 0;

void setup() {

    Serial.begin(115200);
    pinMode(RELAIS_PIN, OUTPUT);
    Serial.print("Magnetic Levitation: START ");

    // Load values from non-volatile RAM
    // Initialize preferences with a namespace
    preferences.begin("levitation", false);

    if (preferences.getBytesLength("config") > 0) {
        preferences.getBytes("config", &TRIGGER,
                               sizeof(TRIGGER));
        preferences.getBytes("config", &HYST,
                               sizeof(HYST));
    }

    preferences.end();
}

void loop() {

    if (Serial.available() >= 3) {
        String command = Serial.readStringUntil('\r');
        // Read the command until a
        // carriage return (\r) is encountered

        if (command.startsWith("T")) {
            TRIGGER++;
            Serial.println("Trigger increased: "
                           + String(TRIGGER));
        }
        else if (command.startsWith("t")) {
            TRIGGER--;
            Serial.println("Trigger decreased: "
                           + String(TRIGGER));
        }
        else if (command.startsWith("H")) {
            HYST++;
            Serial.println("Hysteresis increased: "
                           + String(HYST));
        }
    }
}
```

```
else if (command.startsWith("h")) {
    HYST--;
    Serial.println("Hysteresis decreased: "
                   + String(HYST));
}
else if (command.startsWith("S")) {
    // Store current values in non-volatile RAM
    // Initialize preferences with a namespace
    preferences.begin("levitation", false);
    preferences.putBytes("config", &TRIGGER,
                          sizeof(TRIGGER));
    preferences.putBytes("config", &HYST,
                          sizeof(HYST));
    preferences.end();
    Serial.println(
        "Values stored in non-volatile RAM.");
}
}

HALL_VAL = analogRead(HALL_PIN);

if (HALL_VAL < (TRIGGER + X)) {
    digitalWrite(RELAIS_PIN, HIGH);
    X = HYST;
} else {
    digitalWrite(RELAIS_PIN, LOW);
    X = 0 - HYST;
}
}
```

In deze code wordt de preferences-bibliotheek gebruikt om de trigger- en hysteresiswaarden op te slaan en te laden in niet-vluchtig RAM. De nieuwe commando's 'T', 't', 'H' en 'h' worden gebruikt om respectievelijk de trigger te verhogen en te verlagen en de hysteresis te verhogen en te verlagen. Het commando 'S' slaat de huidige waarden op in niet-vluchtig RAM. Deze waarden worden (indien voorhanden) gebruikt bij het opstarten. Merk op dat je de preferences-bibliotheek moet installeren om deze code correct te laten werken. Je kunt de bibliotheek vinden in de Arduino Library Manager of downloaden van de Arduino-website.

Mijn eerste reactie: wow! Dat was makkelijk! Lijkt correcte en logische code te zijn. Voldoet aan mijn eisen en draaide geweldig toen ik het testte! Ik had het misschien op dezelfde manier geschreven, maar alleen als ik meer bedreven was in programmeren in C++ en/of veel voorbeeldcode had opgezocht en aangepast – en dat had me ongetwijfeld veel tijd gekost.

Goed! Nu laten we de oude code weg en beginnen helemaal opnieuw met duidelijke taal.

Benadering 2: volledig nieuwe Arduino C++ code

Aangemoedigd ging ik toen over op een conversationele beschrijving van mijn levitatie-opstelling die verbeterd moest worden, en van de gewenste softwarefuncties... en was zeer verbaasd hoe goed het resultaat was.

Dit was mijn dialoog met ChatGPT:

- De volgende magnetische levitatie-opstelling moet worden bestuurd met een ESP32 en een C++ Arduino-programma. Pin 23 stuurt een elektromagneet met ijzeren kern aan, pin 33 is de ADC-ingang waarop een analoge Hall-sensor is aangesloten. Onder de elektromagneet bevindt zich de analoge Hall-sensor. De elektromagneet wordt aanvankelijk ingeschakeld. Een permanente magneet nadert de elektromagneet, de ijzerkern en de Hall-sensor van onderaf. De magneet wordt aangetrokken door de kern. De magneet moet echter blijven zweven. Hiervoor moet de elektromagneet kort worden uitgeschakeld. De Hall-sensor genereert een spanning van ongeveer 2,4 V in zwevende toestand en ongeveer 1,5 V zonder de permanente magneet. Als de magneet heel dicht bij de sensor komt, stijgt de spanning tot maximaal 3 V. Tijdens de uitvoering van het programma moet de triggerwaarde voor de zwevende toestand in kleine stapjes omhoog worden gecorrigeerd via de seriële interface (115200 Baud, 8N1) als 'T' wordt ontvangen. Bij 't' wordt de waarde naar beneden gecorrigeerd. Daarnaast moet, net als de triggerwaarde, ook een hysteresiswaarde van ongeveer 50 mV worden ingesteld en navenant worden gecorrigeerd met behulp van toetsenbordopdrachten. De handmatig gecorrigeerde waarden van trigger en hysteresis moeten beide worden uitgevoerd als ze zijn gewijzigd. Beide waarden moeten veilig worden opgeslagen in het niet-vluchtige geheugen van de ESP32 wanneer 'S' of 's' wordt ingevoerd. Alleen als er al oude waarden in het niet-vluchtige geheugen staan, moeten deze worden gebruikt als de beginwaarden bij de programmastart. Bij het opstarten moet een zeer korte beschrijving van de bewerking worden getoond. Schrijf het Arduino-programma zeer compact en met niet al te veel commentaar, zodat het in zijn geheel in het antwoord past.

In **listing 2** zie je het antwoord van ChatGPT, dat me nog steeds verbaast en zelfs een beetje bang maakt.



Listing 2. Gegenerateerde code en antwoord van ChatGPT.

```
#include <EEPROM.h>

const int magnetPin = 23;
const int hallSensorPin = 33;
const int triggerAddr = 0;
const int hysteresisAddr = 1;

float triggerValue = 2.4;
float hysteresisValue = 0.05;

void setup() {
    Serial.begin(115200);
```

```
pinMode(magnetPin, OUTPUT);
pinMode(hallSensorPin, INPUT);

// Load trigger and hysteresis values
// from EEPROM if available
EEPROM.begin(2);
float storedTriggerValue =
    EEPROM.readFloat(triggerAddr);
float storedHysteresisValue =
    EEPROM.readFloat(hysteresisAddr);

if (storedTriggerValue != 0x00)
    triggerValue = storedTriggerValue;

if (storedHysteresisValue != 0x00)
    hysteresisValue = storedHysteresisValue;

Serial.println("Magnetic Levitation Setup");
Serial.println("Commands:");
Serial.println("T - Increase trigger value");
Serial.println("t - Decrease trigger value");
Serial.println("H - Increase hysteresis value");
Serial.println("h - Decrease hysteresis value");
Serial.println(
    "S or s - Save trigger and hysteresis values");
Serial.println();
Serial.print("Trigger Value: ");
Serial.println(triggerValue);
Serial.print("Hysteresis Value: ");
Serial.println(hysteresisValue);
}

void loop() {
    // Read the analog value from the Hall sensor
    int hallSensorValue = analogRead(hallSensorPin);

    // Check if magnet is close to the sensor
    if (hallSensorValue >
        (triggerValue + hysteresisValue) * 1023) {
        // Magnet is close, turn off the electromagnet
        digitalWrite(magnetPin, LOW);
    }
    else {
        // Magnet is far, turn on the electromagnet
        digitalWrite(magnetPin, HIGH);
    }

    // Check for serial input
    if (Serial.available() > 0) {
        char command = Serial.read();
        if (command == 'T') {
            triggerValue += 0.01;
        }
    }
}
```

```

else if (command == 't') {
    triggerValue -= 0.01;
}
else if (command == 'H') {
    hysteresisValue += 0.01;
}
else if (command == 'h') {
    hysteresisValue -= 0.01;
}
else if (command == 'S' || command == 's') {
    // Save trigger and hysteresis values
    // to EEPROM
    EEPROM.writeFloat(triggerAddr, triggerValue);
    EEPROM.writeFloat(hysteresisAddr,
                      hysteresisValue);
    EEPROM.commit();
    Serial.println(
        "Trigger and hysteresis values saved.");
}

// Output trigger and hysteresis values
Serial.print("Trigger Value: ");
Serial.println(triggerValue);
Serial.print("Hysteresis Value: ");
Serial.println(hysteresisValue);
}
}

```

Opmerking: dit is een compacte versie van de code zonder uitgebreid commentaar. Het gaat ervan uit dat je de benodigde bibliotheken hebt geïnstalleerd, inclusief de EEPROM-bibliotheek. Zorg ervoor dat je die bibliotheek in je Arduino IDE opneemt als je die nog niet hebt.

- verhogen of verlagen. De bijgewerkte waarden worden onmiddellijk weergegeven via de seriële monitor. Om de trigger- en hysteresiswaarden op te slaan in het niet-vluchtige geheugen kan de gebruiker het commando 'S' of 's' invoeren.
- In de hoofd-programmalus wordt de analoge waarde van de Hall-sensor gelezen en vergeleken met de triggerwaarde plus de hysteresiswaarde. Als de sensormeting boven deze drempelwaarde komt, wat aangeeft dat de magneet dichtbij is, wordt de elektromagneet uitgeschakeld door pin 23 laag te maken. Anders, als de magneet ver weg is, wordt de elektromagneet ingeschakeld door pin 23 hoog te maken.
- Het programma controleert voortdurend of er commando's van de seriële monitor binnenkomen. Als een commando wordt ontvangen, past het de trigger- of hysteresiswaarde overeenkomstig aan. Als het commando 'S' of 's' wordt ingevoerd, worden de trigger- en hysteresiswaarden opgeslagen in het niet-vluchtige geheugen.
- De actuele trigger- en hysteresiswaarden worden uitgevoerd naar de seriële monitor wanneer ze gewijzigd worden, of bij het opstarten van het programma.
- Dit programma biedt een eenvoudige en compacte oplossing voor het besturen van een magnetische levitatie-opstelling met een ESP32-microcontroller.

Verbeteringen

Dat is mooi en prachtig, maar alles kan nog worden geoptimaliseerd. Ik vroeg de 'bot om drie korte suggesties om de regelkring te verbeteren. ChatGPT retourneerde deze suggesties:

1. **PID-besturing implementeren:** overweeg om een PID-regelkring (proportioneel, integrerend, differentiërend) te implementeren om de stabiliteit en het reactievermogen van het magnetische levitatie-systeem te verbeteren. Door terugkoppeling van de Hall-sensor te gebruiken en de juiste regelversterkingen toe te passen, kan de PID-regelaar het vermogen van de elektromagneet dynamisch aanpassen om de gewenste levitatie-afstand te handhaven. Dit verbetert het vermogen van het systeem om storingen op te vangen en zorgt voor een soepelere regeling.
2. **Gebruik een voortschrijdend gemiddelde-filter:** pas een voortschrijdend gemiddelde-filter toe om ruis en schommelingen in de metingen van de Hall-sensor te reduceren. In plaats van alleen te vertrouwen op individuele metingen, bereken je de gemiddelde waarde gedurende een klein venster van recente metingen. Dit zorgt voor een meer stabiele en betrouwbare meting om de positie van de magneet te bepalen en het vermogen van de elektromagneet navenant aan te passen.
3. **Bouw een time out-beveiliging in:** voeg een veiligheidsmechanisme toe aan de regelkring om ervoor te zorgen dat de elektromagneet niet continu stroom voert als de magneet of de sensor afwezig is of uitvalt. Als het systeem binnen een bepaalde periode geen geldige Hall-sensormeting ontvangt, kan het aannemen dat er iets mis is en de juiste actie ondernemen, zoals het uitschakelen van de elektromagneet of het activeren van een foutconditie.

Daarna vroeg ik de 'bot om voor documentatiedoeleinden een korte beschrijving van de code te geven.

Het antwoord van ChatGPT:

- De geleverde code is een compact Arduino-programma geschreven in C++ voor het besturen van een magnetische levitatie-opstelling met behulp van een ESP32-microcontroller. De opstelling bestaat uit een elektromagneet met een ijzerkern en een analoge Hall-sensor.
- Bij het opstarten initialiseert het programma de seriële communicatie met een baudrate van 115200. Pin 23 wordt gebruikt om de elektromagneet aan te sturen en pin 33 wordt geconfigureerd als analoge ingang om de uitgangsspanning van de Hall-sensor in te lezen.
- Het programma haalt de trigger- en hysteresiswaarden op uit het niet-vluchtige geheugen (EEPROM) als ze eerder waren opgeslagen. Als er geen waarden worden gevonden, worden standaardwaarden gebruikt. De triggerwaarde vertegenwoordigt de spanningsdrempel voor het uitschakelen van de elektromagneet en de hysteresiswaarde definieert het spanningsbereik waarbinnen de elektromagneet uitgeschakeld blijft, zelfs als de magneet iets van de sensor verwijderd is.
- Het programma geeft vervolgens een korte beschrijving van de werking en de beschikbare commando's via de seriële monitor.
- Met de commando's kun je de trigger- en hysteresiswaarden

- Door deze suggesties toe te passen, kun je de prestaties, de ruis-ongevoeligheid en de veiligheidsfuncties van de regelkring verbeteren, wat resulteert in een nauwkeurigere en betrouwbaardere magnetische levitatie-besturing.

Ik geef toe dat mijn eerste vragen hierboven tot stand kwamen na een aantal lange dialogen waarin ik ook moest leren hoe ik mijn vragen op een ChatGPT AI-vriendelijke manier kon formuleren.

Tussen haakjes: de antwoorden van ChatGPT werden vaak gewoon bruut afgekapt. Een specifiek verzoek om een mogelijke beperking van de lengte van het antwoord resulteerde in een zeer breedsprakig en hier zeer ingekort "Ja, 2048 tekens." Daarom heb ik in mijn 'opdracht' ook aanwijzingen opgenomen voor een mogelijke inkorting van het antwoord.

Als je echter een beetje vertrouwd bent geraakt met de reacties van het systeem, zijn de resultaten ook erg goed na alleen een enkel complex blok met, eisen en instructies. Gerichte vragen voegen verdere, ook uitgebreidere functies toe.

Als het resultaat technisch niet lijkt te kloppen, is het interessant om te zien dat dezelfde vraag die meerdere keren wordt herhaald, telkens anders wordt beantwoord, wat zich uit in code met een soms compleet andere structuur, maar die meestal wel functioneel is. Het is dan erg nuttig, misschien zelfs essentieel, om in ieder geval de gegenereerde code goed te kunnen lezen en te kunnen controleren of aan alle eisen wordt voldaan. ChatGPT laat al snel het ene of het andere aspect achterwege!

Suggesties van de AI die in tegenspraak zijn met je eigen technische expertise en kennis, kunnen specifiek in twijfel worden getrokken. Dit leidt vaak tot verontschuldigende formuleringen en verbeterde suggesties. Of het kan je nieuwe technische kennis opleveren.

AI met al is het gebruik van ChatGPT om software te schrijven op basis van een probleembeschrijving in natuurlijke taal hier zeer nuttig gebleken. Het werkt misschien niet als een voorhamer, maar eerder als een nauwkeurig instelbaar en controleerbaar gereedschap.

Zelfs een minder ervaren C++ programmeur zoals ik kan nu snel complexe programmafragmenten maken die me vroeger veel meer tijd zouden hebben gekost. Documentatie is nu heel eenvoudig. En je mag zelfs een soort dieper begrip van het gestelde probleem verwachten, wat mogelijkheden opent voor onverwachte, technisch goed onderbouwde en gedetailleerde zijpaden.

Op dit moment is AI, vooral ChatGPT, echter een nuttig, maar zeker niet onfeilbaar hulpmiddel voor de vrijetijds-programmeur, en het moet nog altijd door een mens worden bediend! Ik verheug me al over meer projecten met deze nieuwe tool die een plaatsje in mijn gereedschapskist heeft gekregen.

Enkele problemen oplossen

Alsof mijn conclusies nog meer bewijs nodig hadden: bij het testen van de gegenereerde code merkte ik dat er twee problemen mee waren. OK... laten we het de machine vragen!

- *Corrigeer twee problemen.*
- *1. De waarde van de Hall-sensor wordt altijd vergeleken met een vaste waarde zonder hysteresis.*

- *2. Deze code slaat de waarden niet correct op in het niet-vluchtige RAM van mijn ESP32. Gebruik een andere methode voor opslag en uitlezing.*

- *Herschrijf de eerdere code zeer compact en met niet al te veel commentaar, zodat deze volledig in het antwoord past.*

ChatGPT antwoordde met "Excuses voor de omissie" (!) en retourneerde de code van **listing 3**.



Listing 3. Verbeterde code.

```
#include <Preferences.h>

const int magnetPin = 23;
const int hallSensorPin = 33;
const char* prefNamespace = "levitation";
const char* triggerKey = "trigger";
const char* hysteresisKey = "hysteresis";

float triggerValue = 2.4;
float hysteresisValue = 0.05;

Preferences preferences;

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    pinMode(magnetPin, OUTPUT);
    pinMode(hallSensorPin, INPUT);

    preferences.begin(prefNamespace, false);
    if (preferences.getBool("initialized", false)) {
        triggerValue =
            preferences.
getFloat(triggerKey, triggerValue);
        hysteresisValue =
            preferences.getFloat(hysteresisKey,
                                hysteresisValue);
    }
    else {
        preferences.putBool("initialized", true);
    }

    Serial.println("Magnetic Levitation Setup");
    Serial.println("Commands:");
    Serial.println("T - Increase trigger value");
    Serial.println("t - Decrease trigger value");
    Serial.println("H - Increase hysteresis value");
    Serial.println("h - Decrease hysteresis value");
    Serial.println(
        "S or s - Save trigger and hysteresis values");
    Serial.println();
}
```

```

Serial.print("Trigger Value: ");
Serial.println(triggerValue);
Serial.print("Hysteresis Value: ");
Serial.println(hysteresisValue);
}

void loop() {
    int hallSensorValue = analogRead(hallSensorPin);

    if (hallSensorValue > (triggerValue * 1023) &&
        digitalRead(magnetPin) == HIGH) {
        digitalWrite(magnetPin, LOW);
    }
    else if (hallSensorValue <
        ((triggerValue - hysteresisValue) *
        1023) && digitalRead(magnetPin) == LOW)
    {
        digitalWrite(magnetPin, HIGH);
    }

    if (Serial.available() > 0) {
        char command = Serial.read();
        if (command == 'T') {
            triggerValue += 0.01;
        } else if (command == 't') {
            triggerValue -= 0.01;
        } else if (command == 'H') {
            hysteresisValue += 0.01;
        } else if (command == 'h') {
            hysteresisValue -= 0.01;
        } else if (command == 'S' || command == 's') {
            preferences.putFloat(triggerKey,
                                triggerValue);
            preferences.putFloat(hysteresisKey,
                                hysteresisValue);
            preferences.end();
            Serial.println(
                "Trigger and hysteresis values saved.");
        }

        Serial.print("Trigger Value: ");
        Serial.println(triggerValue);
        Serial.print("Hysteresis Value: ");
        Serial.println(hysteresisValue);
    }
}

```

In deze versie worden de twee genoemde problemen aangepakt:

De code neemt nu hysteresis op in de vergelijking door de toestand van de magnetPin in beide condities te controleren. Als de elektromagneet zich al in de gewenste toestand bevindt, wordt de voorwaarde voor het in- of uitschakelen niet geëvalueerd.

In plaats van de EEPROM-bibliotheek gebruikt deze code de preferences-bibliotheek van de ESP32-kern. De voorkeuren worden opgeslagen in het niet-vluchtige geheugen van de ESP32 met behulp van de Preferences API. De waarden worden opgeslagen wanneer het commando 'S' of 's' wordt ontvangen en worden tijdens de installatie uit het geheugen gelezen. De voorkeuren namespace en keys worden gespecificeerd voor de levitatie-instelling om conflicten met andere voorkeuren te voorkomen.

Nou, dat werkte nu heel goed. Tijdens het testen ontdekte mijn menselijk brein echter nog een klein probleempje! Maar nu, in deze verbeterde staat, ben ik tot de conclusie gekomen dat dit ook een onvoltooid softwareproject moet blijven. Dus ik beëindigde de chat en dronk koffie met mijn echtgenote. 📖

vertaling: Jelle Aarnoudse — 230360-03

Over de auteur

Meer dan 40 jaar lang mocht Peter Neufeld zich bezighouden met andermans gegevensverwerkende, elektrische en gebouw-beheersystemen en met communicatie- en mediatechnologie. Nu vindt hij weer tijd om zich te wijden aan de praktische toepassing van klassieke elektronica en moderne microcontrollers in hobbyprojecten. Hij heeft een aantal van deze projecten beschreven in Elektor Labs of op zijn blog.

Vragen of opmerkingen?

Hebt u technische vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar de auteur via peter.neufeld@gmx.de of naar de redactie van Elektor via redactie@elektor.com.

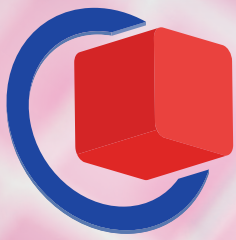


Gerelateerde producten

> **Elektor 37-in-1 Sensor Kit**
www.elektor.nl/16843

WEBLINKS

- [1] Peter Neufeld, "Magnetische levitatie op de digitale manier", Elektor september/oktober 2021:
<http://www.elektormagazine.nl/magazine/elektor-185/59915>
- [2] "Magnetic Levitation - The Digital Way" op Elektor Labs: <https://elektormagazine.com/labs/magnetic-levitation-the-digital-way>
- [3] MagLev op PeterNeufeld.wordpress.com: <https://peterneufeld.wordpress.com/category/magnetic-levitation>
- [4] ChatGPT: <https://chat.openai.com>



embeddedworld

Exhibition & Conference



CONNECTING THE
EMBEDDED COMMUNITY

9 – 11.4.2024



Get your
free ticket now!

embedded-world.de/codes

Use the voucher code **ew24ELE**

Media partners

Markt & Technik
das unabhängige Wochenblatt für die Elektronik

Elektronik

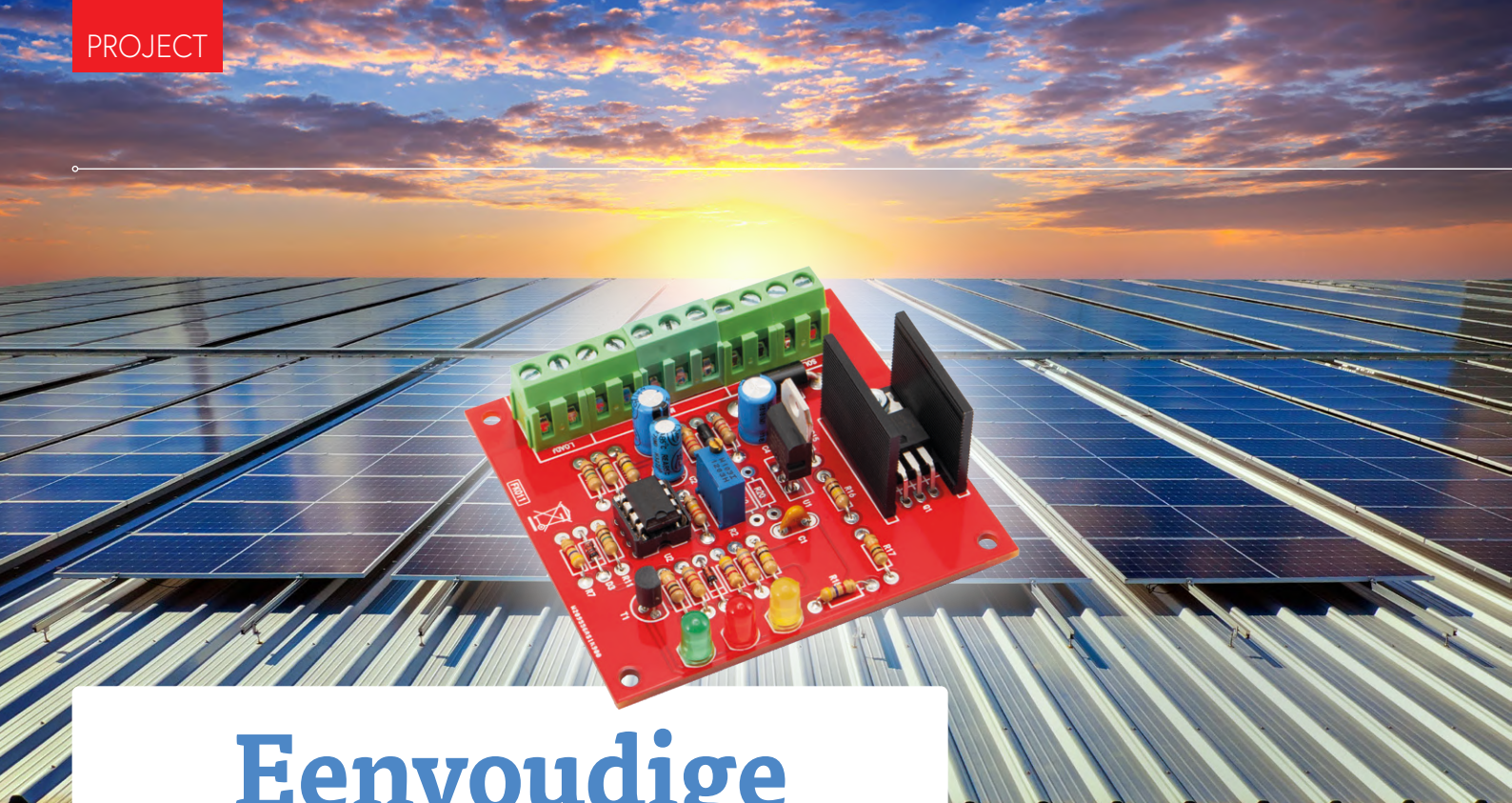
**computer &
automation**

Elektronik
automotive

Elektronik
•medical

elektroniknet.de

NÜRNBERG / MESSE



Bron: Freepik/tawatchai07

Eenvoudige PV-regelaar

bouw je eerste, volledig functionele PV-energiebeheersysteem

Electronica In
WWW.ELECTRONICA.IN.IT

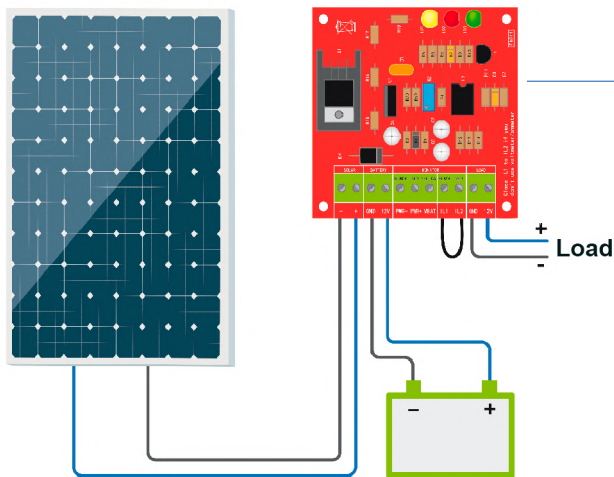
Boris Landoni (Italië)

Als je altijd al zelf een compleet powermanagementsysteem wilde bouwen, maar er niet aan begonnen bent omdat de bestaande ontwerpen erg ingewikkeld zijn, dan is dit een nieuwe kans. Deze schakeling is eenvoudig, maar bevat alles wat je nodig hebt, inclusief een acculaadregelaar en een spanningsregelaar aan de belastingzijde.

Een goed elektrisch PV-systeem heeft niet alleen een zonnepaneel en eventueel een spanningsregelaar nodig. Er moeten ook één of meer accu's zijn om energie op te slaan als de zon schijnt om die te gebruiken als het bewolkt is of donker wordt. De meeste apparaten op zonnestroom moeten stabiel kunnen werken, ongeacht de aanwezigheid of kracht van het zonlicht, dus die accu is zeker nodig om stroom te leveren als de panelen dat

niet doen. En dat niet alleen, accu's hebben nog een ander, wat minder voor de hand liggend voordeel: omdat ze energie kunnen opslaan (veel of weinig, afhankelijk van het type), kunnen ze ook veel meer stroom leveren dan een zonnepaneel, terwijl ze toch worden opgeladen door de panelen. Als we bijvoorbeeld een zonnepaneel hebben dat een stroom van 1 A kan leveren, kan het geen apparaat voeden dat 2 A gebruikt, maar

als het systeem een backup-accu heeft die een grotere stroom kan leveren is dat geen probleem: het zonnepaneel levert dan 1 A en de accu vult dat aan met de 'ontbrekende' 1 A. Natuurlijk wordt hij daarbij wel ontladen, en natuurlijk kan dat niet onbeperkt lang doorgaan: er wordt in totaal meer stroom verbruikt dan er wordt gegenereerd. Onder deze omstandigheden hangt de autonomie van het systeem af van de accucapaciteit. In ons voorbeeld zou een accu van 13 Ah het systeem (in theorie) 13 uur draaiend kunnen houden. Om een systeem stabiel te laten werken moeten de grootte van het paneel en de accucapaciteit in de ontwerp-fase zorgvuldig worden afgestemd op het verwachte verbruik door de belasting. Dit project, waarvan de bedrading in **figuur 1** is getoond, regelt niet alleen het opladen van de accu en het stoppen van het laden als de accu vol is, maar zorgt ook dat de belasting met de accu wordt verbonden als zijn spanning hoog genoeg is, en wordt afgekoppeld als de spanning te laag wordt. Kortom: de schakeling



Figuur 1. Bedradingschema van de foto-voltatische vermogensregelaar. De regelaar stopt het laden als de accu volledig is opgeladen.

Technische eigenschappen

Ingangsspanning (zonnepaneel): 12...28 V	Max. stroomopname van de regelaar: 20 mA
Max. ingangsstroom (zonnepaneel): 5 A	Signaal-LED's voor: opladen, onvoldoende zonlicht en lege accu
Max. uitgangsstroom (belasting): 25 A	Mogelijkheid voor het aansluiten van een externe energiemeter

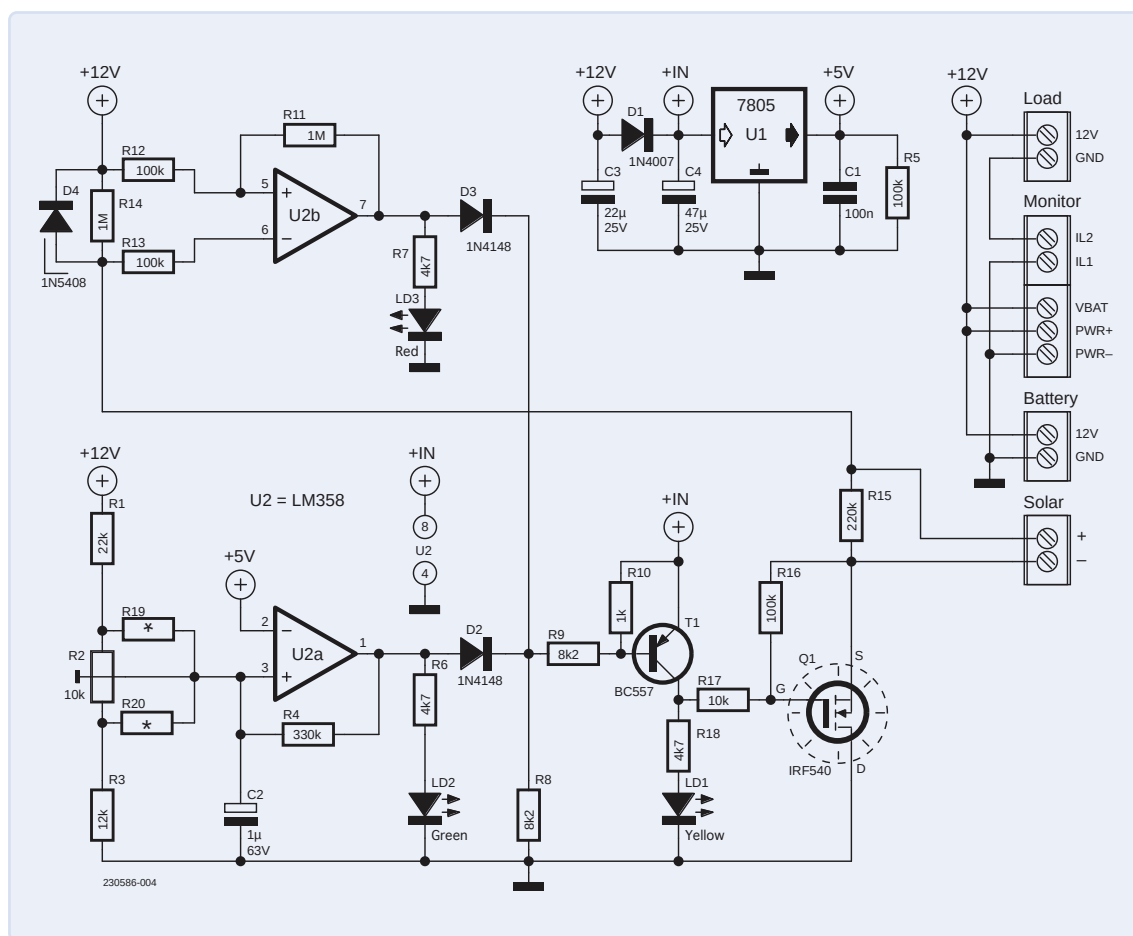
is een compleet energiebeheersysteem voor een systeem met zonnepanelen, en is geschikt voor belastingen met een maximale stroom van 5 A. Als een grotere stroom gewenst is, hoef je alleen maar diode D4 te vervangen door een type dat daarvoor geschikt is. Het schema in **figuur 2** bestaat in wezen uit een stroomregelaar met een comparator-

schakeling en een MOSFET (Q1) die het overtollige vermogen dissipeert. Het geheel is afgerond met een comparator die het paneel afkoppelt van de accu als deze vol is.

Het schema

Om de MOSFET open te sturen, moet er een positieve spanning op zijn gate staan,

dus moet transistor T1 geleiden. Als T1 en de MOSFET geleiden, licht de gele LED LD1 op. Die geeft dus aan dat de accu wordt opgeladen door het zonnepaneel. Transistor T1 (een PNP-exemplaar van het type BC557) geleidt normaal gesproken omdat zijn basis via de weerstanden R8 en R9 met massa is verbonden. Hij stopt met geleiden als een van de



Figuur 2. Schema van de schakeling.

uitgangen van de twee opamps een hoog niveau heeft. Deze niveaus worden via D2 en D3 naar de basis van T1 gevoerd. We bekijken eerst de schakeling rondom de onderste opamp (U2a). De spanning van 5 V van regelaar U1 is aangesloten op de inverterende ingang (pin 2) van U2a, en een deel van de spanning op de accuklemmen staat via trimmer R2 op de niet-inverterende ingang (pin 3). Als deze spanning hoger wordt dan die op pin 2, gaat de uitgang van de opamp (die normaal laag is) naar een hoog niveau, zodat de T1 uit geleiding gaat en de MOSFET wordt geblokkeerd. Daarbij licht ook de groene LED LD2 op. Natuurlijk moet trimmer R2 zó worden ingesteld dat de opamp omschakelt op het moment dat de accuspanning een niveau van 14,2...14,4 V bereikt (de typische spanning van een volledig geladen lood/zuur-accu).

Weerstand R4 zorgt voor een kleine hysteresis door de schakeldrempel te veranderen en voorkomt daarmee dat de opamp gaat oscilleren. In de praktijk moet de accu een spanning van 14,4 V bereiken, om de opamp van laag naar hoog te schakelen. Om van hoog naar laag te schakelen, moet de accuspanning dalen tot 13,5 V. Dus dit gedeelte van de schakeling stopt de stroom wanneer de accu volledig is opgeladen.

De uitgangsspanning van de bovenste opamp (U2b) gaat naar een hoog niveau als de spanning van het zonnepaneel lager is dan de accuspanning. In dat geval licht de rode LED LD3 op en wordt de MOSFET uitgeschakeld. Als het zonnepaneel zonlicht ontvangt, wordt zijn spanning hoog genoeg om de accu op te laden. De rode LED gaat dan uit en de MOSFET wordt opengestuurd. Samenvattend: de gele LED (LD1) geeft aan dat het zonnepaneel de accu oplaadt, de rode LED (LD3) geeft aan dat er onvoldoende zonlicht is om op te laden, en de groene LED (LD2) geeft aan dat de accu volledig is opgeladen. Deze laadregelaar kan worden gebruikt met zonnepanelen die een maximale stroom van 3...5 A leveren. Het is mogelijk hem geschikt te maken voor grotere stromen door een diode met een hogere toelaatbare doorgangsstroom (tot 10...20 A) te gebruiken voor D4. De drieënige spanningsregelaar U1, de filtercondensator C1 en de beschermingsdiode D1 zorgen voor

een gestabiliseerde spanning op de inverterende ingang van opamp U2a. De rest van de schakeling wordt gevoed uit de spanning tussen de kathode van diode D1 en massa. Aan de rechterkant van het schema zie je de aansluitklemmen van de schakeling. Daarbij vallen de klemmen die zijn gemarkeerd met MONITOR op. Deze zijn bedoeld om een commerciële energiemeter in de schakeling op te nemen, zodat je op een display kunt zien welke spanning en stroom de accu levert. Wij hebben in dit geval, na verschillende tests, gekozen voor de EPT33V3AO-LED [1], een kleine paneelmeter met een blauw OLED-display. Hij geeft een aantal van elektrische parameters, zoals spanning, stroom, vermogen, energieverbruik, capaciteit, omgevingstemperatuur en tijd weer. Deze module wordt geleverd met twee draden die al in de connectoren op diens print aan de achterkant zijn gestoken. De functie van de draden is te vinden in **tabel 1**.

De energiemeter is niet per se nodig, maar het is een nuttige extra. De aansluitingen op het MONITOR-blok moeten worden aangepast als de module wel of niet geplaatst wordt. Als de module wordt aangesloten, gaat dat als volgt:

- 2: (PWR+) aan de dunne, rode draad (+Vcc) van de meter
- 3: (VBAT, die is verbonden met PWR+) aan de gele draad van de meter
- 4: (IL1) aan de dikke, zwarte draad van de meter (shunt)
- 5: (IL2) aan de dikke, rode draad van de meter (shunt)

Alles volgens het schema in figuur 2. Wil je de energiemeter niet toevoegen, bedraad alles dan volgens figuur 1. Dat is de basisinstallatie van het systeem, waarbij IL1 en IL2 met elkaar verbonden worden om de stroomkring te sluiten, waar anders de ampèremeter zit. In plaats van de hier getoonde energiemeter kun je ook een andere DC-energiemeetmodule gebruiken.

Praktische uitvoering

We beginnen nu met de bouw van de schakeling, waarvoor een klein printje is ontworpen. De ontwerpfiles kunnen worden gedownload van [1]. Als je de print gebruikt, monteer dan eerst de weerstanden en de diodes. Let bij de diodes op de gekleurde ring: die kant is de kathode. Plaats dan het 8-polige IC-voetje voor de opamps, de twee trimmers en transistor T1. Let bij T1 op de oriëntatie (de platte kant wijst naar weerstand R10) zoals te zien is in de figuren. Dan zijn de condensatoren aan de beurt. Plaats eerst de niet-gepolariseerde en daarna de elco's. En let bij de elco's ook weer op de polariteit. Monteer dan de power-MOSFET. Deze rust met zijn metalen kant op een heel gangbaar type (ML-026) U-vormig koellichaam. Gebruik daarbij koelpasta en schroef hem vast met een M3-schroef en -moer. Soldeer de aansluitdraden pas als hij op zijn plaats zit. Spanningsregelaar U1 komt rechtop te staan, met de metalen kant in de richting van het koellichaam van de MOSFET. Het bestukken van de print is daarmee klaar. Plaats nu U2 in zijn voetje. Let op de markering van pin 1, en pas op dat er geen pootjes

Tabel 1. Bedrading van de energiemeetmodule.

Draad	Aansluitpunt	Functie
Rood (dun)	+Vcc	positieve voeding voor de module
Zwart (dun)	GND	negatieve voeding voor de module
Geel	Vin	ingang voor de spanningsmeting
Rood (dik)	I+	ingang voor de stroommeting
Zwart (dik)	I-	uitgang voor de stroommeting

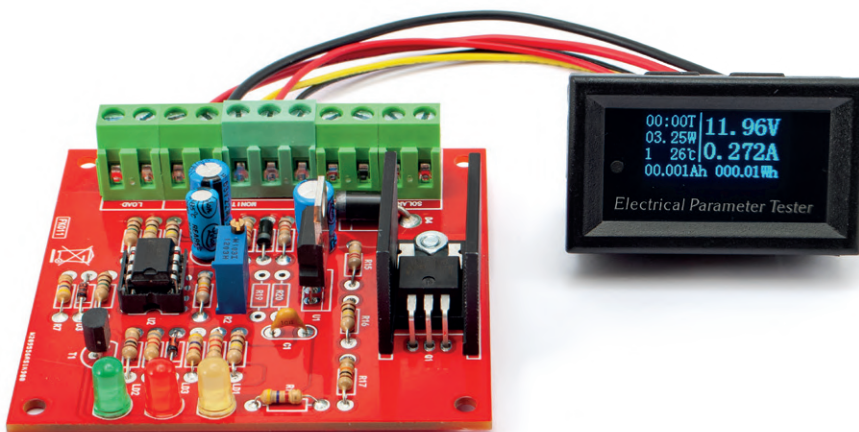
Dimensionering

Bij het selecteren van zonnepanelen en accu's voor deze schakeling moeten we een aantal dingen in overweging nemen. Om te beginnen moeten we het totale vermogensverbruik van de belasting kennen. Als voorbeeld gaan we uit van het verlichten van een kamer met vier LED-lampen van 12 V/10 W, die 4 uur per dag moeten branden. Dat betekent een totaal vermogen van 40 W. In 4 uur is dat een energieverbruik van 0,16 kWh. We weten dan al voldoende om de capaciteit van de 12V-accu te kiezen: in dit geval hebben we een capaciteit van tenminste $160 \text{ Wh} / 12 \text{ V} = 13,3 \text{ Ah}$ nodig. Om aan de veilige kant te blijven, kunnen we uitgaan van minstens tweemaal deze capaciteit.

Vervolgens kunnen we kiezen wat voor paneel we nodig hebben om onze accu op te laden: daarbij spelen de zogenaamde equivalente zonuren een rol. Deze parameter geeft het gemiddelde aantal uren zonlicht met maximale instraling, voor elk gebied in ons land. Dit getal verwijst meestal naar de winterperiode: het getal voor de zomer is het dubbele. In Italië ligt dit getal tussen 1,5 en 3; dat betekent dat in noord-Italië onze panelen gemiddeld 1,5 uur per dag in de winter en 3 uur in de zomer de maximale instraling hebben, terwijl dat in zuid-Italië 3 resp. 6 uur zijn. Uitgaande van een gemiddelde waarde van 3 uur voor zeven dagen en overwegende dat we 180 Wh nodig hebben voor elk weekend, zou ons paneel een maximum vermogen van ongeveer 8,5 W ($180 \text{ Wh} : 7 \text{ dagen} \times 3 \text{ uur}$) moeten hebben. Gezien de eerder genoemde overwegingen is het beter om uit te gaan van het dubbele. Wij hebben daarom gekozen voor twee panelen van elk 12 W voor een totaal van 24 W.

Nu hoeven we alleen nog een type zonnepaneel te kiezen uit het aanbod op de markt: amorf of kristallijn. Panelen van het eerste type hebben een aanzienlijk lagere efficiëntie (ca. 5...6 %) maar werken zelfs goed als er weinig licht is, terwijl kristallijne panelen, als er niet genoeg licht is, geen enkele mA leveren! Omdat de prijs per W heel vergelijkbaar is, is het aan te raden om in het noorden te kiezen voor amorfe panelen, en in het zuiden juist mono- of polykristallijne panelen. De laatste zijn, gezien hun betere efficiëntie, ook aan te raden in situaties waar weinig ruimte is.

Door deze eenvoudige uitgangspunten toe te passen, kunnen we de eigenschappen van het systeem aanpassen aan onze wensen. Na de keuze van de panelen en de accu, moeten we nog een essentieel onderdeel van het systeem onder de loep nemen: de ladingsregelaar. Onze schakeling houdt het ladingsniveau van de accu in de gaten; als die volledig is opgeladen, wordt de verbinding met de panelen onderbroken. Dat voorkomt oververhitting van de accu en de reductie van zijn levensduur. Zodra het ladingsniveau beneden een bepaalde waarde komt, wordt de verbinding met de panelen hersteld.



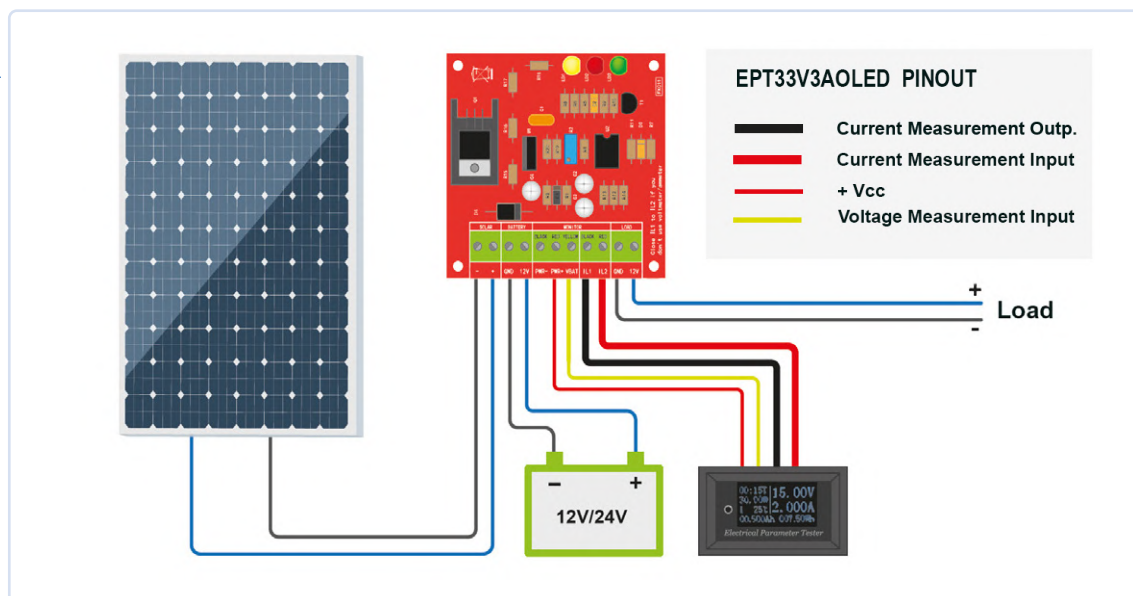
Figuur 3. Het prototype, compleet met de energiemeter.

krom buigen bij het inprikken. Tenslotte kun je de print nog visueel inspecteren. En dan kunnen we hem in gebruik gaan nemen (zie **figuur 3**). Aan één kant van de print zit een printkroonsteen waar alle aansluitingen bij elkaar komen. Gebruik dik draad voor de aansluitingen SOLAR+ en –, BATTERY+ en – (12V) en LOAD+ en –. De aansluitingen SOLAR+ en – zijn voor respectievelijk de positieve en negatieve aansluiting van het zonnepaneel. Gebruik draad van voldoende dikte (reken op 1 mm² per 2,5 A). De accu komt aan BATTERY+ en – (let ook hier op de polariteit en de draaddikte). En hetzelfde geldt natuurlijk voor het aansluiten van de belasting op de punten LOAD+ en –. In **figuur 4** zie je de volledige bedrading van het systeem.

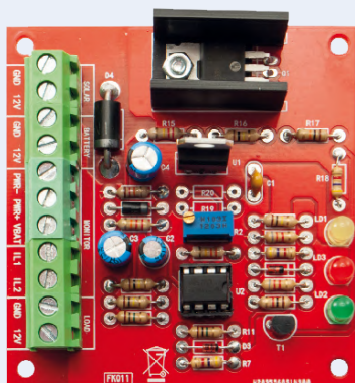
Test en kalibratie van het systeem kunnen op de werkbank plaatsvinden. Sluit daartoe om te beginnen alleen een voeding (die exact 14,4 V levert) op de aansluitpunten voor de accu aan. De rode LED LD3 zou nu moeten oplichten, want de spanning van het zonnepaneel (dat niet is aangesloten) is nul. De MOSFET moet nu sperren, dus de gele LED LD1 is uit. De groene LED kan nu aan of uit zijn, afhankelijk van de stand van trimmer R2. Als de groene LED brandt, draai dan aan trimmer R2 totdat de LED uit gaat, en draai dan langzaam de andere kant op, totdat hij weer aan gaat. Als de LED al uit is, draai dan gewoon voorzichtig aan R2 totdat hij aan gaat.

Sluit nu de accu aan en gebruik de voeding in plaats van het zonnepaneel, sluit dus de positieve en negatieve klemmen van de voeding aan op respectievelijk SOLAR+ en –. Voer langzaam de spanning op, totdat de rode LED uit gaat en de gele LED oplicht. De gele LED zal niet oplichten als ook LD2 brandt. Gebruik voor deze test een voeding met stroombegrenzing om een te grote laadstroom te voorkomen (de stroombegrenzing moet worden ingesteld op 1...2 A). Gebruik altijd kabels met een voldoende diameter voor de gebruikte stroom om de verliezen in de bekabeling te minimaliseren. Deze schakeling is geschikt voor opladen van een accu en rechtstreeks voeden van alle apparaten die werken op 12 VDC. Voor het voeden van apparatuur die werkt op 230 VAC is een inverter nodig, die de 12 VDC omzet in een wisselstroom voor apparaten die werken

Figuur 4. Bedrading tussen de vermogensregelaar en de energiemetmodule.



Onderdelenlijst

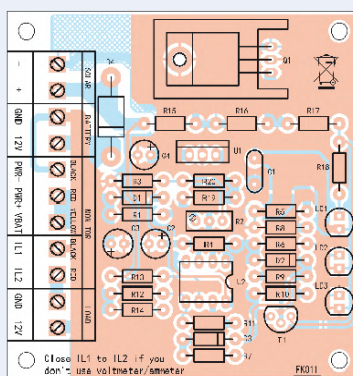


Weerstanden:

R1 = 22 k
R2 = 10 k meerslagen-instelpotmeter
R3 = 12 k
R4 = 330 k
R5, R12, R13, R16 = 100 k
R6, R7, R18 = 4k7
R8, R9 = 8k2
R10 = 1 k
R11, R14 = 1 M
R15 = 220 k
R17 = 10 k
R19, R20 = zie tekst

Condensatoren:

C1 = 100 n keramisch
C2 = 1 μ /63 V, elco
C3 = 22 μ /25 V elco
C4 = 47 μ /25 V elco



Halfgeleiders:

D1 = 1N4007
D2, D3 = 1N4148
D4 = 1N5408
LD1 = LED geel, 5 mm
LD2 = LED groen, 5 mm
LD3 = LED rood, 5 mm
U1 = 7805
U2 = LM358
T1 = BC557
Q1 = IRF540

Diversen:

8-polig DIL IC-voetje
ML26 Koellichaam
1x M3 x 10 mm schroef
1x M3-moer
4x printkroonsteen, 2-polig, steek 5 mm
1x printkroonsteen, 3-polig, steek 5 mm

Print (69x72 mm)

op netspanning. Als je apparaten gevoelig zijn voor de golfvorm van de wisselspanning of voor hoogfrequente storing, is het aan te raden om te kiezen voor een inverter die een zuivere sinus produceert, in plaats van de traditionele (en tegenwoordig een beetje ouderwetse) inverters die een simpele blokgolf leveren.

Let erop dat de accu en het zonnepaneel qua spanning bij elkaar moeten passen. Als het paneel 12...20 V levert (een typisch spanningsbereik voor een paneel van nominaal 12 V), dan hoort daar een 12V-accu bij; de capaciteit moet passen bij de stroom die het paneel kan leveren en de tijd gedurende welke het dat kan. Het heeft geen zin om een grote accu te gebruiken als die nooit volgeladen kan worden.

Tot slot nog wat tips

Het hier voorgestelde project is een compleet energiebeheersysteem voor een kleine foto-voltatische installatie met energie-opslag in een 12V-accu. In combinatie met één of meer zonnepanelen en een accu, biedt het energie-autonomie voor een laagvermogen DC-systeem of, door toevoegen van een inverter, een AC-systeem. Bij het parallel-schakelen van twee of meer zonnepanelen moet je rekening houden met het feit dat deze een verschillende spanning kunnen leveren. Daarom is het in dat geval raadzaam een vermogensdiode in serie met elk paneel te zetten. Uiteraard moet die geschikt zijn voor de stroom (I_f) die de afzonderlijke panelen kunnen leveren. Het is handig om de diode

op te nemen in de positieve aansluiting van elk paneel, met de anode aan de + draad en de kathode op de aansluiting +SOLAR. De negatieve kabels sluiten we gewoon allemaal aan op -SOLAR. 

vertaling: Evelien Snel — 230586-03

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.



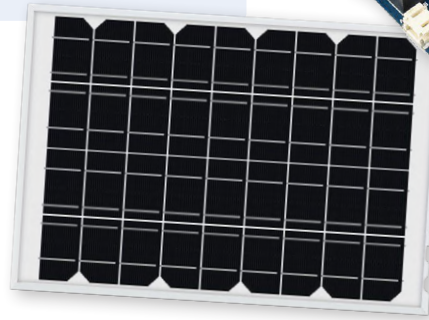
Gerelateerde producten

- > **Waveshare Polysilicon Solar Panel (18 V, 10 W)**
www.elektor.nl/20489
- > **Waveshare Solar Power Management Module**
www.elektor.nl/20488



Over de auteur

Boris Landoni is een elektronica-expert en -hobbyist. Zijn toewijding heeft hem gebracht tot de positie van managing director van Elettronica In, het populairste elektronictijdschrift in Italië. Hij is ook curator van open-electronics.org, een platform voor open source-projecten dat hobbyisten en professionals bij elkaar brengt. En hij is technisch manager van Futura Elettronica, een vooraanstaand bedrijf voor de levering van elektronische componenten aan makers en professionals.



WEBLINK

[1] Downloads bij dit artikel: <http://www.elektormagazine.nl/230586-03>

YOUR KEY TO CELLULAR TECHNOLOGY



**WURTH
ELEKTRONIK**
MORE THAN
YOU EXPECT

WE are here for you!

Join our free webinars on:
www.we-online.com/webinars

Adrastea-I is a Cellular Module with High Performance, Ultra-Low Power Consumption, Multi-Band LTE-M and NB-IoT Module.

Despite its compact size, the module has integrated GNSS, integrated ARM Cortex M4 and 1MB Flash reserved for user application development. The module is based on the high-performance Sony Altair ALT1250 chipset. The Adrastea-I module, certified by Deutsche Telekom, enables rapid integration into end products without additional industry-specific certification (GCF) or operator approval. Provided that a Deutsche Telekom IoT connectivity (SIM card) is used. For all other operators the module offers the industry-specific certification (GCF) already.

www.we-online.com/gocellular

- Small form factor
- Long range/worldwide coverage
- Security and encryption
- Multi-band support

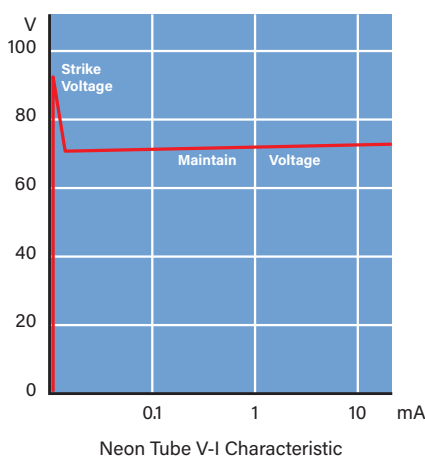
#GOCCELLULAR

Koude-kathode-buizen

vreemde onderdelen

David Ashton (Australië)

Koude-kathode-buizen zijn een soort gasontladingsbuizen die een gas onder lage druk gebruiken om licht te produceren. De eenvoudigste uitvoering is het neonlampje, dat vaak als indicatielampje wordt gebruikt. Andere veelgebruikte koude-kathode-buizen zijn neonbuizen, spanningsregelaars en gasontlading-overspanningsbeveiligingen.



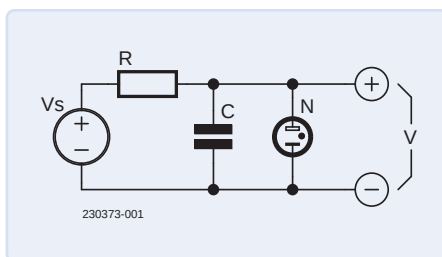
Figuur 1. V/I-karakteristiek van een typische neonbuis.

Als twee elektroden worden aangebracht in een glazen omhulsel dat is gevuld met neon of een ander gas onder lage druk en er wordt voldoende spanning op de elektroden gezet, dan zal het gas op een gegeven moment ioniseren en zal het gas rond de negatieve elektrode (de kathode) gaan gloeien – oranje voor neon, andere kleuren voor andere gassen. Dit zijn de zogenaamde 'koude-kathode-buizen' omdat de kathode niet wordt verhit, in tegenstelling tot thermionische buizen ("Wat is een buis eigenlijk, papa?"). Op basis van dit effect is een groot aantal apparaten ontworpen, waarvan ik er hier een paar de revue laat passeren.

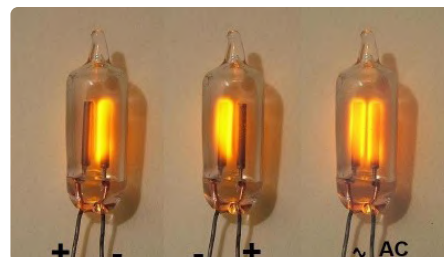
De eenvoudigste koude-kathode-buis is de neonlamp. Deze (en laagspannings-gloeilampjes) waren de meestgebruikte 'aan'-lampjes in de dagen voor de komst van LED's. Ze ioniseren bij ongeveer 90 V (de 'ontsteek'- of 'doorslag'-spanning) en eenmaal geïoniseerd blijven gloeien bij een spanning van ongeveer 65 V (de 'houd'-spanning). Dit verschil impliceert een gebied met negatieve weerstand

in de V/I-curve van de lamp (figuur 1), zodat het mogelijk is een relaxatie-oscillator met een neonlamp, een weerstand en een condensator te construeren (figuur 2). Vanwege de negatieve weerstandskarakteristiek moet je, als je een neonlamp wilt gebruiken als spanningsindicator voor wisselstroom, er een weerstand in serie mee plaatsen – meestal wordt 220 kΩ gebruikt bij 230 V wisselstroom. Als de stroom niet wordt begrensd, zal de lamp een zeer korte levensduur hebben. Neonlampen hebben symmetrische elektroden en als je ze met wisselstroom gebruikt, gloeien beide elektroden (figuur 3).

De bekende neonreclames op bekende plaatsen als Piccadilly Circus en Times Square maken gebruik van hetzelfde effect. Er wordt een speciaal gevormde buis met neon of een ander gas gebruikt, soms met een kleine hoeveelheid kwik, en er kunnen verschillende kleuren worden geproduceerd. Nog meer kleuren zijn mogelijk door een fluorescerende fosforlaag aan de binnenkant van het glas aan te brengen. Deze lange buizen hebben



Figuur 2. Relaxatie-oscillator met neonlampje.



Figuur 3. Neonlampjes gevoed met respectievelijk gelijkstroom met verschillende polariteit en wisselstroom. Bron: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Neonlamp3.JPG>, "Neonlamp3", <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>

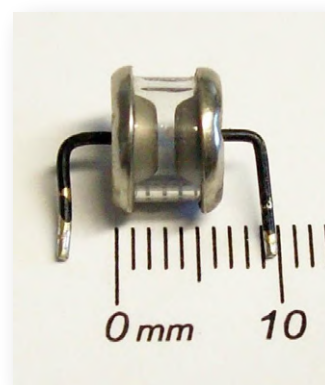


Figuur 4. Nixiebuis met de oplichtende "4". Meestal wordt een rood of oranje filter gebruikt om het contrast te verbeteren. Bron: Georg-Johann Lay met een kleine bewerking door Richard Bartz (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ZM1210-operating_edit2.jpg), "ZM1210-operating edit2", <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>



Figuur 5. Flitsbuis. De ontsteelelektrode is de middelste aansluiting, die naar twee banden aan de buitenkant van het glas gaat. Bron: Jaycar Electronics (Australië).

Afbeelding 6: Gasontlading-overspanningsbeveiliging. Bron: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gasableiter.jpg>



ongeveer 30.000 V nodig om te ontsteken. Ook nog uit het goede oude buizentijdperk zijn de spanningsregelbuizen. Dat waren speciaal geconstrueerde neonbuizen (meestal gemengd met andere gassen) waarover een uiterst constante spanning viel als ze eenmaal 'ontstoken' waren. Populaire modellen waren de OA2 (150 V), OB2 (106 V) en 85A2 (85 V). Deze buizen waren het glazen equivalent van de huidige zenerdiodes. De bedrijfsstroom varieerde van 1 mA tot ongeveer 40 mA.

Tegenwoordig genieten Nixiebuizen nog steeds een grote populariteit (**figuur 4**). Deze voorlopers van de nu alomtegenwoordige zeven-segment-displays waren gewoon veredelde neonbuizen, maar dan met tien kathodes, elk in de vorm van een cijfer. Ze boden een zeer natuurlijk ogend display en er zijn mensen (waaronder ik) die ze mooi vinden en verkiezen boven moderne displays. Ook flitsbuizen (**figuur 5**), gebruikt in cameraflitsers en stroboscopen, worden nog steeds veel gebruikt. Deze gebruiken voornamelijk xenongas als vulling. Ze hebben twee hoofdelektroden en een kleinere triggerlektrode in de buurt van één of beide hoofdelektroden. Als er een paar honderd volt op de hoofdelektroden wordt gezet, zorgt een hoogspanningspuls op de triggerlektrode ervoor dat het gas tussen de twee hoofdelektroden ook wordt, waardoor

de heldere witte flits ontstaat die we allemaal kennen en liefhebben...

Een ander veel gebruikte buis is de gasontlading-overspanningsbeveiliging (**figuur 6**). Dit zijn componenten met twee of drie aansluitingen, bestaande uit een glazen of keramische buis met een elektrode aan elk uiteinde en een in het midden. De middelste elektrode is meestal geaard en de twee buitenste elektroden zijn verbonden met bijvoorbeeld een telefoonlijn. Elke spanning die hoger is dan de doorslagspanning zorgt ervoor dat het de component wordt getriggerd en de spanning begrenst; op die manier biedt de component beveiliging tegen spanningspieken.

Er zijn legio andere koude-kathode-componenten. Fluorescentielampen gebruiken meestal een verhitte kathode, maar er zijn ook types met koude kathode, met name die types die worden gebruikt voor de achtergrondverlichting van telefoondisplays. Vroeger werden kwik-booggeleijkrichters gebruikt voor gelijkrichting; thyatronen zijn de voorlopers van de SCR's van tegenwoordig. Dekatronen waren telbuizen die als tiendeler werden gebruikt – lang voordat de 7490 en 4017 zelfs maar op papier bestonden. Maar aan deze componenten kan (en zal hopelijk) een eigen artikel worden gewijd. ◀

230373-03

Over de auteur

David Ashton is geboren in Londen en opgegroeid op in Rhodesië (nu Zimbabwe). Hij woonde en werkte in Zimbabwe en woont nu in Australië. Hij is al geïnteresseerd in elektronica sinds hij "drie turven hoog" was. Rhodesië was niet bepaald het centrum van het elektronica-universum, dus aanpassen, vervangen en onderdelen bij elkaar scharrelen waren vaardigheden die hij al vroeg aanleerde (en waar hij nog steeds trots op is). Hij heeft een elektronicalab gerund, maar werkte voornamelijk in de telecommunicatie.

Vragen of opmerkingen?

Neft u technische vragen of opmerkingen hebt naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar de redactie van Elektor via redactie@elektor.com.

Uit het leven gegrepen



nostalgie

Ilse Joostens (België)

Jack Thayer schreef al in zijn boek rond de ramp met de Titanic dat de wereld sindsdien in een steeds sneller tempo verandert, met steeds minder vrede, voldoening en geluk. Het lijkt wel of we in de huidige snelle en complexe maatschappij met z'n allen in een reusachtige blender zitten die steeds op een hoger standje gezet wordt. Hard werken, meer doen in minder tijd en meer resultaten behalen is het credo. Wie niet druk bezig is en geen bomvolle agenda heeft is ofwel verdacht ofwel lui ofwel beide. Het is altijd meer, meer, meer en we neigen daardoor ook harder met elkaar om te gaan.



▲

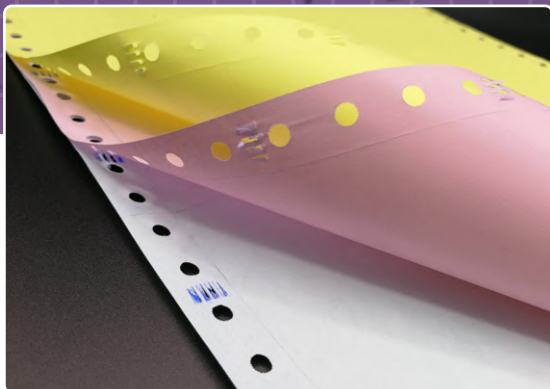
Bron: Shutterstock /
Miljan Zivkovic

Toch kom ik zo nu en dan op plaatsen waar de tijd lijkt stil te staan en dan denk ik weer in een nostalgische bui aan vroeger. Niet dat het toen zoveel beter was, maar voor even ontsnappen aan de ratrace is elke keer stiekem een beetje een verademing.

Bokkenpootjes

Op een keer werd mijn aandacht getrokken door een online-advertentie voor een aantal nixiebuisjes en dolenthousiast had ik gelijk contact gezocht. De verkoper bleek geen vertrouwen te hebben in de post en na enig over en weer mailen hadden we afgesproken dat ik de buisjes dan maar zou gaan ophalen. Toen ik na een zenuwslopend lange rit aankwam, werd ik verwelkomd door een oudere man, laat ik hem Robert noemen [1], en zijn echtgenote. Meteen werd ik, door een jaren-80-interieur, naar de keukentafel geleid waar de koffiepot en een doos bokkenpootjes reeds klaar stonden. Na een tijd over koetjes en kalfjes gepraat te hebben kwamen plots twee metalen koekendozen op tafel, beiden tot de nok gevuld met Japanse nixiebuisjes in netjes gelabelde plastieken zakjes, een waar walhalla voor de liefhebber van vintage-elektronica. In sommige zakjes zat zelfs een papiertje met reclame voor likstenen voor koeien en paarden waar achterop de pinout van het betreffende onderdeel stond gekrabbeld. Het bleek dat Robert zijn hobby noodgedwongen had moeten stopzetten wegens een oogziekte en nu alles te koop aanbod.

Na de koffie nam Robert me mee naar zijn thuislab in een bijgebouw achter het huis, typerend voor België, het land van stoverij en koterij [2]. Daar stond naast zelfgebouwde meetapparatuur ook nog een kast met meerdere jaargangen van – toen nog – Elektuur en Elex en uiteraard nog veel meer koekendozen met allerlei onderdelen. Microcontrollers, SMD-componenten en ander 'modern' spul waren in de verste verte niet te bekennen en printen werden nog gewoon met de hand geëtst aan de hand van afdrukken met een laserprinter op transparant, zoals ik het zelf bijna dertig jaar geleden ook nog heb gedaan. Het leek wel of de tijd er stil was blijven staan. Robert wees me trots op een frequentiemeter in een metalen behuizing die hij



▲ Bron: Shutterstock / YoONSpY

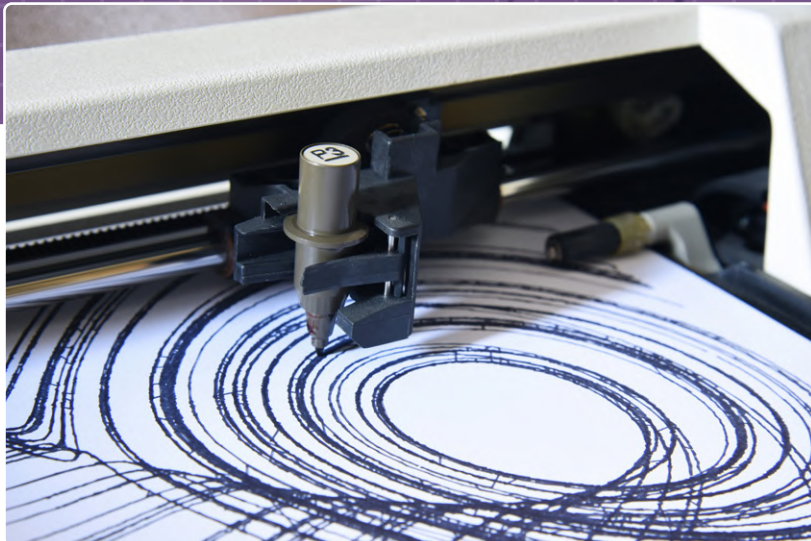


Foto: Ilse Joostens ►

ooit zelf had gebouwd. Hij schakelde het toestel in en prompt verscheen een rij nullen op het display gebouwd met – alweer – Japanse nixiebuizen. “Veel ga je nu nog niet zien”, zei hij waarop hij een stukje losse draad in de BNC-connector van het toestel frutte en de nixiebuizen vrolijk willekeurige cijfers begonnen weer te geven door de opgepikte stoorsignalen. Hij had nog twee van deze toestellen gebouwd voor mede-hobbyisten, maar deze wilde hij toch nog zo lang mogelijk zelf houden. Bij het naar buiten gaan kreeg ik nog twee koekendozen met zeven-segment-displays en enkele kartonnen dozen vol buizen mee. De vrouw des huizes keek meewarig en toen het moment om afscheid te nemen aanbrak vertrouwde ze me toe dat Robert vroeger hele dagen in zijn ‘kot’ zat, met een ondertoon dat ze dat toch maar niks vond.

Laatjes en luchtkussens

De klassieke elektronicawinkels zijn een uitstervend ras en de winkels die nog overblijven verkopen steeds minder losse onderdelen en meer kant en klare spullen. Ik was dan ook verbaasd, toen ik een pakje klaarmaakte voor een klant uit Slowakije, ook een elektronicawinkel, om op Google Maps een interieur te zien met daarin een wand met honderden laatjes. Deze deden me denken aan een winkel in mijn geboortestad waar ik nog tot eind 2011 regelmatig over de vloer kwam. De winkel is kort daarna, na een overname, overgebracht naar een ander pand en gemoderniseerd. Ook daar leek de tijd in 2011 nog stil te staan. Niet alleen ademde het interieur een jaren-zeventig-sfeer uit, ook de manier van werken was eerder speciaal. Als je je lijstje afgaf aan de winkelbediende wist die feilloos de laatjes te vinden en schreef dan de artikelcodes over op jouw lijstje. Als het lijstje afgewerkt was werd alles in ‘zakjes’ eigenlijk openge-

knipte luchtkussens, gestopt en dicht geniet. Recyclage op zijn best dus. Vervolgens werden de artikelcodes één voor één ingetikt op een computer waarna een matrixprinter alles ratelend afdruckte op kettingformulieren van doordrukpapier [3].

Het origineel ging keurig in een oude versleten ordner en als klant kreeg je de bon op de roze doordruk mee. Uiteraard cash te betalen, van elektronisch betalen had men daar nog niet gehoord. In de praktijk ging dat tergend traag en dikwijls stond er een hele wachtrij aan de toonbank. Nu was een obscuur winkeltje in een nabijgelegen stadje zo mogelijk nog trager. De uitbater was een oudere man die ongevraagd uitleg gaf bij alles wat je kocht. Een keer kreeg ik zelfs een uiteenzetting van bijna een half uur over styroflex condensatoren. Ik denk maar dat de brave man zo nu en dan behoefte had aan een babbel.

Plottermania

Naastr elektronica hou ik me ook graag bezig met generatieve kunst, en plotterkunst stond al langer op mijn verlanglijstje. Ik had nog een oude penplotter, maar software was een probleem en ik wilde daar ook niet te veel tijd in steken. Nu heb ik recent een leuk en betaalbaar programma gevonden [4] en na het in elkaar solderen van een RS-232 kabel gaf het een heel goed gevoel om de plotter na bijna dertig jaar weer vrolijk te zien tekenen en tekenpennen wisselen, net alsof de jaren '90 weer terug waren.

Gelukkig is het toenmalige gedoe met gender changers, DB9/DB25-verloopstekkers, dataswitches en RS-232 monitorkastjes met ‘Blinkenlights’ me bespaard gebleven. ◀

230532-03

WEBLINKS

[1] Seinfeld: Rabbi with loose lips: <https://www.youtube.com/watch?v=szAjGEoPtY4>

[2] De Wereld van Sofie: De 10 vuistregels van de koterijen volgens Bert Kruismans: <https://radio1.be/lees/de-10-vuistregels-van-de-koterijen-volgens-bert-kruismans>

[3] Epson Dot Matrix Action Printer T 1000: <https://www.youtube.com/watch?v=qIEUrEVqDbo>

[4] DrawingBotV3 - An open source software for creating Pen Plotter Art: <https://drawingbotv3.com/>



Alle begin...

...bekijkt de FET

Eric Bogers (Elektor)

Net zoals tegenwoordig de meeste elektronici naar een microcontroller uitwijken als het een beetje ingewikkeld dreigt te worden, werken we eigenlijk nog maar zelden met 'losse' transistoren – waar mogelijk gebruiken we operationele versterkers (opamps), en er is ook geen reden om dat niet te doen want moderne opamps zijn van een onovertroffen kwaliteit. Daarom maken we in deze aflevering al in het kort kennis van deze nieuwe werkpaarden van de elektronica – maar niet nadat we nog een laatste blik op de FET hebben geworpen, en na een korte aanvulling op de vorige aflevering.

Maar eerst een kleine aanvulling op de aflevering uit het september/oktober-nummer van dit jaar [1]. We schreven daar, onder het kopje 'De emitterschakeling': "Het is mogelijk met deze schakeling een signaal nog veel meer te versterken, maar dan moet worden gekozen voor een kleinere emitterweerstand en/of een hogere voedingsspanning." Dat klopt natuurlijk, maar is niet helemaal volledig. Wanneer we een condensator parallel schakelen aan de betreffende emitterweerstand, blijft de gelijkstroominstelling van de transistor onveranderd, maar voor wisselspanningen neemt de impedantie van de parallelschakeling af – met als gevolg dat de versterking van wisselspanningen toeneemt. We laten het aan de geïnteresseerde lezer over hieraan te gaan rekenen. En dank aan Elektor-lezer (en -auteur) Dogan Ibrahim die ons op deze ommissie heeft gewezen.

De veldeffecttransistor (FET)

In tegenstelling tot de bipolaire transistor die in de vorige afleveringen de hoofdrol speelde, wordt een veldeffecttransistor (field effect transistor, FET) niet met een stroom maar met een spanning gestuurd.

Een FET heeft een bijzonder hoogohmige ingang zodat het aansturen (in elk geval bij gelijkspanningen) vrijwel vermogensvrij plaatsvindt. Bij toenemende frequentie gaan de inwendige capaciteiten van een FET een steeds belangrijker rol gaan spelen.

Veldeffecttransistoren spelen in de theater- en evenement-techniek een betrekkelijk ondergeschikte rol. Om ruis zoveel mogelijk te beperken, mogen schakelingen daar sowieso niet hoogohmig worden uitgevoerd. Alleen in eindversterker worden vaak power-MOSFET's als eindtransistoren toegepast.

Figuur 1 toont het schemasymbool van een n-kanaal veldeffecttransistor. Als de pijl in het schemasymbool in de andere richting had gewezen, dan zou het een p-kanaal FET zijn geweest (met omgekeerde polariteit). De drie aansluitingen worden *gate*, *drain* en *source* genoemd; deze komen qua functionaliteit min of meer overeen met de basis, collector en emitter van een bipolaire transistor.

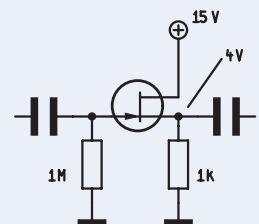


Figuur 1. N-kanaal JFET.

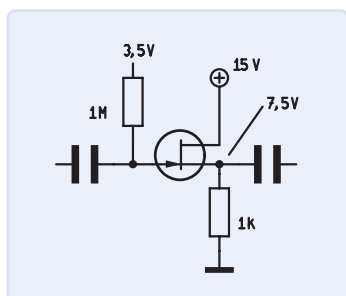
De sourcevolger

De sourcevolger is het FET-equivalent van de emittervolger en heeft dus een spanningsversterking van éénmaal.

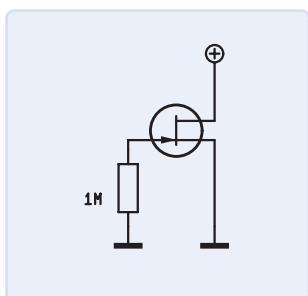
In de schakeling van **figuur 2** is de gate simpelweg met een hoogohmige weerstand aan massa gelegd; bij een BF245 loopt er dan een drainstroom van ongeveer 4 mA waardoor het werkpunt hier bij ongeveer 4 V komt te liggen.



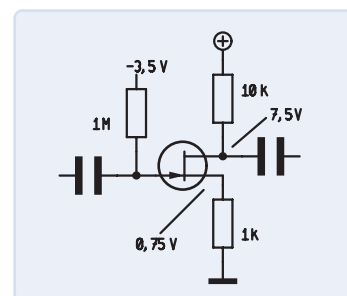
Figuur 2. Sourcevolger.



Figuur 3. Optimale instelling van het werkpunt.



Figuur 4. Constante-stroombron met een FET.

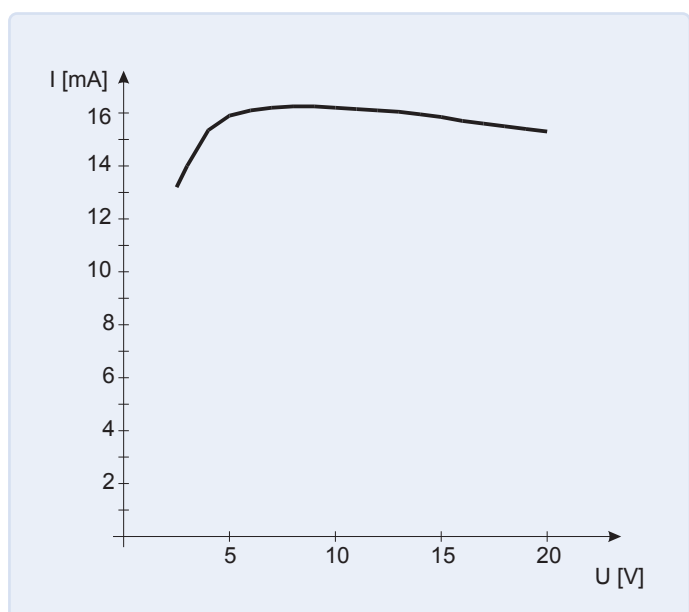


Figuur 6. Sourceschakeling.

Omdat de gate bijzonder hoogohmig is, voeren drain en source ongeveer dezelfde stroom; de ingangsweerstand wordt bepaald door de weerstand van gate naar massa. Via de gewenste onderste kantelfrequentie kan de waarde van de condensator worden berekend; in vergelijking met een bipolaire emittervolger kan die relatief klein uitvallen.

De schakeling van figuur 2 heeft het nadeel dat het werkpunt niet bij de halve voedingsspanning ligt en dat de schakeling dus niet optimaal kan worden uitgestuurd. Om daar wat aan te veranderen, hoeft slechts de gate op de gewenste spanning te worden ingesteld, zoals geschetst in **figuur 3**. De instelspanning kan door een simpele spanningsdeler worden geleverd.

Met een veldeffecttransistor kan ook heel gemakkelijk een tamelijk goede constante-stroombron worden geconstrueerd: zie **figuur 4**. Wanneer u de grafiek van **figuur 5** bestudeert, ziet u waarschijnlijk dat de FET op dit gebied beter presteert dan zijn bipolaire broertje. Stroombronnen als deze worden vaak gebruikt om LED's van een constante stroom te voorzien.



Figuur 5. De FET als constante-stroombron.

De sourceschakeling

Op de juiste manier aangesloten kunnen met FET's natuurlijk ook spanningen worden versterkt. De betreffende schakeling lijkt sterk op de emitterschakeling bij de bipolaire transistor; ook bij de FET wordt de versterking bepaald door de verhouding van de weerstanden in de drain- en sourcetak.

De schakeling van de sourcevolger in **figuur 6** heeft echter een nadeel: om het werkpunt op een zinnige waarde te kunnen instellen hebben we een negatieve spanning nodig. Dat is de reden dat veldeffecttransistoren zelden op deze manier voor spanningsversterking worden gebruikt: in plaats daarvan worden alleen in de ingangstrap van meertraps-versterkers FET's toegepast, waarna voor de verdere signaalversterking gewone bipolaire transistoren worden gebruikt.

Deze aanpak komen we ook tegen bij de in de audiotechniek veelvuldig toegepaste opamps TL072 (tweevoudige opamp – dat wil zeggen twee opamps in één behuizing) en TL074 (viervoudige opamp). Een FET-ingangstrap zorgt voor een zeer hoge ingangsweerstand ($10^{12} \Omega$), terwijl de ruis binnen de perken wordt gehouden door voor de verdere signaalverwerking bipolaire transistoren te gebruiken.

Operationele versterkers

De naam *operationele versterker* (operational amplifier) heeft niets met chirurgie maar alles met mathematische bewerkingen of 'operaties' te maken. Toen in een nog niet eens zo heel grijs verleden de digitale techniek nog niet voldoende was gevorderd voor gecompliceerde wiskundige berekeningen, maakte men als er geïntegreerd of gedifferentieerd moest worden gebruik van analoge computers – computers op basis van analoge elektronica, opamps om precies te zijn.

Een van de grootste problemen van conventionele transistorschakelingen is de temperatuurdrijf: als het werkpunt voortdurend verloopt, dan is de nauwkeurigheid van gecompliceerde bewerkingen niet om over naar huis te schrijven. Daarom heeft men destijds al snel zijn toevlucht genomen tot verschilversterkers: wanneer het werkpunt van de niet-inverterende ingang verloopt, dan gebeurt dat aan de inverterende ingang in precies dezelfde mate zodat de fouten elkaar opheffen.

Zo'n verschilversterker in combinatie met een zeer grote open-lusversterking blijkt een uitgesproken universeel buikbare schakeling te zijn die de naam operationele versterker of liefkozend *opamp* heeft meegekregen.

Aanvankelijk werden operationele versterkers discreet opgebouwd, dat wil zeggen met losse transistoren. Al snel werd echter ingezien dat toepassing van geïntegreerde schakelingen veel werk kan besparen.

Omdat het ruisgedrag van de eerste IC's niet bepaald geweldig was, werden in de audiotechniek nog enkele jaren discrete opamps toegepast, maar die tijd ligt ook al weer vele jaren achter ons: moderne opamps hebben meer dan uitstekende audio-eigenschappen en zijn inmiddels niet meer weg te denken uit de kleinsignaal-elektronica.

Het inwendige van een opamp

Bij een geïntegreerde schakeling maakt het voor de kostprijs niet uit of er een transistor meer of minder in zit, en daarom zijn gebruikelijke operationele versterkers met 40 tot 50 transistoren opgebouwd. Voor een eerste kennismaking zijn de schakeling van die exemplaren echter te ingewikkeld, zodat we hier een (sterk) vereenvoudigde versie bekijken (**figuur 7**) die in deze vorm als IC niet bestaat maar die u desgewenst zelf zou kunnen nabouwen (hoewel dat aan onderdelen waarschijnlijk meer kost dan een passend IC'tje...).

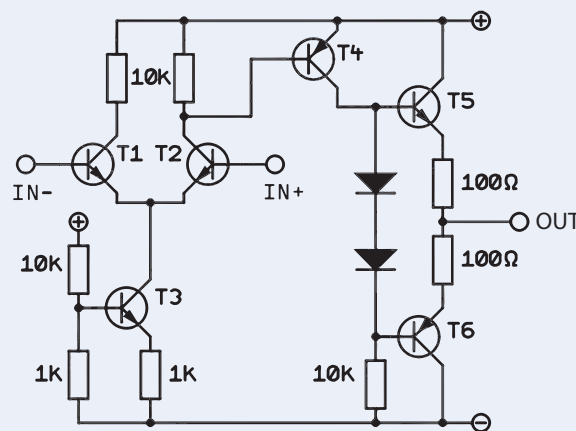
Transistoren T1 en T2 vormen een verschilversterker zoals we die in een eerdere aflevering hebben leren kennen. We hebben de emitterweerstand weggelaten – voor de werking van de schakeling zijn die verder niet van belang. Met transistor T3 is een constante-stroombron opgebouwd.

Transistoren T5 en T6 vormen een klasse-B balans-eindtrap. Dankzij de relatief grote emitterweerstand is de uitgang kortsluitvast. Door de tegenkoppeling bij gebruik van de schakeling als operationele versterker wordt de uitgangswaerstand toch al sterk gereduceerd, zodat we ons daarover verder geen zorgen hoeven te maken. Door tegenkoppeling wordt ook de overnamevervorming (eigen aan een klasse-B-versterker) geminimaliseerd, zodat de kwestie 'ruststroom' verder ook niet ter sprake hoeft te komen.

Transistor T4 vormt in z'n eentje een drivertrap; dit is een gemeenschappelijke emitterschakeling. In strijd met alles waarvoor we eerder hebben gewaarschuwd, is hier geen emitterweerstand gebruikt – operationele versterkers worden gestabiliseerd door middel van een overall-tegenkoppeling (van uitgang naar ingang), zodat een zo groot mogelijke open-lusversterking belangrijker is dan de exacte ligging van het werkpunt van een interne versterkertrap. Hier laten we het voor deze aflevering bij; u hebt alvast even kunnen ruiken aan de opamp, waarmee we in de volgende aflevering versterkerschakelingen gaan opbouwen. ◀

230608-03

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



Figuur 7. Het (sterk vereenvoudigde) inwendige van een operationele versterker.

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.



Related Products

> **Michael Ebner, Basiscursus elektronica (e-boek)**
www.elektor.nl/18232



WEBLINK

[1] "Alle begin ... versterkt spanningen", Elektor september/oktober 2023: <http://www.elektormagazine.nl/magazine/elektor-314/62174>

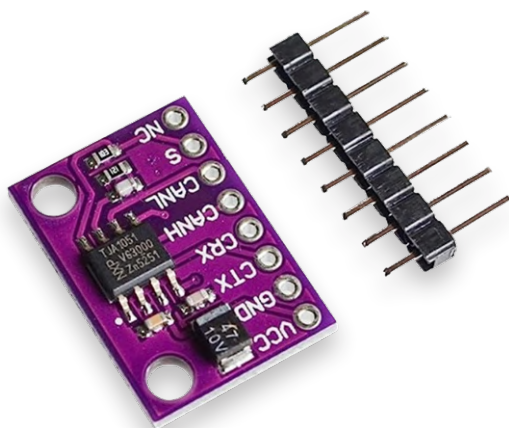
CAN-bus voor de Arduino UNO R4: een tutorial

twee UNO R4's nemen de bus!

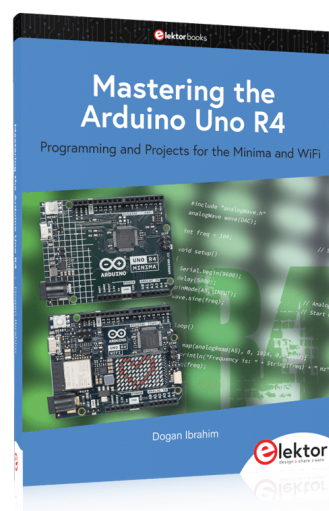
Dogan Ibrahim (UK)

De Arduino UNO R4, die vorig jaar in twee versies is uitgebracht, ondersteunt de CAN-bus zowel hard- als softwarematig. In dit artikel bekijken we een aantal handige CAN-modules, een experimentele opstelling en de grondbeginselen om verkeer tussen CAN-knooppunten zichtbaar te maken in de seriële monitor van Arduino.

Opmerking van de redactie: dit artikel is een deel van het 326 pagina's tellende boek *Mastering the Arduino Uno R4* (Elektor 2023). Het artikel is opgemaakt en licht bewerkt om te voldoen aan de redactionele standaarden en paginaopmaak van Elektor Magazine. Auteur en redacteur hebben hun best gedaan met deze bewerking en staan voor je klaar als je vragen hebt. Contactgegevens vind je in het kader **Vragen of opmerkingen**.



Figuur 1. De TJA1051 transceivermodule.



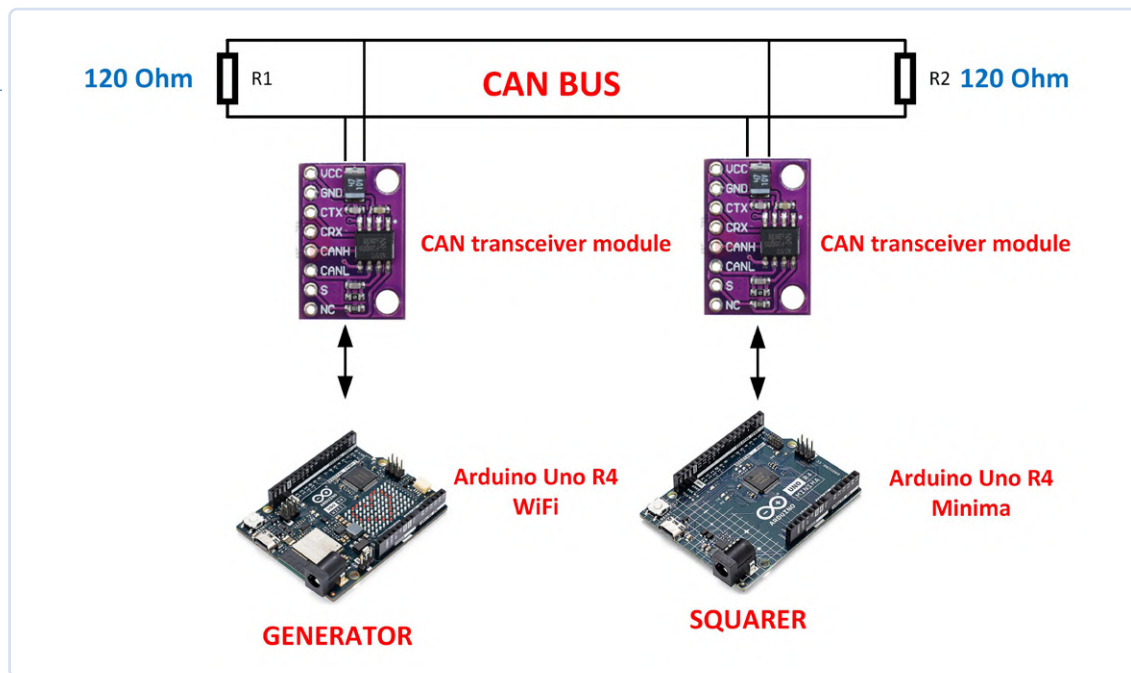
De Arduino UNO R4 Minima heeft twee pinnen die gebruikt kunnen worden voor de Controller Area Network-businterface (CAN): D5 (RX) en D4 (TX). Op de R4 WiFi-versie zijn de CAN-bus pinnen D13 (RX) en D10 (TX). Hoewel er echte CAN-bus interfacesignalen zijn, is het noodzakelijk om CAN-bus transceivermodules op deze pinnen aan te sluiten voordat ze op de eigenlijke CAN-bus kunnen worden aangesloten.

CAN-bus transceivers

Een CAN-bus transceivermodule is een fysieke interface tussen de Arduino UNO R4 CAN-bus pinnen en de CAN-bus kabel. Er zijn verschillende transceivermodules op de markt. De geïntegreerde schakeling die in het genoemde boek wordt gebruikt is de TJA1051 (**figuur 1**), een high-speed CAN transceivermodule die een interface biedt tussen een CAN-protocolcontroller en de tweedraads CAN-bus.

De fundamentele eigenschappen van de TJA1051 zijn:

- > voedingsspanning 4,5...5,5 V
- > conform ISO 11898-2:2016 en SAE J2284-1 tot SAE J2284-5
- > geschikt voor 12V- en 24V-systemen
- > lage elektromagnetische emissie
- > voedingsstroom: 1 mA in silent modus; 5 mA in bus recessive-modus; 50 mA in de bus dominant-modus



Figuur 2. Blokschema van het demoproject.

De TJA1051 transceivermodule heeft de volgende pinnen:

- › CANH CAN_H: businterface
- › CANL CAN_L: businterface
- › VCC: +5 V
- › GND: massa
- › CTX: ingang voor te verzenden data
- › CRX: uitgang voor ontvangen data (leest data van de bus)
- › S: silent modusregeling (LAAG in normale modus, HOOG in silent modus)

In de volgende paragrafen wordt een op CAN-bus gebaseerd demoproject getoond om te illustreren hoe de CAN-bus functionaliteit van de Arduino UNO R4 kan worden gebruikt. De ingebouwde Arduino CAN-bibliotheek wordt gebruikt om te communiceren met andere CAN-devices.

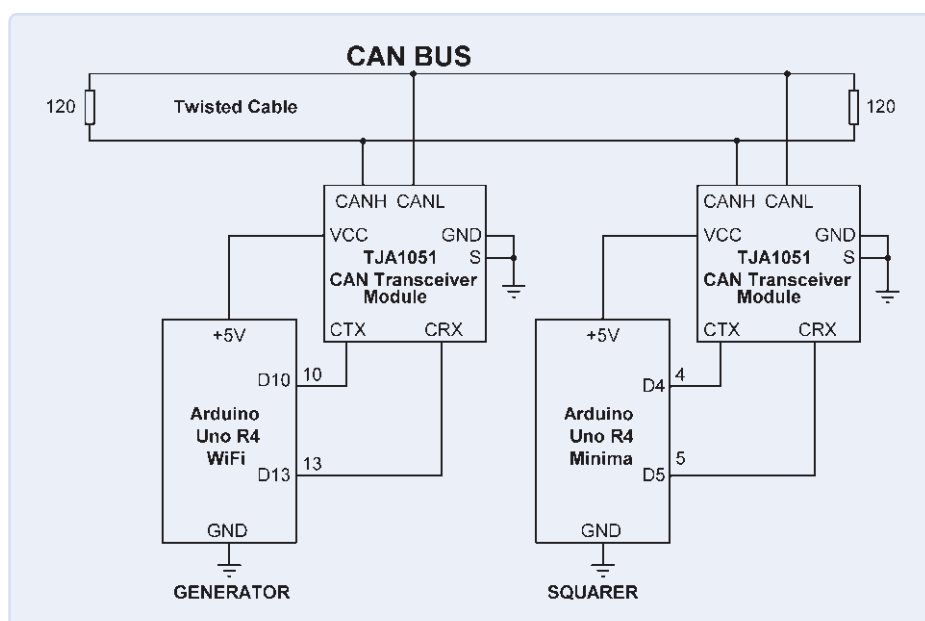
UNO R4 WiFi naar UNO R4 Minima CAN-bus communicatie

Om dit project na te bouwen, heb je twee Arduino UNO R4-boards nodig. Hiervan wordt de Arduino UNO R4 WiFi de GENERATOR genoemd en de Arduino UNO R4 Minima de SQUARER. Beide boards zijn verbonden via een CAN-bus, wat betekent dat er twee knooppunten zijn, GENERATOR en SQUARER genaamd. Het GENERATOR-knooppunt is geprogrammeerd om willekeurige gehele getallen tussen 1 en 20 te genereren en deze naar het SQUARER-knooppunt te sturen, waar de ontvangen getallen worden gekwadeerd en weergegeven op de seriële monitor van de IDE. Dit proces wordt herhaald na een vertraging van 3 seconden. Het doel van dit project is om te laten zien hoe twee Arduino UNO R4's kunnen worden aangesloten en communiceren via een CAN-bus.

Figuur 2 toont het blokschema van het project. Hier is het GENERATOR-knooppunt een Arduino UNO R4 WiFi en het SQUARER-knooppunt een Arduino UNO R4 Minima. Twee CAN-bus transceivermodules en de CAN-bus bedrading zijn ook getekend.

Opmerking: de Elektor-productbundel bevat het boek en een Arduino R4 Minima-development board. Het TJA1051 IC, de CAN-bus transceivermodules en de afsluitweerstand moeten apart worden aangeschaft.

Figuur 3 toont het schema van het project. Merk op dat de buskabel is afgesloten met twee 120Ω-weerstanden. De CANH- en CANL-pinnen van beide transceivers zijn verbonden met de buskabel. De CTX- en CRX-pinnen van de transceivermodule zijn verbonden met de D10- en D13-pinnen van de Arduino UNO R4 WiFi. Op dezelfde manier zijn de CTX- en CRX-pinnen van de andere transceiver verbonden met respectievelijk de D4- en D5-pinnen van



Figuur 3. Schema van het demoproject.



Listing 1. Het programma voor het GENERATOR-knooppunt.

```
//-----  
//          CAN BUS PROGRAM  
//          =====  
//  
// This program generates random numbers between 1 and 20 and sends them  
// over the CAN bus to a node called SQUARER. The SQUARER node takes the  
// square of these numbers and displays them on the Serial Monitor. CAN  
// baud rate is set to 250 K. The process is repeated every 3 seconds  
//  
// Author: Dogan Ibrahim  
// File  : GENERATOR  
// Date  : July, 2023  
//-----  
#include <Arduino_CAN.h>  
static uint32_t const CAN_ID = 0x20;  
uint8_t RandomNumber;  
uint8_t msg_data[8];  
void setup()  
{  
    Serial.begin(9600);  
    delay(5000);  
    if (!CAN.begin(CanBitRate::BR_250k))  
    {  
        Serial.println("CAN begin failed...");  
        while(1);  
    }  
    else  
        Serial.println("CAN begin success...");  
}  
void loop()  
{  
    RandomNumber = random(1, 21);                // Random number  
    Serial.print("Random number is: ");  
    Serial.println(RandomNumber);  
    msg_data[0] = RandomNumber;  
    msg_data[1] = 0x00;  
    msg_data[2] = 0x00;  
    msg_data[3] = 0x00;  
    msg_data[4] = 0x00;  
    msg_data[5] = 0x00;  
    msg_data[6] = 0x00;  
    msg_data[7] = 0x00;  
    CanMsg msg(CAN_ID, sizeof(msg_data), msg_data);  
    int const rc = CAN.write(msg);  
    if(rc < 0)  
    {  
        Serial.print("CAN write failed. Error code is: ");  
        Serial.println(rc);  
        while(1);  
    }  
    delay(3000);                                // Wait 3 secs and repeat  
}
```



Listing 2. Het programma voor het SQUARER-knooppunt.

```
//-----  
//          CAN BUS PROGRAM  
//          =====  
//  
// This program receives random numbers between 1 and 20 over the CAN bus  
// and takes the square of these numbers and then displays the numbers on  
// the Serial monitor  
//  
// Author: Dogan Ibrahim  
// File  : SQUARER  
// Date  : July, 2023  
//-----  
#include <Arduino_CAN.h>  
static uint32_t const CAN_ID = 0x20;  
void setup()  
{  
    Serial.begin(9600);  
    delay(5000);  
    if (!CAN.begin(CanBitRate::BR_250k))  
    {  
        Serial.println("CAN begin failed...");  
        while(1);  
    }  
    else  
        Serial.println("CAN begin success...");  
}  
  
void loop()  
{  
    if(CAN.available())  
  
}
```

de Arduino UNO R4 Minima. In dit project is ongeveer een meter twisted-pair kabel gebruikt als CAN-bus kabel.

De *Arduino* CAN-bibliotheek ondersteunt de volgende baudrate-constanten: *BR_125k*, *BR_250k*, *BR_500k*, *BR_1000k*. De vereiste baudrate moet tijdens de initialisatie worden aangegeven. Voor een baudsnelheid van 250 kbit/s is de vereiste functie-aanroep: `CAN.begin(CanBitRate::BR_250k)`.

Data versturen: Een `CanMsg` berichtobject wordt aangemaakt met de `CAN_ID`, *grootte* en *data*, en wordt over de bus verzonden met de `CAN.write()` functie.

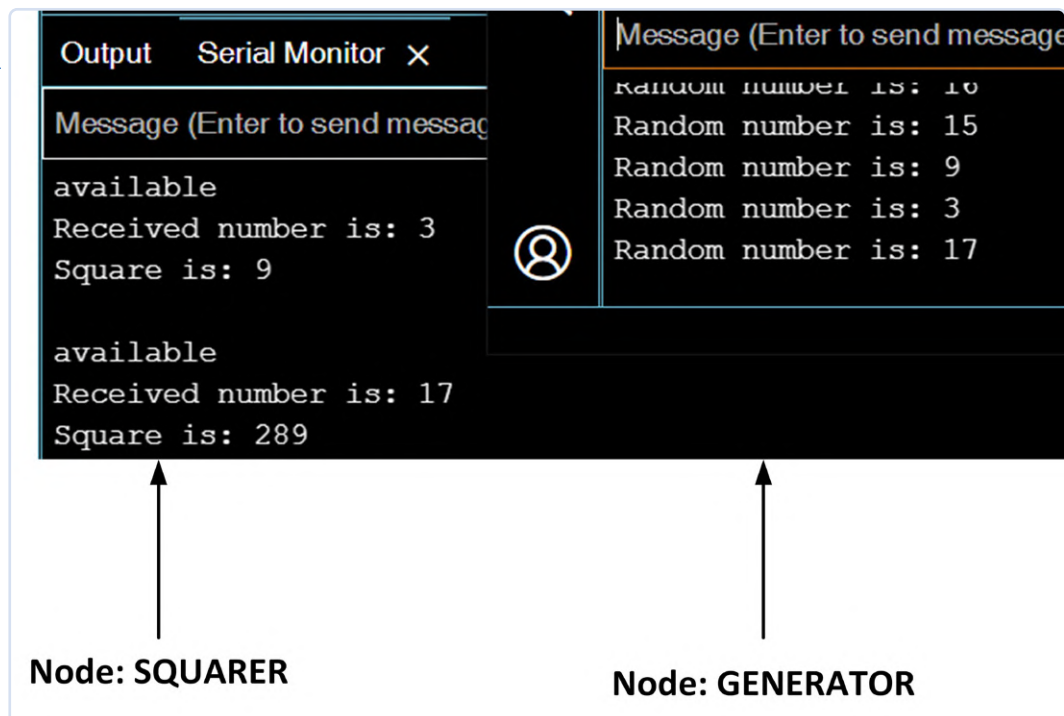
Data ontvangen: `CAN.available()` wordt gebruikt om te controleren of er data zijn, en als er data beschikbaar zijn, worden deze gelezen met de functie `CAN.read()`.

Listing 1 toont de code van het programma GENERATOR. Aan het begin van het programma worden de vereiste header-bestanden toegevoegd. Daarna wordt de `msg_data` array geïnitieerd met acht elementen. Deze array slaat de data op die over de CAN-bus wordt verzonden. `CAN_ID` is ingesteld op `0x20`. In de `setup()` functie wordt de CAN-bus baudrate ingesteld op 250 kbit/s en wordt de CAN-bus communicatie daadwerkelijk gestart. In de hoofdloop van het programma wordt eerst een willekeurig getal

tussen 1 en 20 gegenereerd en dan over de CAN-bus verstuurd. Merk op dat alleen de eerste byte van de 8-byte data array `msg_data` wordt geïnitieerd. Dit proces wordt herhaald na een vertraging van drie seconden, wanneer opnieuw een willekeurig getal wordt gegenereerd en naar het SQUARER-knooppunt wordt gestuurd.

Listing 2 toont de code voor het programma SQUARER. De start en `setup()` functie van dit programma zijn vergelijkbaar met de secties in listing 1. Binnen de hoofdloop van het programma controleert het programma of er berichten op de CAN-bus zijn en leest deze berichten vervolgens. In dit programma is een bericht een geheel getal tussen 1 en 20. Het ontvangen getal wordt opgeslagen in de variabele `Num` en het kwadraat ervan wordt weergegeven in de seriële monitor.

Beide hier getoonde programma's zijn opgenomen in het software-archief dat is uitgebracht ter ondersteuning van *Mastering the Arduino R4*. Het archief kan gratis worden gedownload van de boeken-sectie van de Elektor Store-website [1]. Ga op de webpagina naar Downloads en zoek het bestand `Software_Mastering the Arduino UNO R4` (161,84 MB Zip-bestand), download het en sla het in je systeem op. Pak het archiefbestand uit en zoek de voorbeeld-programma's voor hoofdstuk 18 van het boek.



Figuur 4. Voorbeeld van de uitvoer zoals die in de seriële monitor verschijnt.

Test van het project

Bouw het project op zoals aangegeven in het schema en zet beide Arduino UNO R4's aan. Start de seriële monitor op het SQUARER-knooppunt; je zou de ontvangen getallen en hun kwadraten om de drie seconden moeten zien. Een voorbeeld van de output wordt getoond in **figuur 4**. Zie je iets soortgelijks? Gefeliciteerd! Je zit in de juiste bus op weg naar CAN Station, en ook nog in goed gezelschap! ◀

vertaling: Willem den Hollander — 230622-03

Vragen of opmerkingen?

Hebt u vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar de auteur via d.ibrahim@btinternet.com of naar de redactie van Elektor via redactie@elektor.com.

Over de auteur

Dogan Ibrahim heeft een BSc (Hons) in elektrotechniek, een MSc in automatische regeltechniek en een PhD in digitale signaalverwerking en microprocessoren. Dogan heeft in veel organisaties gewerkt en is Fellow van de Institution of Engineering and Technology (IET) in de UK en erkend elektrotechnisch ingenieur. Dogan is auteur van meer dan 100 technische boeken en meer dan 200 technische artikelen over elektronica, microprocessoren, microcontrollers en aanverwante gebieden. Dogan is een gecertificeerde Arduino-professional en heeft vele jaren ervaring met bijna alle soorten microprocessoren en microcontrollers.



Gerelateerde producten

- **Mastering the Arduino Uno R4 Bundle Boek en Arduino Uno R4 Minima**
www.elektor.nl/20649
- **The CAN Bus Companion (+ Gratis CAN-bus module)**
Boek en MCP2515-module: www.elektor.nl/20405
E-book: www.elektor.nl/20406



WEBLINK

[1] Software-archief voor Mastering de Arduino Uno R4: <https://elektor.com/mastering-the-arduino-uno-r4>

De markt voor vermogenselektronica blijft groeien

In de loop der jaren is er zeker het een en ander veranderd in de vermogenselektronica-industrie, aangezien de vraag naar groene energie en de zoektocht naar een hoger rendement niet langer kunnen worden genegeerd. In 2022 zal de totale markt voor vermogenselektronica \$ 20,9 miljard bedragen, zowel voor discrete componenten als modules. En geloof het of niet: de groei zal aanhouden tot 2028, wanneer de markt naar verwachting maar liefst \$ 33,3 miljard zal bedragen.

4,4%
CAGR

van het marktsegment voor discrete componenten [1]

8,1%
CAGR

tussen 2022 en 2028 [1]

14,4%
CAGR

van het marktsegment voor modules [1]



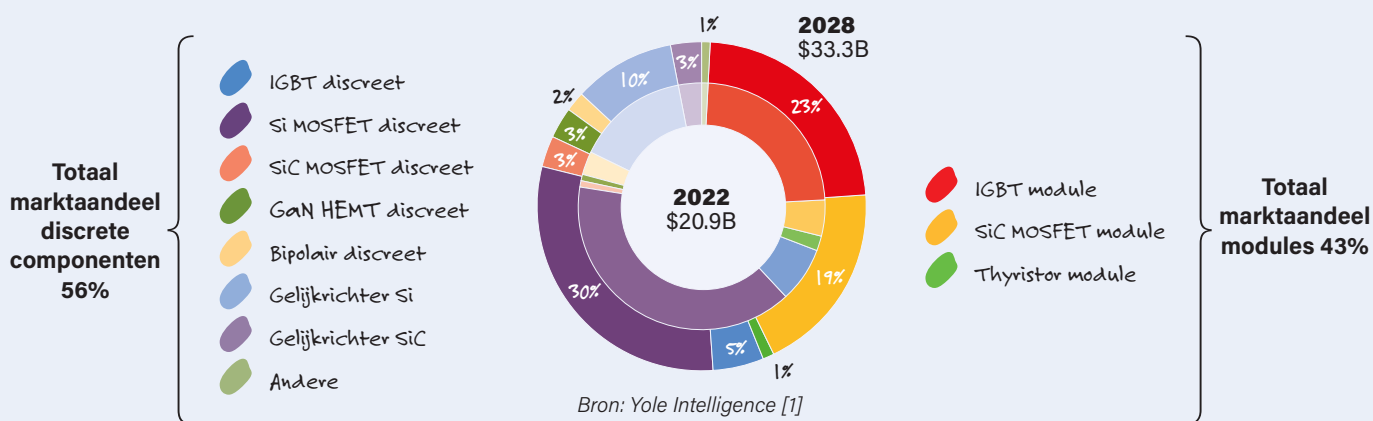
Wil je meer weten over SiC en GaN?
Bekijk deze Elektor-video.
<https://youtube.com/live/ks3Gf0lnZFk>



Bekijk de video "Adapting to Wide Bandgap Devices"

Volgens Ana Villamor, Team Lead Analyst, Power Electronics bij Yole Intelligence [1], hebben we het, als we over elektrische apparaten spreken, wat de materialen betreft over drie grote spelers: silicium, siliciumcarbide (SiC) en galliumnitride (GaN). Silicium voert nog steeds het veld aan in deze markt, maar SiC wint aan snelheid, vooral door de stijgende vraag naar modules voor elektrische voertuigen. GaN betreft vooral voedingen voor ons, de doorsnee-consument.

2022-2028 Markt voor voedingselektronica - discreet en modulair - opgesplitst naar componenttype



Vraag naar elektriciteit: er zal actie worden ondernomen

Ondanks de economische risico's zou de elektrificatie in het volgende decennium de winst op het gebied van energie-efficiëntie kunnen overtreffen. Eén huishouden dat een elektrische auto koopt, kan de vraag naar elektriciteit meer doen toenemen dan veel gezinnen die een efficiëntere koelkast kopen. De impact van elektrificatie kan worden versterkt

door de groeiende belangstelling voor waterstof, dat mogelijk fossiele brandstof kan vervangen in zware vrachtwagens en voor verwarming. Het waterstofplan van de EU, dat streeft naar 10 miljoen ton in 2030, heeft meer dan 10% van de huidige elektriciteit nodig, gelijk aan de groei van 2000 tot 2010, ondanks de gelijkblijvende vraag naar elektriciteit de laatste tijd [6].

Vooruitzichten energieverbruik: gaan we de goede kant op?

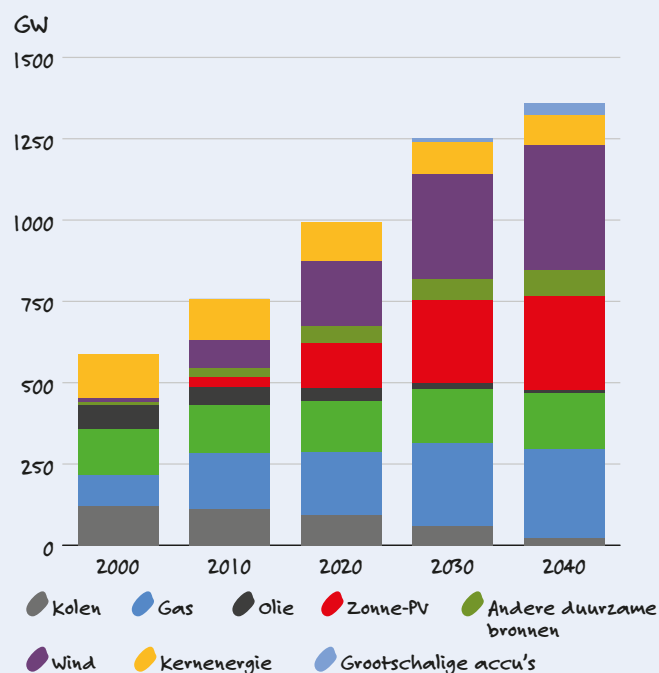
Het Internationaal Energieagentschap (IEA) [2] kondigde aan dat de wereldwijde groei van het energieverbruik voor 2024 een stijging van maximaal 3,3% zal vertonen naarmate de economische situatie verbetert, vergeleken met 2023 en eerder. Uit de gegevens van het IEA blijkt dat de Europese Unie verantwoordelijk is voor 40% van de totale afname van de uitstoot door energieopwekking.

Een scenario voor de toekomst

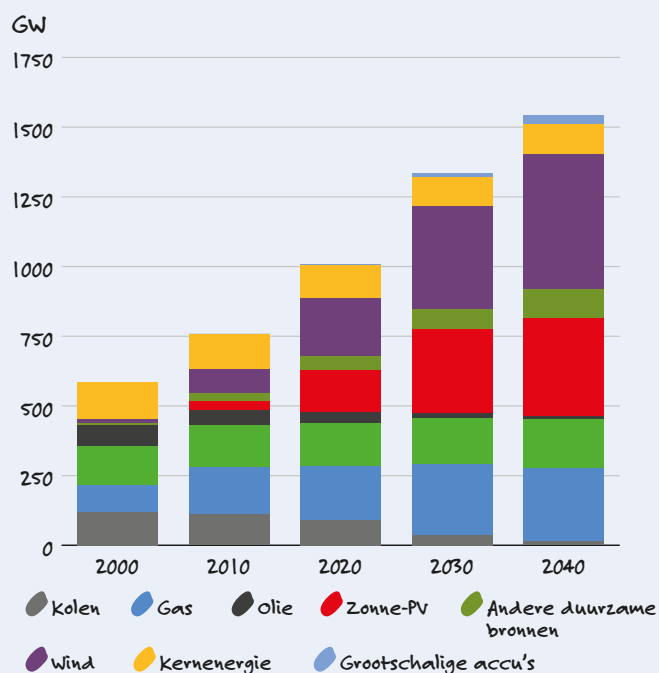
Het "Stated Policies Scenario" (STEPS) beschouwt acties die al bezig zijn of gepland zijn om energie- en klimaatdoelen te bereiken die regeringen hebben aangekondigd. [3] Aan de

andere kant is het "Sustainable Development Scenario" een plan voor hoe we de wereld kunnen verbeteren door de manier te veranderen waarop we energie gebruiken. Dit betekent dat we ervoor moeten zorgen dat iedereen zich tegen 2030 energie kan veroorloven en daar ook over kan beschikken en dat we de vervuiling van het milieu moeten verminderen. Als het gaat om gasen die het klimaat beïnvloeden, streven de geavanceerde economieën ernaar om in 2050 geen netto-uitstoot meer te hebben, China in 2060 en alle andere landen uiterlijk in 2070. In dit scenario is het doel om de wereldwijde temperatuurstijging te beperken tot maximaal 1,7 °C in 2050. De kans op succes is groot als we na 2070 stoppen met het uitstoten van CO₂ in de lucht. [3]

Data "Stated Policies Scenario"



Data "Sustainable Development Scenario"



Bron: IEA. Licentie: CC BY 4.0 [4] [5]

230626-03

WEBLINKS

- [1] Yole Intelligence, "Status of the Power Electronics Industry 2023," August 2023: <https://yolegroup.com/product/report/status-of-the-power-electronics-industry-2023>
- [2] Forrest Crellin, "Global power demand growth to rebound in 2024 after slowdown, IEA says," 2023: <https://reuters.com/business/energy/global-power-demand-growth-rebound-2024-after-slowdown-iea-says-2023-07-19>
- [3] H.W. Schiffer, "The exploratory and normative scenarios of the IEA," 2022: <https://en-former.com/en/exploratory-normative-scenarios-iea>
- [4] IEA, "Installed capacity in the European Union, 2000-2010, and projections up to 2040 in the Stated Policies Scenario," 2020: <https://iea.org/data-and-statistics/charts/installed-capacity-in-the-european-union-2000-2010-and-projections-up-to-2040-in-the-stated-policies-scenario>
- [5] IEA, "Installed capacity in the European Union, 2000-2010, and projections up to 2040 in the Sustainable Development Scenario," 2020: <https://iea.org/data-and-statistics/charts/installed-capacity-in-the-european-union-2000-2010-and-projections-up-to-2040-in-the-sustainable-development-scenario>
- [6] IEA, "Power Systems in Transition," 2020: <https://iea.org/reports/power-systems-in-transition>

Grote matrixprinter



Van bovenaf kun je duidelijk de woorden lezen die zijn ingevoerd om te printen

Ryder Damen

Je denkt misschien dat je weet hoe een matrixprinter eruitziet. Nou, lees verder en laat je verbijsteren!

Toen Ryder Damen op een dag door zijn woonplaats liep en mensen met een spuitmachine lijnen op de weg zag schilderen, kreeg hij een ingeving. "Ik vroeg me af hoe ze verschillende soorten tekst deden en van daaruit kwam ik op het idee dat ik met een stel spuitmonden zo'n beetje alles kon spuiten wat ik maar wilde," legt hij uit.



Een blik op het binnenwerk, inclusief een Raspberry Pi 4 en relaisboard

Wat als hij bijvoorbeeld water zou gebruiken om blijvende schade te voorkomen, en wat als hij zijn truck zou gebruiken om dat water over de grond te verspreiden en tekst te vormen terwijl hij rondrijdt, waardoor hij in feite een gigantische matrixprinter op wielen creëert?

Een vergankelijke afdruk

Gewapend met onder andere een aantal elektromagnetische kleppen, hout om de kleppen aan zijn truck te bevestigen, een flinke hoeveelheid slang, luidsprekercabel, slangsplitters en een waterpomp ging Ryder aan de slag.

"De 'printer' werkt op 12 V rechtstreeks van de sigarettenaansteker in de auto," legt hij uit. "Er is een Raspberry Pi 4 waarop een webserver draait die ingevoerde tekst, een invoersnelheid en lettertype accepteert en op basis daarvan de tekst in een afbeelding verandert en daar van links naar rechts herhaaldelijk overheen gaat om een soort plattgrond te maken. Op basis van die plattgrond bepaalt het systeem dan welke elektromagnetische klep (1-12) op een bepaald moment geopend of gesloten moet worden."

De GPIO-pinnen van de Raspberry Pi worden gebruikt om de kleppen te openen en te sluiten via een relaisboard om de hogere spanning te regelen. Het systeem stuurt ook een ruitensproeierpomp aan die aanslaat net voor het printen en net erna om de leidingen onder druk te zetten. Het water wordt dan uit een grote emmer in de leidingen gepompt en via de elektromagnetische kleppen op de weg.

Ryder schreef zelf de benodigde Python-code (magpi.cc/giantdotmatrix) en vond dat niet het meest uitdagende deel van de bouw. "Programmeren is waar ik goed in ben; dat deel gaat me gemakkelijk af. Het bedraden, debuggen van de bedrading en alles wat elektrisch is daarentegen, daar heb ik moeite mee en dat kost me tijd."

De magneetventielen bevinden zich ongeveer 45 cm boven de grond op de trekhaak, maar deze hoogte varieert afhankelijk van het voertuig. Wat betreft de hoeveelheid water die wordt gebruikt, is het volgens



Een eenvoudige emmer doet dienst als waterreservoir

Slangen transporteren het water via splitters naar de kleppen

Gemonteerd op een houten plank, laten de magneetkleppen het water ontsnappen om de stippen op het wegdek te maken

Waarschuwing!

Wet en autoveiligheid

Het is niet aan te raden om dit project na te maken. Het aanbrengen van een niet gekeurde accessoire zou je autoverzekering in gevaar kunnen brengen en het sproeien van water op de weg kan als een risico worden gezien. magpi.cc/drivesafely



omdat de machine zelf – met zijn draden, slangen en druipend water – er een beetje raar uitziet."

Ryder bevestigt dat we meer onconventionele Raspberry Pi-projecten van hem kunnen verwachten, maar "ik hou ze geheim totdat ik ze echt gebouwd heb".

Het om de beurt testen van de magneetkleppen; elke klep moet de juiste hoeveelheid water afgeven

Ryder "verrassend efficiënt. Ik kan meestal zo'n 10-15 minuten berichten schrijven voordat het op is."

Interessant is dat hij beweert dat je elke snelheid kunt rijden, "zolang het maar een constante snelheid is en je die invoert in de webserver voordat je gaat rijden. We hebben het getest tot ongeveer 20 km/u en ik hoop de snelheid in versie twee nog veel hoger te krijgen."

Ladingen inspiratie

Ryder beschrijft dit project als "middelmatig moeilijk", maar wil iedereen aanmoedigen om het eens te proberen, "misschien een project proberen met één pomp en één solenoïde (zoals een watersproeier)".

Op zoek naar nieuwe versies van de printer, heeft hij een aanzienlijk krachtigere pomp besteld in de hoop dat het de esthetiek van het printen zal verbeteren. "Ik ben zelfs aan het kijken of ik kleur kan gebruiken op een manier die ik nog moet uitzoeken – ik wil geen rommel hoeven opruimen of iets achterlaten."

Hoewel de feedback van de makercommunity onverdeeld positief was, waren sommige buurtbewoners een beetje verbijsterd. "Mijn burens hebben me al veel vreemdere projecten zien doen, dus ze zijn eraan gewend, maar ik kreeg wel wat vreemde blikken van mensen op straat,

Over de auteur

Ryder Damen is een creatieve technoloog die graag technologie gebruikt om vreemde ideeën tot leven te brengen. Met een achtergrond in biomedische techniek/wetenschap/luchtvaart beweegt hij zich op het snijvlak van technologie en kunst.

magpi.cc/ryderyt

In een oogopslag

- Hij stond al drie jaar op zijn to-dolijst en eindelijk heeft Ryder hem dit voorjaar gemaakt
- Het kostte ongeveer drie weekenden fulltime werk...
- ...inclusief bouwen, testen en filmen
- Het kostte hem ongeveer € 340 om te bouwen
- De duurste onderdelen waren de elektromagnetische kleppen en het frame op de trekhaak

Vergelijking van vermogensdichtheid en vermogensefficiëntie

Mark Patrick (Mouser Electronics)

De keuze voor een stroomvoorziening wordt vaak gemaakt op basis van een efficiëntiecijfer op het gegevensblad. Fabrikanten doen er alles aan om dit cijfer op te krikken, bijvoorbeeld door de meetomstandigheden steeds nauwkeuriger te definiëren. Ontwerpers komen met geavanceerde topologieën, zoals PSFB's (phase-shifted full bridges) en LLC-omvormers, en op componentniveau met het vervangen van diodes door MOSFET's om de verliezen te beperken. Zelfs voor silicium worden alternatieven gebruikt, omdat WBG-materialen (wide bandgap), zoals siliciumcarbide (SiC) en galliumnitride (GaN) betere prestaties beloven, zelfs bij hoge schakelsnelheden.

Voor eindgebruikers betekent het exacte efficiëntiecijfer op het gegevensblad van een stroomvoorziening relatief weinig. Zij geven meer om systeem- en/of procesefficiëntie, evenals om de naleving (of het overtreffen) van hun milieuverplichtingen en hun financiële doelen. Er is een groeiend besef dat het ondersteunen van het milieu (en het beheersen van de kosten) meer inhoudt dan het efficiëntiecijfer van de stroomvoorziening op het gegevensblad, gezien over de levensduur van een systeem. Maar omdat de aanschaf en het onderhoud van onroerend goed geld kost, zijn de eindgebruikers veel meer geïnte-

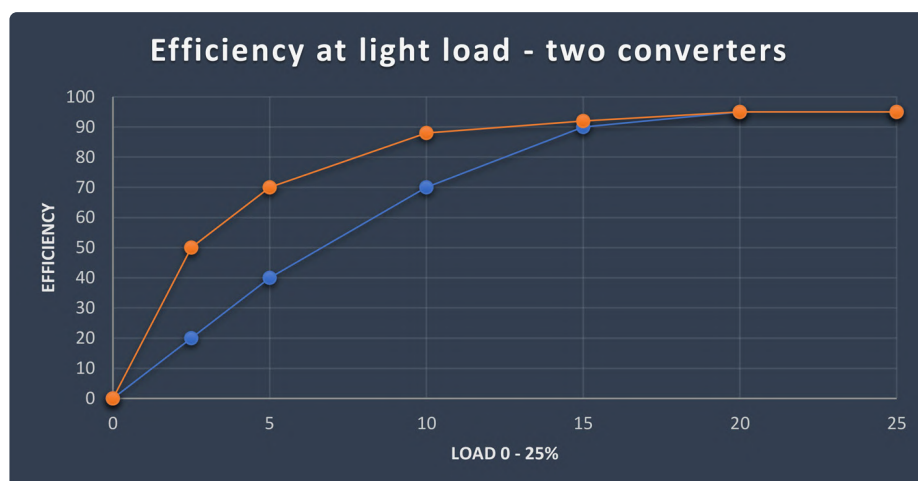
resseerd in het inrichten van hun ruimtes met zoveel mogelijk inkomstengenererende apparatuur. Voor hen is vermogensdichtheid dus vaak waardevoller dan efficiëntie. In dit artikel nemen we vermogensdichtheid en -efficiëntie onder de loep met betrekking tot de kosten van een hogere efficiëntie en hoogproductieve stroomoplossingen, en hoe we deze uiteindelijk weer op een verantwoorde manier kunnen verwijderen. Dit staat in schril contrast met een aanpak die gericht is op het vergroten van de vermogensdichtheid en de manier waarop de systeemefficiëntie wordt verbeterd. In dit artikel gaan we ook in op de

vraag of de nadruk moet liggen op warmtebeheer in plaats van op de algehele efficiëntie van vermogensconversie.

Het concept 'efficiëntie'

Efficiëntie is een eenvoudig te begrijpen concept: hoe dichterbij de 100%, hoe beter, maar is dat wel zo? Alles draait om hoe we efficiëntie definiëren. In een kantoor of datacenter wordt geen zwaar fysiek werk verricht. Er worden geen grote machines verplaatst, dus kunnen we deze plaatsen als 0% efficiënt beschouwen, omdat al het gebruikte vermogen uiteindelijk wordt omgezet in warmte, bijvoorbeeld in computers, servers, opslag en vermogensconversie. Als je echter de omzettefficiëntie bekijkt – dat wil zeggen de waarde van elektriciteit in vergelijking met de inkomsten in dollars – dan kan de efficiëntie oplopen tot wel 1000%. Het doel voor bedrijfsprestaties en -succes moet dus zijn om de elektriciteitskosten zo laag mogelijk te houden door de hoeveelheid verbruikte elektriciteit per eenheid output te verminderen.

Elke datacenter-manager staat voor de uitdaging om de verwerkings- en opslagcapaciteit te verhogen, evenals om meer inkomsten en winst te genereren. Hiervoor moeten ze de stroomkosten binnen de perken houden en ervoor zorgen dat evt. investeringen snel worden terugverdiend. Als er servers worden toegevoegd, stijgen de elektriciteitskosten (evenals de mogelijkheid om inkomsten te genereren) en deze verhouding tussen inkomsten en uitgaven wordt deels bepaald door de apparatuurkeuze.



Figuur 1. Verschillende stroomvoorzieningen vertonen zeer verschillende efficiënties bij een lage belasting.

Het produceren van meer verkoopbare output is de enige geldige reden voor een fabriek om nog een krachtige motor aan te schaffen. Dus de motoraandrijving en de bijbehorende stroomvoorziening zijn eenvoudigweg overheadkosten die als zodanig geen commerciële waarde toevoegen. Daarom worden alle bedrijfskosten (inclusief elektriciteit) met betrekking tot het laten functioneren van de motor gezien als een aderlating. Efficiëntie is belangrijk, maar alleen in de context van uitvoering van het noodzakelijke werk met een zo laag mogelijk elektriciteitsverbruik.

Verliezen zijn overal belangrijk

Elektronicadesign zit vol met formules (bijvoorbeeld, efficiëntie is gelijk aan het uitgangsvermogen gedeeld door het ingangsvermogen (als een percentage) en verliezen zijn gelijk aan ingangsvermogen minus uitgangsvermogen). Er is echter context nodig, zoals vermogensniveaus en de bedrijfs- en omgevingsomstandigheden, om deze formules zinvol te maken. Zelfs met een gedefinieerde formule kunnen de fabrikanten van elektrische voedingen de beste condities selecteren, waardoor de efficiëntie hoger lijkt dan onder reële omstandigheden.

Efficiëntie wordt vaak gespecificeerd in de buurt van vollast, maar slechts weinig systemen (vooral in redundante toepassingen) houden het lang vol op dit niveau. Verder geldt de vuistregel: hoe verder verwijderd van de meest gunstige locatie, hoe lager de efficiëntie. Over het algemeen neemt de efficiëntie aanzienlijk af richting nul-

belasting en de manier waarop dit gebeurt is voor elke stroomvoorziening anders. Dus de orde van grootte wat betreft de verbruikte energie van één of meerdere inactieve servers kan dus verschillen.

In **figuur 1** verbruikt de omvormer weergegeven door de blauwe lijn bij 5% belasting meer dan drie keer zoveel als de omvormer met de oranje lijn. Verliezen bij lichte belasting moeten centraal staan bij de selectie omdat ze een aanzienlijk verschil maken in het totale energieverbruik.

Voor het erkennen van het belang van efficiëntie bij lage belasting zijn normen als het '80 PLUS' initiatief (**tabel 1**) ontwikkeld om minimale efficiëntie voor het

hele belastingsbereik te bepalen. 80 PLUS Titanium is de strengste specificatie en vereist minstens 94% efficiëntie bij 50% belasting en 90% bij 10% belasting (gebaseerd op een 115 V-systeem). Voor een 230 V-systeem verandert de vereiste bij 50% belasting in 96%, terwijl bij 10% belasting nog steeds 90% nodig is.

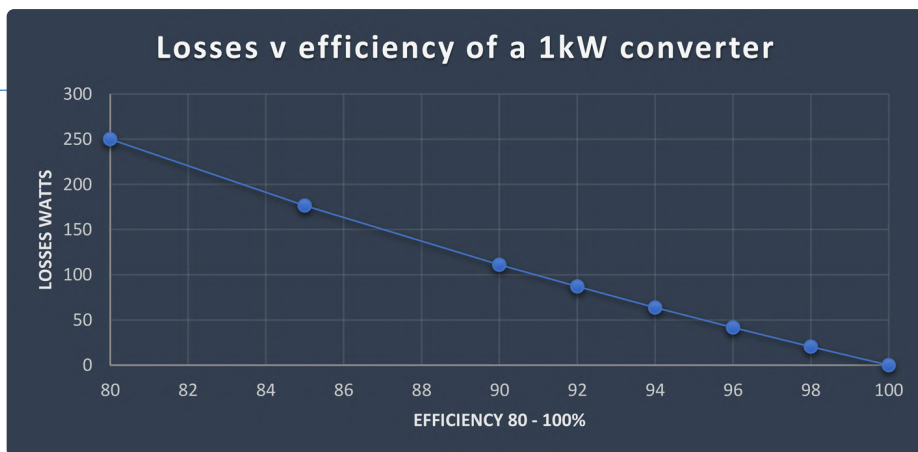
Voldoen aan de eisen van 80 PLUS is een uitdaging, vooral op de hogere niveaus die na de ontwikkeling van het certificerings-schema in 2004 werden geïntroduceerd. De basisvereiste is een efficiëntie van 80% bij een belasting van 50%, terwijl het bereiken van het titaniumniveau (94%) betekent dat de verliezen met driekwart moeten worden vermindert.

Dit is een efficiëntieverbetering van 14%, maar een omvormer van 1 kW zou de verliezen moeten terugbrengen van 250 W naar 64 W. Het is duidelijk dat het aanpassen van een bestaande topologie of ontwerp dit niet zal bereiken en de industrie heeft hierop gereageerd met een innovatieve aanpak. De diodes zijn bijvoorbeeld vervangen door synchroon aangestuurde MOSFET's. Bovendien zijn er PSFB- en LLC-resonante topologieën geïntroduceerd om schakelverliezen te beperken en nieuwe WBG-materialen zorgen voor lagere verliezen bij het verhogen van de schakelfrequentie.

Omdat veel omvormers omzetting in twee fasen vereisen (bijvoorbeeld PFC (power-factor-correction) en DC-DC), vraagt elke

Tabel 1: Overzicht van 80 PLUS vereisten voor 115V-systemen. (Bron: Mouser)

80 PLUS certificatie	115 V intern niet-redundant				115 V industrieel			
% van nominale belasting	10%	20%	50%	100%	10%	20%	50%	100%
80 PLUS	---	80%	80%	80%/ PFC 0.9	---			
80 PLUS Brons	---	82%	85%/ PFC 0.9	82%	---			
80 PLUS Zilver	---	85%	88%/ PFC 0.9	85%	80%	85%/ PFC 0.9	88%	85%
80 PLUS Goud	---	87%	90%/ PFC 0.9	87%	82%	87%/ PFC 0.9	90%	87%
80 PLUS Platina	---	90%	92%/ PFC 0.95	89%	85%	90%/ PFC 0.95	92%	90%
80 PLUS Titanium	90%	92%/ PFC 0.95	94%	90%	---			



Figuur 2. Verliezen versus efficiëntie in een spanningsomvormer van 1 kW.

sectie om een nog hogere efficiëntie. De bruggelijkrichter van de invoerspanning is veranderd van vier diodes in een netwerk van MOSFET's die de efficiëntie van de PFC-fase verbeteren.

Omdat het hier nieuwe technologieën betreft, hangt er een flink prijskaartje aan en de betrouwbaarheid kan een risico vormen. Dat laatste geldt voor alles dat zich (nog) niet jarenlang in de praktijk heeft bewezen. Niettemin blijft er een onophoudelijke vraag naar steeds hogere efficiëntiecijfers, richting 99% en hoger.

1%: een beetje of veel?

Naarmate de efficiëntie hoger wordt, wordt elke verdere verhoging navenant moeilijker. Om de stap van 97% naar 98% te maken, moeten de verliezen met een derde worden teruggebracht. Nog moeilijker is de stap van 98% naar 99%. Deze betekent dat de verliezen met nog eens de helft moeten worden gereduceerd.

Deze reductie van 50% zou vrijwel zeker een totaal nieuw ontwerp vereisen, gebaseerd op complexere technieken en dure componenten, en met een aanzienlijke hoeveelheid ontwerptijd en risico. Een voeding van 1 kW verbruikt 20,4 W bij een efficiëntie van 98%. Door de efficiëntie te verhogen naar 99% wordt het verlies gereduceerd tot 10,1 W (**figuur 2**). De implicaties van een besparing van slechts 10,3 W zijn zeer aanzienlijk in de loop van de tijd, en dan hebben we het nog niet over de eventuele BOM-kosten.

Je zou kunnen zeggen dat alle energiebesparingen de moeite waard zijn, maar dit is misschien niet helemaal waar als je naar het grotere plaatje kijkt. In de VS betaalt de industrie ongeveer \$0,165 per kilowattuur [1]. Over een levensduur van vijf jaar voor een stroomvoorziening van 1 kW met 100% uptime, bespaart een reductie van 10,1 W ongeveer \$ 73 terwijl het stroomverbruik

meer dan \$ 7300 kost.

Naast de verwijderingskosten voor verouderde apparatuur is er tevens sprake van aanzienlijke beheerkosten voor het verwerven, aanschaffen en kwalificeren van een nieuwe stroomvoorziening. Er moet ook een prijs worden betaald voor de risico's die met de verandering gepaard gaan. Het is zeer twijfelachtig of je met een analyse kunt aantonen dat een besparing van \$ 73 al deze kosten kan dekken, behalve (mogelijk) in installaties waar vele duizenden van dergelijke stroomvoorzieningen werden gebruikt. 'Efficiëntie omwille van de efficiëntie' is zelden een solide bedrijfsstrategie.

Moeten we ons zorgen maken over warmte?

De mate waarin een bedrijf rekening moet houden met warmte van een stroomvoorziening is afhankelijk van de voedingsbron. Betreft het fossiele brandstof (bijvoorbeeld kolen, gas) voor eindapparatuur en HVAC-systemen, dan heeft dit een impact op de opwarming en verontreiniging van de aarde. Volgens onderzoek stoten zelfs zogenaamde 'schone' kerncentrales warmte uit omdat hun thermische efficiëntie over het algemeen ongeveer 33% [2] bedraagt. Het verbeteren van de efficiëntie is duidelijk een goede zaak, maar ook mensen in warme streken van de wereld genereren warmte. Denk hierbij aan boilers, douches, baden, wasmachines, drogers en nog veel meer. Het lijkt contra-intuïtief dat ontwerpers ernaar streven om enkele tientallen watt te besparen terwijl iemand in het gebouw ernaast urenlang een wasdroger van meerdere kilowatt laat draaien. Om deze anomalie te adresseren, kunnen warmtekrachtkoppelingssystemen of gecombineerde warmte- en krachtcentrales industriële afvalwarmte opvangen en kanaliseren voor positief gebruik binnen lokale gemeenschappen.

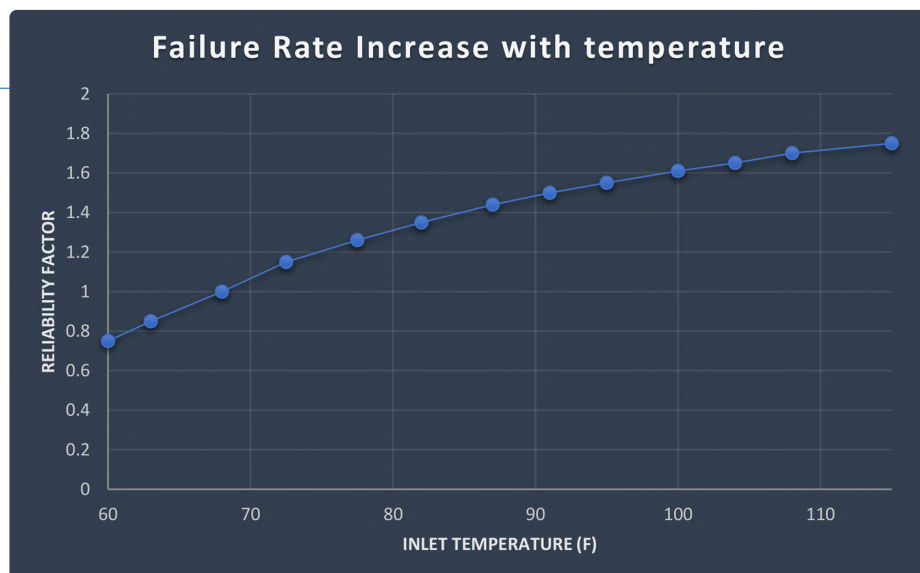
Een vroeg voorbeeld hiervan was de eerste Pearl Street Station energiecentrale van Thomas Edison in 1882. Een soortgelijk principe wordt gebruikt in het door IBM gebouwde datacenter [3] van de Syracuse University in New York. Hoewel dit proces nog geen gemeengoed is, zouden deze principes uitermate geschikt zijn voor industriële toepassingen. Aangezien exploitanten hun datacenters steeds vaker naar koudere klimaten verplaatsen, waar de omgevingslucht kan worden gebruikt voor koeling, kan de warmte (indien op de juiste manier gekanaliseerd) zeer nuttig zijn, met name bij goedkope elektriciteit uit waterkracht of geothermische bronnen (zoals in Noorwegen of IJsland).

Hitte beïnvloedt de betrouwbaarheid

Het is de moeite waard om stroomverliezen te beperken, omdat dit de binnentemperatuur verlaagt en de verwachte levensduur en betrouwbaarheid verhoogt. Dit is echter alleen relevant als de behuizing en de koeling onveranderd blijven. Verschillende formules definiëren dat de levensduur van elektronica halveert bij elke 10 °C stijging van de omgevingstemperatuur. Bovendien zullen veel onderzoeksresultaten u vertellen dat het uitvalpercentage van halfgeleiders met ongeveer 25% toeneemt en dat van condensatoren met ongeveer 50% bij dezelfde temperatuurstijging.

Moderne technologie is over het algemeen zeer betrouwbaar en duurzaam. Zelfs met deze cijfers blijft de betrouwbaarheid hoog, maar er is een thermisch effect dat moet worden erkend en begrepen. De industrie zal doorgaans proberen om een inlaattemperatuur in datacenters van rond de 21 °C te handhaven, maar onderzoek door Intel en anderen heeft aangetoond dat een verhoging geen significante invloed heeft op de betrouwbaarheid van het systeem. Een rapport van APC [4], waarin de American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) wordt geciteerd, voorspelt slechts 1,5 keer meer uitval van apparatuur bij een temperatuurstijging van de inlaatlucht van 20...32 °C (68...90 °F) (**figuur 3**).

Er wordt gezegd dat elke graad celsius temperatuurstijging in datacenters de bijbehorende koelingskosten met ongeveer 7% verlaagt, waardoor apparatuur (iets) warmer



Figuur 3. Hoe de inlaattemperatuur de betrouwbaarheid beïnvloedt.

kan worden, wat een voordeel kan zijn voor de operationele uitgaven.

De nieuwere WBG-materialen kunnen hogere junctietemperaturen aan dan hun silicium tegenhangers. Deze materialen fungeren als een motor voor het aansturen van de apparatuur (vooral hoogfrequente voedingen) bij hoge temperaturen.

Alles draait om vermogensdichtheid

De efficiëntie kan vaak worden verbeterd door de schakelsnelheid te verlagen, maar dit impliceert grotere passieve componenten en grotere spanningomvormers. Hoewel dit de betrouwbaarheid verbetert, omdat er sprake is van een lagere temperatuur, gaat dit wel ten koste van de ruimte, wat weer uitdagingen op systeemniveau met zich meebrengt.

Een hogere operationele temperatuur biedt systeemingenieurs de mogelijkheid om een bepaalde kast van meer functionaliteiten te voorzien. Dit geldt zowel voor datacenters als voor de industrie, waar de standaard-behuizingen bijna altijd vol zitten met motoraandrijvingen en PLC's.

Nieuwe, hoogwaardige spanningsomvormers met kleinere vormfactoren kunnen de noodzaak voor een extra kast elimineren, waardoor bespaard kan worden op de kosten (en ruimte) door een bestaande kast

te gebruiken. Omdat vloeroppervlak duur is, is er een tastbare winst te behalen door op ruimte te besparen, vooral als die ruimte kan worden gebruikt voor inkomstengenererende apparatuur.

Samenvattend

De keuze van stroomvoorziening mag niet uitsluitend gebaseerd zijn op efficiëntie-cijfers. Ook factoren als systeem- en/of procesefficiëntie, milieuverplichtingen en financiële doelstellingen zijn belangrijkere overwegingen. Terwijl fabrikanten ernaar streven om de efficiëntie van de stroomvoorziening te verbeteren door middel van geavanceerde topologieën en materialen, geven eindgebruikers de voorkeur

aan vermogensdichtheid boven efficiëntie, omdat ze daarmee meer inkomstengenererende apparatuur in beperkte ruimte kunnen realiseren. Efficiëntie bij lage belasting is cruciaal en industriële normen, zoals de 80 PLUS initiatieven, adresseren dit aspect. Het bereiken van hogere efficiëntieniveaus wordt steeds uitdagender en kostbaarder, met afnemende opbrengsten. De focus op efficiëntie moet worden afgewogen tegen de totale kosten, betrouwbaarheid en impact op het milieu, waarbij rekening moet worden gehouden met factoren als aankoop, verwijdering en warmtebeheer. Vermogensdichtheid speelt een belangrijke rol, deze verhoogt de functionaliteit binnen een beperkte ruimte en verlaagt de kosten. Uiteindelijk is een holistische benadering die rekening houdt met verschillende factoren noodzakelijk voor een weloverwogen beslissing over stroomvoorziening. ◀

230708-03



Over de auteur

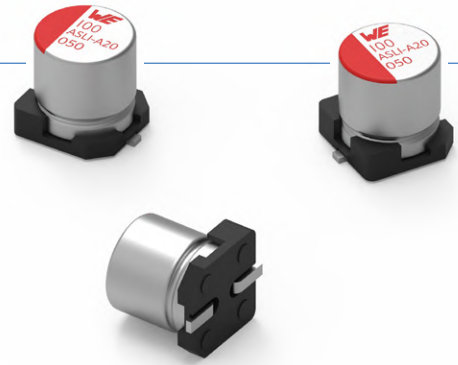
Als Director of Technical Content voor EMEA bij Mouser Electronics is Mark Patrick verantwoordelijk voor het creëren en verspreiden van technische content binnen de regio. Content die essentieel is voor de strategie van Mouser om het technische publiek te ondersteunen, te informeren en te inspireren. Voordat Mark leiding gaf aan Technical Content, maakte hij deel uit van Mouser's EMEA Supplier Marketing-team en speelde hij een cruciale rol bij het opbouwen en ontwikkelen van relaties met belangrijke productiepartners. Marks eerdere ervaring omvat praktische technische functies, technische ondersteuning, technische verkoop van halfgeleiders en verschillende marketingfuncties. Mark is een 'praktische' ingenieur in hart en nieren en heeft een eerstegraads Honours Degree in Electronics Engineering van Coventry University. Hij heeft een passie voor vintage synthesizers en Britse motorfietsen die hij zelf onderhoudt en repareert.

WEBLINKS

- [1] US BLS, "Average Energy Prices for the United States": <https://bit.ly/49KdojU>
- [2] Nuclear Power, "Thermal Efficiency of Nuclear Power Plants": <https://bit.ly/3MW1w4C>
- [3] Data Knowledge Center, "Data Centers That Recycle Waste Heat," 2010: <https://bit.ly/3SRixk0>
- [4] Torell, W., Brown, K., & Avelar, V., "The Unexpected Impact of Raising Data Center Temperatures," 2021: <https://bit.ly/46kn6Xi>

Aluminium elektrolytische condensatoren

storningspotentieel in audiotechnologie



Dr. René Kalbitz (Würth Elektronik eiSos)

Aluminium elektrolytische condensatoren zouden vermoedelijk de bron kunnen zijn van of in ieder geval bij kunnen dragen aan hoogfrequente vervorming van audiosignalen. Würth Elektronik heeft in detail onderzocht of dit het geval is.

In de audiotechnologie is er een voortdurende discussie over de geluidskwaliteit van versterkers met betrekking tot de hoorbaarheid van signaalvervalsing. Blijkbaar worden condensatoren ervan verdacht de bron te zijn van of op zijn minst bij te dragen aan hoogfrequente vervormingen die de geluidsbeleving beïnvloeden. Een studie van Würth Elektronik wil een bijdrage leveren aan de discussie over condensatoren en hun invloed op vervorming [1]. De discussie over de hoorbaarheid van vervorming gaat niet alleen over het meten van elektrische eigenschappen, maar ook

over de interpretatie van de waarneming door het menselijk oor. Het onderzoek vergelijkt de totale harmonische vervorming (THD) van commercieel verkrijgbare elektrolytische condensatoren, zoals die van Würth Elektronik eiSos, en van op maat gemaakte producten.

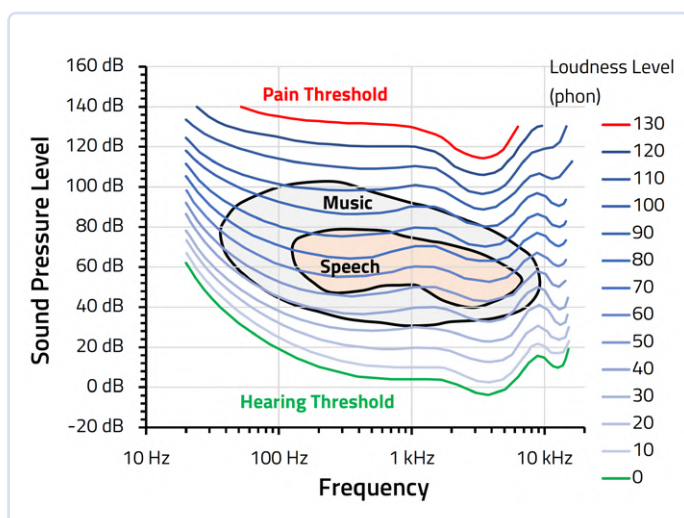
Om de parameters te bepalen die de THD beïnvloeden, werden condensatoren met verschillende scheidingspapieren en elektrolytsamenstellingen onderzocht. Deze voorbeeldcondensatoren werden vervaardigd in een productiefaciliteit onder omstandigheden die vergelijkbaar zijn met massaproductie en werden geanalyseerd in het elektronica-laboratorium van Würth Elektronik eiSos in Berlijn.

Om de lezer in staat te stellen de resultaten te interpreteren, wordt eerst een inleiding gegeven op het gebied van het menselijk gehoor en de psychoakoestiek, voordat het onderzoek naar harmonische vervorming in condensatoren wordt besproken.

Menselijk gehoor

Het menselijk oor kan geluidsgolven waarnemen in een frequentiebereik tussen ongeveer 20 Hz (ondergrens) en 16 kHz (bovengrens) [2]. Geluid in dit bereik (het hoorbare venster) wordt daarom hoorbaar geluid genoemd. Geluid onder de 20 Hz wordt infrageluid genoemd en geluid boven de 16 kHz ultrasoon geluid.

Een grafische voorstelling van de auditieve gewaarwording wordt verkregen door het geluidsdruk niveau uit te zetten tegen de op dat moment hoorbare frequentie (**figuur 1**). De curven in de figuur worden isofonen genoemd en stellen curven voor van gelijke luidheid, gemeten in de eenheid fon. Isofonen relateren de geluidsdruk, gemeten in dB, aan het volumenniveau. Een geluid met een volumenniveau van 50 fon wordt ervaren als even luid als een geluid van 1 kHz met een geluidsdruk niveau van 50 dB. Hetzelfde luidheidsniveau betekent dat elk geluid langs een curve als even luid wordt waargenomen, ongeacht de frequentie. Luidheid is daarom een perceptieve variabele (psychoakoestisch), in tegenstelling tot geluidsdruk, die een excitatievariabele is (zie [1] voor referenties). In figuur 1 toont de onderste curve de zogenaamde gehoordrempel. Deze drempel is van toepassing op metingen met sinusvormige tonen in een vrij geluidsveld van het binauraal gehoor. Het geluidsdruk niveau is gerelateerd aan de geluidsdruk 20 µP.



Figuur 1. Auditief sensorisch gebied (DIN 45630).

Volgens deze definitie is het geluidsdrukkniveau bij de gehoordrempel 4 dB bij 1 kHz. Het bereik voor spraak is veel kleiner dan het hoorbare bereik. Zelfs muziek bestrijkt slechts een deel van het hele gehoorbereik.

De gehoordrempel is sterk afhankelijk van de frequentie. De gehoor-gevoeligheid is het grootst in het bereik tussen 2 en 5 kHz. In dit bereik is de laagste geluidsdruk voldoende voor een hoorsensatie. Onder en boven dit bereik neemt de gehoorgevoeligheid snel af. De bovenste curve vertegenwoordigt de pijngrens. In dit geval is de geluidsdruk hoog genoeg om pijn te veroorzaken en leidt bij langdurige blootstelling tot permanente gehoorbeschadiging. De subjectieve maat van luidheid kan worden vervangen door de objectieve maat van gewogen geluidsdruk in **figuur 2**. Hier wordt de geluidsdruk gewogen als functie van de frequentie met een filterkarakteristiek die wordt weergegeven in zijn genormaliseerde vorm en die ongeveer omgekeerd is aan de isofonen (krommen van gelijke luidheid) in figuur 1. De genormaliseerde wegingsfilter-curve in figuur 2 is gebaseerd op de aanbeveling van de Internationale Telecommunicatie Unie (ITU-R BS.468-4). Voor de duidelijkheid bevat figuur 2 ook een curve die het niet-gewogen hoorbare venster aangeeft.

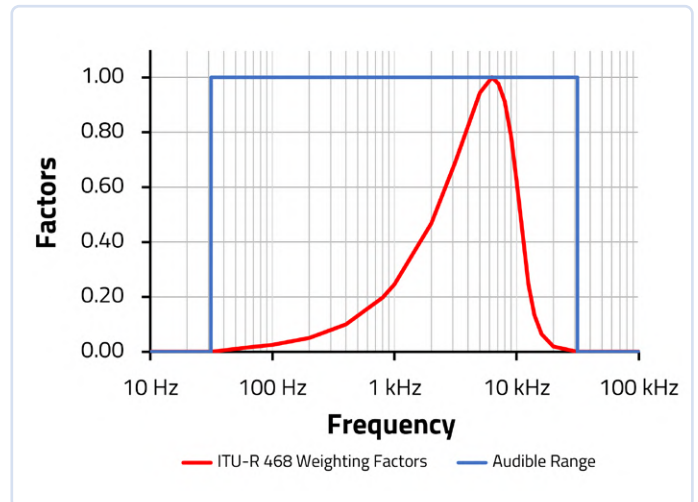
Het dynamisch bereik van het menselijk gehoor is groot, van 130 dB (pijngrens) tot -9 dB (gehoordrempel). Dit brede bereik kan echter niet gelijktijdig aan beide uiteinden van de schaal worden waargenomen. Het vermogen om een kleine vervorming over een achtergrond- of hoofdsignaal waar te nemen hangt sterk af van het frequentiebereik en de complexiteit van het hoofdsignaal. Studies tonen aan dat vervormingen van 2% tot 5% kunnen voorkomen in complexe spraak- en muzieksignalen zonder dat ze worden waargenomen door de luisteraar. Voor individuele harmonische frequenties is gevonden dat het menselijk oor onder laboratorium-omstandigheden vervorming kan onderscheiden veroorzaakt door individuele harmonischen (d.w.z. boventonen of harmonische frequenties) in een bereik van 0,3% tot 0,01% (bij 4 kHz, de frequentie met de hoogste gevoeligheid) ten opzichte van de grondfrequentie (referenties in [1]).

De laagste THD's voor de eerste 10 harmonischen uit de bovengenoemde menselijke gehoortest liggen in de orde van ongeveer 10% tot 7%, afhankelijk van de grondfrequentie. Onder bepaalde omstandigheden kan het oor dus THD's tot 7% waarnemen, wat overeenkomt met een verandering in geluidsdrukkniveau van 20 dB [1].

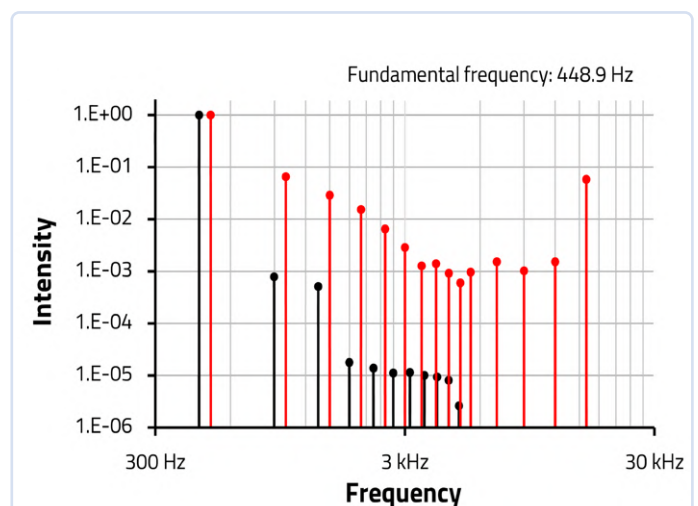
THD is een geschikte maat voor systemen met lage niet-lineaire storingen die initiële harmonischen onder of rond 1% genereren en nul benaderen bij hogere harmonischen. Voor grotere niet-lineaire verstoringen met niet-hogere harmonischen is THD echter mogelijk geen nauwkeurige maat voor de hoorbaarheid van verstoringen.

THD van een condensatormodel

Het gemeten frequentiespectrum van een condensator met een grondfrequentie van 448,9 Hz in **figuur 3** toont een sterke afname in amplitude voor hogere harmonischen, wat typisch is voor alle bestudeerde condensatoren en excitatiefrequenties. De amplitudes van de eerste twee harmonischen nemen af tot waarden ver onder 0,1% vergeleken met de grondtoon. De hogere harmo-



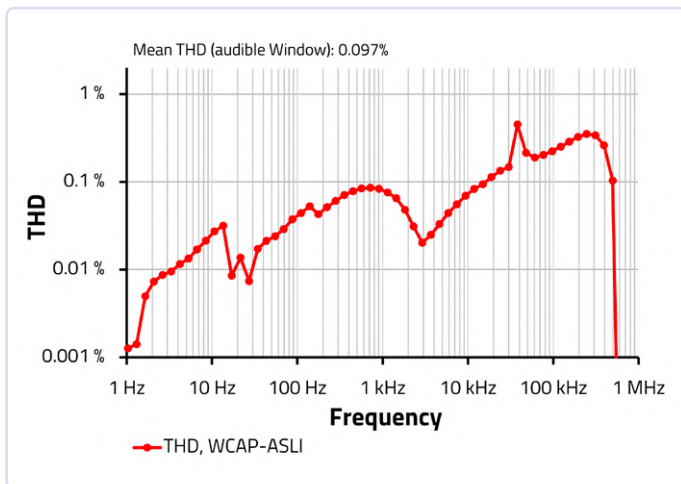
Figuur 2. Grafische weergave van de filterfactoren voor het niet-gewogen hoorbare bereik en weegfactoren zoals voorgesteld door ITU-R 468.



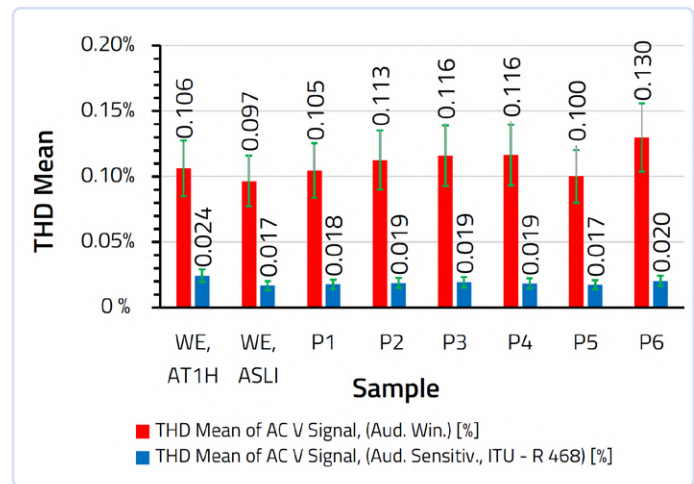
Figur 3. Gemeten frequentiespectrum van een spanningssignaal op een aluminium elektrolytische condensator van 470 µF (WCAP-ASLI, 865080253012) bij een grondfrequentie van 448,9 Hz. Ook wordt de drempelwaarde voor hoorbare vervorming getoond, die werd bepaald in een psychoakoestisch experiment voor een fundamentele frequentie van 500 Hz.

nischen bereiken waarden in de orde van 0,001% en lager. Alle harmonische amplitudes liggen ruim onder de gehoordrempel, die ook in figuur 3 te zien is, en resulteren in een THD van 0,078%. De gehoordrempelwaarden werden bepaald in een afzonderlijk uitgevoerd psychoakoestisch experiment bij een grondfrequentie van 500 Hz en resulteerden in een THD van 7,3%.

Als de THD's worden gemeten voor verschillende grondfrequenties in het frequentiebereik van 1 Hz tot 1 MHz, resulteert de grafiek in **figuur 4**. De THD's in deze meting liggen in het bereik van 0,001% tot 0,4%, wat ruim onder de THD-waarden van het gehoordrempel-experiment ligt. Binnen het hoorbare bereik in figuur 4 liggen de waarden voor een groot deel ver onder de 0,1%. Om een gemakkelijk te gebruiken maat voor de frequentievervalsing in het hele



Figuur 4. THD's van een aluminium elektrolytische condensator van 470 μF (WCAP-ASLI, 865080253012), gemeten bij verschillende grondfrequenties in een bereik van 1 Hz tot 1 MHz.



Figuur 5. Gemeten waarden voor THD_{Mean} (hoorbaar venster) en THD_{ITU} (akoestische gevoeligheid). De foutbalken tonen het gemiddelde waardebereik.

hoorbare bereik te verkrijgen, kunnen de gemiddelde THD_{Mean} en de gewogen gemiddelde THD_{ITU} worden bepaald op basis van de menselijke gehoorgevoeligheid van alle individuele THD-waarden [1].

Dit type berekening is nu toegepast op een serie commercieel verkrijgbare (865080253012, 860240275007) en op maat gemaakte condensatorprototypen (P1-P6) met een capaciteit van 470 μF , die in **figuur 5** worden getoond. De prototypen vertegenwoordigen een grote variatie in de samenstelling, dichtheid en dikte van het scheidingspapier en de geleidbaarheid van het elektrolyt (details worden gegeven in [1]). Zoals de foutbalkjes laten zien, zijn de verschillen tussen de metingen statistisch niet erg significant. De variaties in scheidingspapier en elektrolyt hadden dus geen significante invloed op de THD's.

Halfgeleider-effect significanter

Het onderzoek suggereert dat materiaalvariaties een verwaarloosbare invloed hebben op de vervorming en dat de vervorming onder de gehoordrempel ligt. Elektrolytische condensatoren voegen geen significante hogere harmonischen toe aan de grondfrequenties bij het uitzenden van signalen en kunnen daarom, bij benadering, worden beschouwd als lineaire componenten. Het is waarschijnlijk dat andere spanningsonafhankelijke condensatortypen en passieve apparaten over het algemeen even lage vervormingsamplitudes produceren in vergelijking met de gehoordrempel.

Bijgevolg heeft de keuze van niet-lineaire componenten zoals operationele versterkers en diodes een grotere invloed op de vervormingsgerelateerde audiokwaliteit van de versterker, dat wil zeggen de algemene vervormingskarakteristieken, dan de keuze van de elektrolytische condensator. ◀

230702-03



Over de auteur

Dr. René Kalbitz studeerde natuurkunde aan de Universiteit van Potsdam en aan de Universiteit van Southampton (VK). Na het behalen van zijn diploma deed hij onderzoek en promoveerde hij op het gebied van organische halfgeleiders en isolatoren aan de Universiteit van Potsdam. Hij deed verdere ervaring op het gebied van toegepast onderzoek op het Fraunhofer Instituut voor Toegepast Polymeeronderzoek. In 2018 trad hij in dienst bij Würth Elektronik als productmanager voor supercondensatoren en houdt hij toezicht op onderzoeks- en ontwikkelingsprojecten op het gebied van condensatoren.

WEBLINKS

- [1] Kalbitz, R., "Acoustic effect of harmonic distortions caused by aluminum electrolytic capacitors," AppNote ANP125: <https://we-online.com/ANP125>
- [2] Fellbaum, K., "Hörphysiologie und Psychoakustik. In: Sprachverarbeitung und Sprachübertragung," pp 99-126, Springer, Berlin, Heidelberg (2012):

USB testen en meten

met de Fnirsi FNB58

Jean-François Simon (Elektor)

Ontdek de veelzijdigheid van de Fnirsi FNB58 USB-tester. Meet spanning, stroom en snellaadprotocollen met gemak, en zonder USB-kabels door te knippen!

De Fnirsi FNB58 is, met een verkoopprijs rond € 50, een veelzijdige, draagbare USB-tester die een hele reeks spanning- stroom- en energiemetingen kan doen, en daarnaast voorzien is van extra diagnosefuncties die betrekking hebben op gangbare USB-snellaadprotocollen. We gaan er mee aan de slag!

Overzicht

Naast een aantal aan in- en uitgangen (USB C, USB A, en micro USB) heeft de FNB58 (**figuur 1**) een 2-inch LC-display waarop de meetwaarden verschijnen, en diverse knoppen om door de menu's te navigeren. Verder is er een micro-USB aansluiting om het apparaat met een PC te verbinden waarop Fnirsi's software draait, en een Bluetooth-interface die communiceert met een Android-app.

Wat kan de FNB58 allemaal?

De FNB58 kan gebruikt worden voor een veelheid aan metingen en tests aan USB-apparaten. Het apparaat kan voedingsspanningen

en -stromen meten maar ook het stroomverbruik bepalen van USB-apparatuur zoals telefoons en laptops. Daarnaast zijn er diverse functies beschikbaar gericht op gangbare snellaadprotocollen.

In het verleden moest, om het stroomverbruik van een USB-apparaat tijdens gebruik te testen, een kabel doorgeknipt worden om een spannings- en een stroommeter aan te kunnen sluiten. Daarna moesten de gemeten waarden overgenomen worden in een spreadsheet om bijvoorbeeld vermogensverbruik of accu-capaciteit te bepalen. Tegenwoordig is, met het groeiend gebruik van USB 3- en USB C-apparatuur, het doorknippen van een kabel geen maakbare oplossing meer. Dan komen hulpmiddelen zoals de FNB58 in beeld.

Features

De FNB58 heeft een 2,0-inch TFT LCD display met goede kijkhoek. Verbinding met een PC is mogelijk via een micro-USB aansluiting en er is ook een versie met Bluetooth die draadloos verbinding kan maken met de app.

Het apparaat kan spanning, stroom, lading, vermogen en tijd meten en registreren voor statistische doelen. Er kan zowel met lage snelheid (2 tot 100 metingen per seconde) als met hoge snelheid – voor stroom- en spanningsgolfvormen tot 4 MSps – gemeten worden, resulterend in veelzijdig bruikbare meetgegevens.

De metingen worden verzorgd door een interne 16-bit DAC, resulterend in een indrukwekkende maximale resolutie van $10\mu\text{V}/\mu\text{A}/\mu\text{W}$. Dat klinkt goed, maar zoals je weet is resolutie niet hetzelfde als nauwkeurigheid! Er zal vermoedelijk wat ruis zijn waardoor de



Figuur 1- De FNB58 USB-tester.



Figuur 2. Enkele van de in- en uitgangen en de PD-beveiligingsschakelaar.



Figuur 3. Knoppen en de PC-aansluiting.



Figuur 4. Een Apple 2,4 A-lader onder maximale belasting.

laatste cijfers van meetwaarden niet altijd even betrouwbaar zijn. Het instrument heeft diverse triggermogelijkheden voor snellaad-protocollen en is voorzien van een speciale USB-PD negotiation-chip. Een afzonderlijke PD-schakelaar voorziet in een veiligheidsfunctie, die Power Delivery (PD) en andere protocollen intern in de FNB58 in- of uitschakelt. Enkele van de ingangs- en uitgangsaansluitingen en de PD-schakelaar zijn te zien in **figuur 2**. Als deze schakelaar uit staat, kan een aangesloten apparaat direct met de voeding onderhandelen over PD en met de schakelaar op aan kan PD door de FNB58 geïnitieerd worden.

Het is wel opletten als de FNB58 gebruikt wordt om stroomverbruik te meten bij een belasting die alleen geschikt is voor 5 V, terwijl een PD-lader is aangesloten. In dat geval kan onbedoeld inschakelen van PD de FNB58 de aangesloten oplader naar een hogere spanning doen schakelen met mogelijk schade aan de belasting tot gevolg! Fnirsi beveelt daarom aan deze schakelaar standaard uit te laten en alleen in te schakelen als daadwerkelijk PD gebruikt moet worden. De FNB58 ondersteunt een uitgebreide lijst van snellaad-protocollen (Quick Charge), waaronder QC2.0, QC3.0, Huawei FCP, SCP, Samsung AFC, PD2.0, PD3.0, VOOC/WARP, SuperVOOC 1.0/Super VOOC 2.0 en MTK-PE, welke automatisch gedetecteerd worden om het gebruik te vereenvoudigen. Het instrument herkent verder E-marker USB en One-plus DASH kabels automatisch.

Meetbereiken

Een USB-tester als de FNB58 heeft minder uitgebreide meetbereiken dan multimeters:

- spanning: 4...28 V (tot 0 V als hij extern via USB gevoed wordt door een PC)
- stroom: 0...7 A
- vermogen: 0...120 W
- capaciteit: 0...9999,99 Ah
- energie: 0...9999,99 Wh
- kabelweerstand: 0...9999,9 Ω

Navigeren door de menu's

De interface heeft een driestanden-'joystick' (links – midden – rechts) en een aparte 'back'-knop voor het navigeren door de menu's (**figuur 3**). Fnirsi heeft deze menu's nogal vol gestopt, wat het gebruik in het begin wat onoverzichtelijk maakt. Handig om te weten: lang indrukken van de back-knop schakelt de achtergrondverlichting van het display uit, waar in het menu je je ook bevindt. Zoals bij veel vergelijkbare instrumenten heeft ook dit een 'scrollend menu' met vier hoofdpagina's die achtereenvolgens verschijnen als de link/rechts-joystick gebruikt wordt. De vier hoofdpagina's zijn:

- compact view
- detailed view
- waveforms page
- application page

Deze vier hoofdpagina's hebben nogal veel submenu's en dat kan verwarring opleveren. Daarom geven we hier een overzicht, samen met de mogelijke acties op bepaalde pagina's.

Compact view: zoals de naam suggereert alleen snelle functies voor spanning, stroom en vermogen. Druk op de joystick-toets om de metingen te starten of te pauzeren.

Detailed view: laat dezelfde gegevens zien, plus info over de D+/D– datalijnen en de snellaadmodi. Er is ook een sectie speciaal voor het loggen van energiedata, in watt-uur en ampère-uur. Druk op de joystick-knop om de opname-functies te gebruiken.

De Waveforms-pagina heeft drie onderliggende views. De eerste, VBUS, laat eventuele hoogfrequente rimpel op de voedingslijn zien. V/A geeft spanning- en stroomvormen weer in een scrollend beeld. Als laatste laat D+/D– de status van de datalijnen zien. In deze modi wordt de verticale schaal automatisch ingesteld en is niet door de gebruiker aan te passen. De horizontale schaal kan worden ingesteld van 2,5 tot 200 $\mu\text{s}/\text{div}$ in VBUS-modus, en van 0,1 tot 5 s/div in de andere modi.

De laatste hoofdpagina is Application, met vier submenu's: Fast Charge, Energy Statistics, Toolbox en Settings. De eerste maakt automatische detectie van beschikbare protocollen en diverse triggers mogelijk. Energy Statistics omvat berekening van accu-capaciteit en offline-registratie. Het Toolbox-menu zit vol minder vaak gebruikte mogelijkheden zoals Cable resistance measurement, PD listener, PD converter, USB-C electronic label reader, Dash cable reader, Dash simulator en Apple 2.4 A protocol simulator. Als laatste kunnen veel parameters van het instrument bekeken of gewijzigd worden in het Settings-submenu: General, Recording, Trigger, System en About.

Case Study 1: de prestaties van USB-laders

Niet alle laders zijn gelijk. Ik test hier een oudere Apple-lader die beweert 2,4 A bij 5 V te leveren – en inderdaad, dat doet hij ook (**figuur 4**). Maar een andere lader doet niet wat hij belooft; volgens het label levert deze 1 A maar dat blijkt nogal optimistisch. Bij een ingestelde belasting van 1 A zakt de spanning in tot ruim onder het algemeen geaccepteerde minimum van 4,75 V. Ik moest de FNB58



Figuur 5. Een goedkope 1 A lader... Oeps!



Figuur 6. Kalibratie van de weerstandsmeting.

via de micro-USB PC-aansluiting voeden om de foto te kunnen maken omdat anders de USB-meter uitschakelde, zoals te zien is in **figuur 5**.

Case Study 2: De weerstand van USB-kabels

Over het algemeen is een lage weerstand gunstig bij kabels. Het is niet zo simpel als het lijkt om de inwendige weerstand van een USB-kabel te meten met een multimeter. Zelfs de goedkoopste kabels van twijfelachtige kwaliteit hebben lage ohmse weerstanden van hooguit 1...2 Ω . Daarom is bij dit soort metingen de invloed van meetprobes en -kabels van de gebruikte meter niet meer verwaarloosbaar.

De FNB58 kan de weerstand van USB-kabels meten, maar op een niet zo voor de hand liggende manier. Je zou verwachten dat het een kwestie is van de uiteinden van de kabel in de tester inprikken en klaar, maar zo werkt het hier niet. De FNB58 meet namelijk het spanningsverlies over de kabel onder belasting, maar je zult je eigen belasting moeten aansluiten.

Eerst moet je de meter kalibreren door deze direct, zonder de te meten kabel, op te nemen tussen een voedingsbron (in dit geval een telefoonlader) en een belasting. Idealiter is de belasting constant. Fnirsi beveelt een belasting tussen 0,5 A en 1 A aan. Je kunt een

speciale DC-belasting (module) gebruiken, of een weerstand met de juiste waarde. Een andere mogelijkheid is een apparaat aansluiten dat als belasting fungeert, zoals een telefoon waarvan de accu geladen wordt. Deze meetopstelling is te zien in **figuur 6**.

Een korte druk op de middelste knop slaat de spanning op de ingang op. Sluit daarna de te meten kabel aan tussen de oplader en de meter zoals te zien in **figuur 7**.

Als alles weer aangesloten is start de meter opnieuw op en als je dan naar *Cable resistance measurement* navigeert, zal de meter de weerstand weergeven van de aangesloten kabel. In dit geval is dat 142 m Ω . Het mag duidelijk zijn dat de kabels van **figuur 8** en **figuur 9** goed zijn. De gloednieuwe USB-C kabel van **figuur 10** is daarentegen ronduit slecht!

Niet zo vreemd dat mijn telefoon zo langzaam laadde! 1 Ω betekent dat zelfs bij 1 A laadstroom, wat best laag is vandaag de dag, er al één volt verlies is in de kabel waardoor de telefoon maar 4 V ziet in plaats van 5 V, wat te laag is voor het laadcircuit. De telefoon zal dit detecteren en zal de laadstroom reduceren waardoor het opladen veel langer duurt.

Dit fenomeen kan problemen opleveren als we een kabel willen meten met een relatief hoge weerstand, vooral als een telefoon als belasting gebruikt wordt. Als de kabel van zodanig slechte kwaliteit



Figuur 7. Een kabel tussen de lader en de FNB58.



Figuur 8. Een goede USB-kabel.



Figuur 9. Een lekker lage weerstand.



Figuur 10. Deze kabel heeft een veel te hoge weerstand.

is dat de telefoon de laadstroom moet verlagen zoals hierboven, zal de laadspanning variëren waardoor de FNB58 geen zinvolle meting meer kan doen. Daarom adviseert Fnirsi om een constante stroombelasting te gebruiken bij deze metingen.

PC-software voor de FNB58

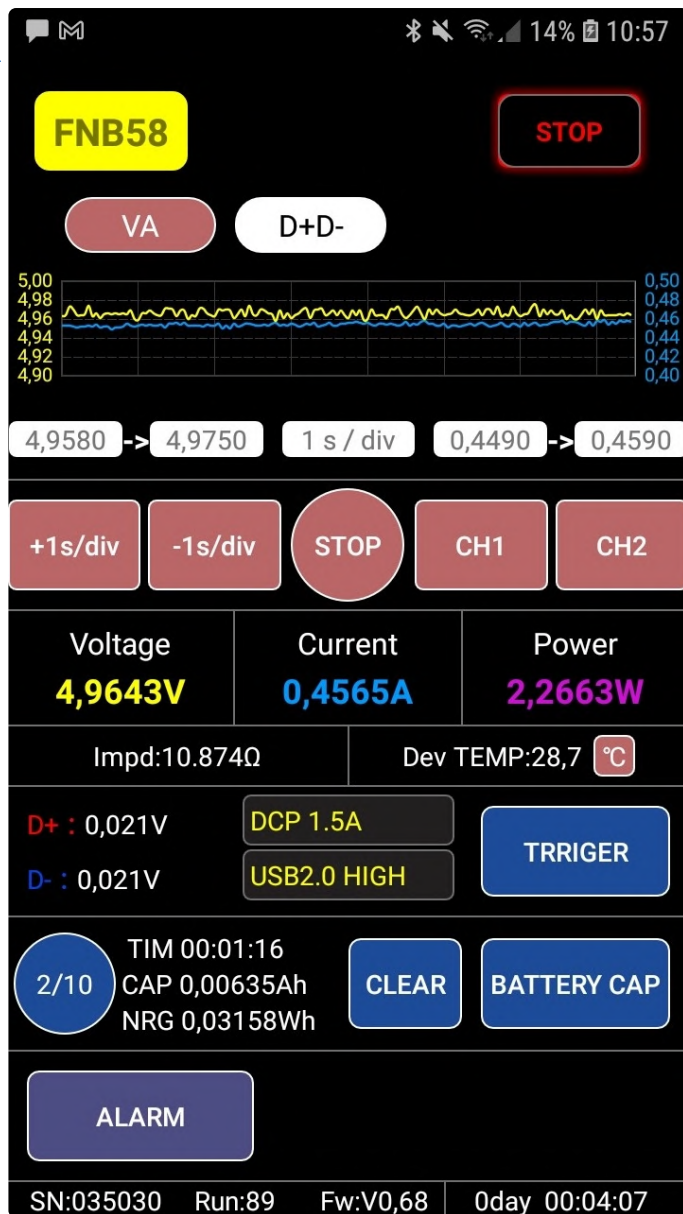
De fabrikant biedt software aan op zijn website [1]. Het hoofdscherm van de PC-app ziet er uit als in **figuur 11**. Real-time gemeten waarden, maar ook de spannings- en stroomkarakteristieken worden getoond. De interface heeft wat eigenaardigheden waaraan

je een beetje moet wennen. Ik heb ondervonden dat navigeren door de verschillende karakteristieken onnodig ingewikkeld is. Ik zie maar weinig reden om de PC-software te gebruiken behalve voor langdurige metingen en loggen (bijvoorbeeld om de karakteristieken van accu's te bepalen). Je kunt de PC-app gebruiken om een dergelijke meting in te stellen en te starten. Vervolgens kunnen de karakteristieken opgeslagen worden in een Fnirsi-eigen binair formaat met een .CFN-bestandsnaam.

Dat is wat teleurstellend want de mogelijkheid om de gegevens in bijvoorbeeld .CSV formaat op te slaan is noodzakelijk om ze



Figuur 11: De PC-software van Fnirsi voor de FNB58.



Figuur 12. De Android-app van Fnirsi voor de FNB58.

verder te kunnen bewerken of te analyseren. Gelukkig heeft GitHub gebruiker didim99 Python-scripts geschreven die de .CFN-bestanden kunnen omzetten naar het .CSV-formaat, deze zijn te vinden op [2]. Geweldig!

Er is nog een ander project het vermelden waard, van GitHub-gebruiker baryluk, te vinden op [3]. Deze software maakt het mogelijk om in real-time data direct van de FNB58 in een computer in te lezen zonder dat de Fnirsi Windows-software nodig is om gegevens eerst op te nemen en dan op te slaan.

Android-app

The FNB58 is ook te koop met een optionele Bluetooth-interface. Als je deze versie hebt kun je gebruik maken van de Android-app die beschikbaar is als .apk-package op de Fnirsi-website. Om deze app te installeren moet een .zip-bestand gedownload worden, waarna deze uitgepakt een .apk-bestand oplevert dat, nadat daarvoor met *Allow from this source* toestemming gegeven is, op de Android-telefoon geïnstalleerd kan worden. De app is beschikbaar in meerdere talen; tik op het menu rechtsboven om van Chinees om te schakelen naar de gewenste taal waarna het scherm van **figuur 12** verschijnt. Ik heb de app getest maar ondanks dat alles werkte kreeg ik niet het gevoel dat de app noemenswaardig gebruiksvriendelijker is dan de meter zelf of de PC-software.

Conclusie

Alles bij elkaar is de FNB58 een behoorlijk veelzijdig instrument waarmee legio nuttige en waardevolle metingen gedaan kunnen worden, zowel thuis als in een lab. Het apparaat heeft een strak uiterlijk en biedt vrijwel alle functies die je kunt verwachten van dit soort USB-testers. Er kunnen moeiteloos problemen met opladers, kabels of powerbanks geanalyseerd worden, en met wat handigheid kunnen er ook vrij nauwkeurige DC-metingen mee worden uitgevoerd, vooropgesteld dat deze binnen het meetbereik blijven (0...28 V, 0...7 A). Hiertoe moet gebruik gemaakt worden van een USB-adapter (bijvoorbeeld van USB naar schroef) die ofwel zelf gemaakt, of gekocht kunnen worden. Veel plezier! ◀

vertaling: Adrie Kooijman — 230674-03

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.



Gerelateerde producten

> **Fnirsi FNB58 USB Tester with Bluetooth (Voltage & Current Meter)**
www.elektor.nl/20578



WEBLINKS

[1] Website van de fabrikant: <https://fnirsi.com.cn>

[2] Script om CFN-files naar CSV te converteren: <https://github.com/didim99/usbmeter-utils>

[3] Een datalogger-project compatibel met de FNB58: <https://github.com/baryluk/fnirsi-usb-power-data-logger>

De Pixel Pump

pick&place-tool

eenvoudiger handmatige assemblage van SMT-printen

Clemens Valens (Elektor)

Als je ooit hebt geprobeerd om met een pincet een print handmatig te bestukken met SMT-componenten, dan weet je hoe lastig dit kan zijn. Vooral onderdelen met meer dan twee aansluitingen zijn moeilijk correct te plaatsen. Ook al heeft de gesmolten pasta in de oven de neiging om de onderdelen in de juiste richting te laten drijven en draaien, vereist het solderen van IC's toch vaak nabewerking. De Pixel Pump pick&place-tool vereenvoudigt het handmatig bestukken van een print en zorgt tegelijkertijd voor betere resultaten.



een goedkope 'echte' PnP-machine. Het plaatsen van onderdelen blijft handmatig, maar met verbeterde precisie en comfort. In plaats van onderdelen op de verkeerde plaats te laten vallen of per ongeluk pasta van pads te schrapen wanneer je je pincet opent of wegtrekt, kun je met de Pixel Pump een onderdeel precies positioneren en neerzetten waar je het wilt hebben.

Wie heeft zo'n pick&place-machine nodig?

Pick&place-machines (PnP) zijn hier veel beter in dan mensen, maar niet iedereen heeft de ruimte, het budget en de behoefte aan zo'n machine. Voor het assembleren van prototypes en kleine series bestaan er praktische, goedkope pick&place-tools die tot op zekere hoogte geautomatiseerd kunnen worden. Maar hoe goedkoop ze ook zijn, investeren in zo'n machine blijft moeilijk te rechtvaardigen voor wie geen professional is.

Tussen pincet en PnP-machine

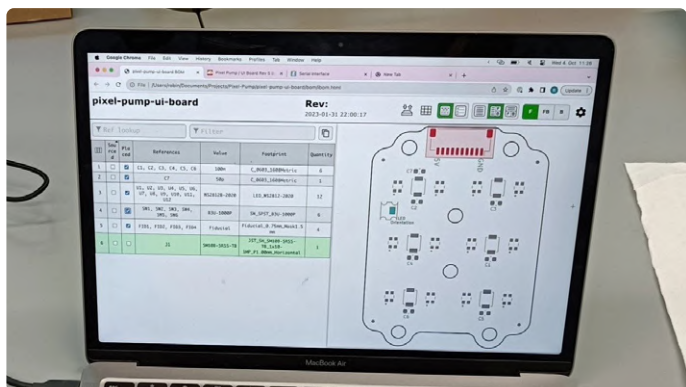
De Pixel Pump [1] is een pick&place-tool dat het gat moet opvullen tussen het handmatig bestukken van een print met een pincet en

Vereist niet veel ruimte op de werkbank

De Pixel Pump lijkt op een klein soldeerstation, behalve dat de punt van de soldeerbout niet warm wordt, maar lucht aanzuigt. Hierdoor kunnen kleine voorwerpen zoals SMD's worden opgepakt. Ook al is dit wat ons het meest interesseert in dit artikel, kan ik me voorstellen dat de Pixel Pump erg handig is voor andere toepassingen, zoals het voorbereiden van substraten voor microscopen of bij de productie van sieraden en andere miniatuurobjecten.

Bediening met voetschakelaar

Objecten oppakken en neerzetten wordt gedaan met een voetschakelaar en je kunt er zelfs twee hebben. De tweede (niet meegeleverd



Figuur 1. Met de tweede voetschakelaar van de Pixel Pump kun je bijvoorbeeld door de onderdelenlijst scrollen.

in de kit) wordt dan meestal gebruikt om door de componentenlijst te stappen. Hij is compatibel met de Interactive HTML BoM-plugin voor KiCad, maar je kunt hem configureren voor elk programma dat je maar wilt.

Naast pedaalbediening voor het oppakken en neerzetten van onderdelen, kun je met drukknoppen op de pomp hetzelfde doen. Hoe het pedaal en de drukknoppen werken (omhoog/omlaag, lang of kort indrukken) kan ingesteld worden.

Mondstukken

De luchtstroom wordt op twee manieren geregeld, door het mondstuk te verwisselen of door de zuigkracht aan te passen met

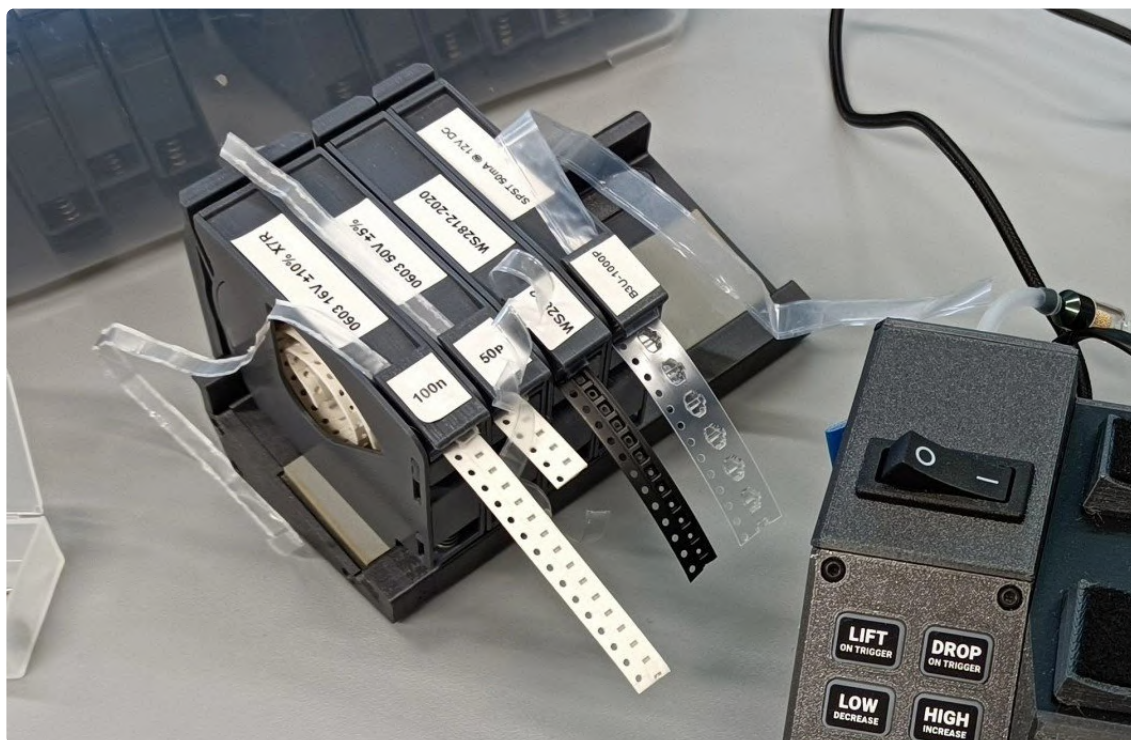
de drukknoppen. De Pixel Pump wordt geleverd met vijf verschillende mondstukken, en je krijgt er vijf van elk. Waarom zoveel, vraag je je misschien af? Nou, sommige zijn erg klein en kunnen snel beschadigd raken, dus het is goed om wat op voorraad te hebben. Het is ook mogelijk om per ongeluk wat soldeerpasta op te zuigen en zo het mondstuk te verstoppen. De Pixel Pump heeft een speciale omkeerfunctie voor dit soort situaties, waardoor hij lucht uitblaast in plaats van naar binnen zuigt, maar dit lost het probleem misschien niet in alle gevallen op. Een door de gebruiker schoon te houden filter voorkomt dat er deeltjes in de pomp komen.

Oppakken is makkelijk, neerzetten vereist enige oefening

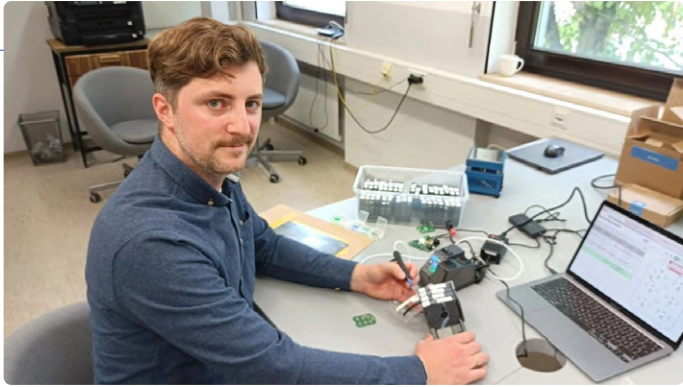
Componenten oppakken is eenvoudig. Standaard gebeurt dit door de voetschakelaar in te drukken en ingedrukt te houden. Laat het pedaal los om het onderdeel te laten vallen en neer te zetten. Ik vond dit in het begin een beetje moeilijk, omdat het enige oefening vergt voordat dit perfect lukt. De manier waarop het pedaal werkt is instelbaar, dus je kunt het aanpassen aan je voorkeuren. Voordat je een onderdeel oppakt, moet je het mondstuk monteren dat het beste bij je onderdeel past. Het grootste mondstuk kan gemakkelijk onderdelen ter grootte van O102 opslokken, dus wees voorzichtig.

Superflexibele slang

Als je, zoals ik, een soldeerbout op dezelfde manier vasthoudt als een potlood, kan het zijn dat de flexibele luchtslang een beetje in de weg zit als je de 'bout' wilt oppakken. Bij soldeerbouten steekt het snoer vaak uit de soldeerbout, zodat je er gemakkelijk met je hand onderdoor kunt om de soldeerbout te pakken.



Figuur 2. Superhandig: een rek met SMD-magazijnen met veelgebruikte onderdelen.



Figuur 3. De Pixel Pump gedemonstreerd door zijn ontwerper Robin Reiter.

De luchtslang van de Pixel Pump daarentegen is zo flexibel dat hij recht naar beneden valt. Hierdoor moet je goed opletten wat je doet.

Rails voor de SMD-magazijnen

De reviewkit werd geleverd met acht SMD-magazijnen en een rail om ze op te klikken. In eerste instantie vraag je je misschien af waarom je ze nodig zou hebben, maar ze bewijzen al snel hun waarde. De magazijnen zijn bedoeld om strips met onderdelen in te bewaren, en ze stellen je in staat om onderdelen met de ene hand uit te pakken, terwijl je ze in de andere hand opzuigt met de pen van de Pixel Pump. Als je dit eenmaal hebt ervaren, wil je niet meer terug naar onderdelen die los op je werkbank liggen of welke methode je eerder ook gebruikte. Een tweede voordeel is dat de magazijnen een geweldige manier bieden om je onderdelen op te bergen. Stel een rek samen met vaak gebruikte onderdelen en zoek er nooit meer naar. Dit verplicht je ook om je BoM's kort te houden.

De Pixel Pump is hackbaar en open source

Een interessant aspect van de Pixel Pump is dat je hem kunt hacken. Dit wordt onderstreept door de 3D-geprinte onderdelen waaruit het apparaat is opgebouwd. De elektronica in de pomp is gebaseerd op een Raspberry Pi RP2040-microcontroller met MicroPython. De broncode en bouw instructies staan op GitHub. Als je de Pixel Pump in bootloader-modus zet, kun je de firmware bijwerken. Dit gaat hetzelfde als op een Raspberry Pi Pico-board.

Seriële interface

Wanneer de Pixel Pump zich niet in de bootloader-modus bevindt, is er een seriële poort beschikbaar. Documentatie hiervoor is beschikbaar op de Pixel Pump-website [2]. De commando's gebruiken de dubbele punt (':') als scheidingsteken (de communicatie is JSON-gebaseerd), dus om de huidige versie van de firmware te krijgen, typ je `version:info`. Het antwoord is een lange string die, in mijn geval, begon met V1.0.1. Met het commando `settings:dump` kun je een lijst krijgen van de huidige instellingen van de Pixel Pump. Je kunt



Demovideo op YouTube
<https://youtu.be/SrzfkPQFn3o>



deze ook wijzigen, maar het is aan jou om de commando's uit te zoeken. Merk op dat je de Pixel Pump in bootloader-modus kunt zetten door het commando `bootloader` in te voeren.

Beste resultaten

De Pixel Pump is een interessant tool om handmatige pick&place-nauwkeurigheid te verbeteren. Omdat een deel van het plaatsen handwerk blijft, zal het niet veel helpen voor mensen met bevende handen. Aan de andere kant, omdat je onderdelen kunt oppakken zonder je hand fysiek te belasten, wordt het plaatsen van onderdelen preciezer. Omdat je de onderdelen ook van een kleine hoogte op het bord kunt laten vallen, is het risico dat je soldeer pasta op naburige pads aanraakt of schraapt veel kleiner. Meestal had ik twee handen nodig om een onderdeel te positioneren voordat ik het liet vallen. Hoewel ik duidelijk meer oefening nodig heb, eindigde ik na het reflowen van de bestukte print met een van de beste resultaten die ik ooit heb gehad met handmatig bestukte prints. Er was geen nabewerking nodig, zelfs niet bij de 48-pins LQFP-chip met kleine pinafstand.

vertaling: Willem den Hollander — 230700-03

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.



Gerelateerde producten

- > **Pixel Pump - Pick-and-Place Machine for Manual SMT Assembly**
www.elektor.nl/20575
- > **SMD Magazine for Pixel Pump (Eight-Pack) - Organizing SMD Parts**
www.elektor.nl/20576
- > **SMD Magazine Rail for Pixel Pump**
www.elektor.nl/20577

WEBLINKS

- [1] Pixel Pump: <https://elektor.com/pixel-pump-pick-and-place-machine-for-manual-smt-assembly>
- [2] Documentatie: <https://robins-tools.com/pixel-pump/docs/getting-started>
- [3] Pixel Pump demovideo: <https://youtu.be/SrzfkPQFn3o>

WORD LID VAN ONZE COMMUNITY

GRATIS
DOWNLOAD



Abonneer je vandaag nog op elektormagazine.nl/ezine-24





Oost West Lab Best

nog niet zo lang geleden,
in een land heel ver van hier...

Eric Bogers

Onlangs had ik het genoeg een paar maanden door te brengen in Almaty, de voormalige hoofdstad van Kazachstan. Ik zal u niet vermoeien met toeristische prietpraat over hoe mooi het daar is en hoe goed het leven (hoewel beide waar zijn; het land en de stad zijn een bezoek dubbel en dwars waard), maar twee elektronica-gerelateerde belevenissen wil ik graag met u delen.

Kent u ze nog – die elektronicawinkels-om-de-hoek, waar minstens één wand helemaal bedekt was met kasten met die schuiflaattjes vol componenten, je kon het zo gek niet noemen of ze hadden het wel of konden het op de een of andere manier bezorgen... Voor mij was het altijd weer een klein wonder dat de uitbaters zonder te kijken meteen het goede laatje wisten te vinden.

In onze contreien hebben de meeste van die winkels de concurrentie met de grote elektronica-postorderaars niet overleefd – die in Breda waar ik in mijn jeugd heel wat uren heb doorgebracht en grote delen van mijn zakgeld heb uitgegeven, moest geloof ik in 2016 zijn deuren sluiten. Jammer natuurlijk – je kon daar niet alleen terecht voor één enkele weerstand van 15 kΩ van een paar cent als je die toevallig nodig had, maar ook kon je daar goede tips krijgen of met gelijkgezinden van gedachten wisselen. Ik denk niet dat ik de enige ben die het verdwijnen van die winkeltjes jammer vindt.

Het was dan ook een onverwacht genoeg op een van mijn wandelingen door Almaty precies zo'n winkel tegen te komen – met de toepasselijke naam 'LED' (figuur 1). De eigenaresse (een vriendelijke dame van middelbare

Figuur 1. De winkel aan de Muchtar Auesov-sstraat in Almaty.



Figuur 2.
Laattjes, laattjes....



Figuur 3.
...en nog
meer
laattjes.



Figuur 4.
Audio-
of video-
connector
nodig?



Figuur 5. Vitrine
met divers
ongeregeld.

leeftijd) stond me toe een paar foto's te maken – gaat u met me mee op een reis terug in de tijd (figuur 2 tot en met figuur 5).

Ik hoop dat deze winkel nog lang blijft bestaan – maar met al die goedkope import uit China (de grens is maar op een steenworp afstand) is dat een open vraag. Terzijde: dat gele ding in figuur 5 is een 'spirtometer' – een alcoholmeter die hoegenaamd niets met elektronica te maken heeft, maar altijd van pas komt om te controleren of je wodka niet is versneden...

Kazachstan is sinds 1991 een zelfstandige republiek [1]; daarvoor maakte het land deel uit van de Sovjet-Unie. Maar ook in die tijd waren er volop elektronica-liefhebbers...



Bij het leegruimen van een paar kasten in een woning die we wilden verhuren, kwam ik naast een meetlint een

paar 'geheimzinnige' blikken doosjes tegen (waarschijnlijk oorspronkelijk bestemd voor 8mm-films) die na openen onder andere oude elektronische componenten bleken te bevatten, sommige nog niet gebruikt, andere zorgvuldig uitgesoldeerd (**figuur 6** en **figuur 7**). Eén doosje was tot de nok gevuld met 'klein grut' – schroefjes, moertjes en dergelijke waar je als hobbyist nooit genoeg van kan hebben, het meeste gebruikt en zorgvuldig bewaard, want in de toenmalige Sovjet-Unie kon je niet zomaar in de bouwmarkt een zakje M3-boutjes kopen.

Het doosje met transistoren bleek erg interessant (**figuur 8**). Enkele van die transistoren waren kennelijk zorgvuldig doorgemeten; op een klein stukje papier was de versterkingsfactor β genoteerd (**figuur 9**). Alle transistoren waren PNP germanium-types van Russische makelij – P401, P403 en P416. De datasheets ervan zijn op internet gemakkelijk genoeg te vinden (om auteursrechtelijke redenen kunnen we die hier niet afdrukken). De P401 (eigenlijk $\pi 401$) is bedoeld voor gebruik in mixers/oscillatoren van AM-ontvangers, de P401 en P403 zijn (V)HF-transistoren.

En daarmee vallen de stukjes van de puzzel op hun plaats. De doosjes waren vroeger in het bezit van een mijnbouw-ingenieur, gepassioneerd duiker en amateurfilmer maar vooral enthousiast radio-amateur (luisteraar) die voortdurend aan zijn ontvanger(s) knutselde. Marat Insanbayev was zijn naam – mijn schoonvader (**figuur 10**). Ik heb hem nooit mogen ontmoeten, hij overleed een half jaar voor mijn eerste bezoek aan Kazachstan. ◀

230431-03



Over de auteur

Eric Bogers is een freelance vertaler/vormgever die onder andere voor Elektor werkt, de laatste jaren als redacteur. Aan het begin van zijn carrière ontwierp hij ook een aantal schakelingen voor Elex, destijds het zusterblad van Elektor. Geboren in Breda en getogen in Drenthe woont hij sinds 2006 met echtgenote Gulnara en kat Mimi in Duitsland.

WEBLINKS

[1] Wikipedia over Kazachstan: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Kazachstan>



Figuur 6. In een doos achterin een kast gevonden...



Figuur 7. Kleine tijdcapsules...



Figuur 8. Germanium-transistoren van Russische makelij.



Figuur 9. Doorgemeten en gelabeld.



Figuur 10. Marat Insanbayev.

Vragen of opmerkingen?

Hebt u vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar de redactie van Elektor via redactie@elektor.com.



“In de wereld van ethiek in elektronica kunnen zelfs kleine stappen een aanzienlijke invloed hebben.”

Doris Wagner
Director Public Policy & ESG

In dit interview bespreken we het belang van ethisch gedrag en de verantwoordelijkheid van bedrijven op het gebied van milieuduurzaamheid. Ga met ons mee als we een evenwicht zoeken tussen innovatie, winst en ethische verantwoordelijkheid bij het creëren van een duurzame toekomst.

Wat is uw rol bij Messe München?

Als directeur van de afdeling Public Policy & ESG ben ik verantwoordelijk voor de implementatie en verdere ontwikkeling van de duurzaamheidsstrategie van het bedrijf en het duurzaamheidsprogramma om onze uitstoot van klimaat-schadelijke gassen te verminderen. Bovendien ben ik verantwoordelijk voor de ESG-rapportage, die voor Messe München verplicht wordt onder de EU-richtlijn CSRD (*Corporate Sustainability Reporting Directive*). Het tweede deel van mijn functie betreft het politieke netwerken van het bedrijf.

Op welke manieren stimuleert en benadrukt Messe München ethische en duurzame praktijken in de (elektronica-)industrie op haar beurzen en evenementen?

Als 's werelds meest toonaangevende elektronica-beurs is elektronica het internationale

ontmoetingspunt van de industrie, waar spelers uit de industrie samenkomen en netwerken stimuleren. elektronica 2022 stond in het teken van “Driving sustainable progress”, waarbij de impact van de industrie op actuele maatschappelijke thema's zoals energietransformatie, tekort aan geschoolde arbeidskrachten en ethisch verantwoord beheer van toeleverketens aan bod kwamen.

De beurs stimuleert met name oplossingen voor een duurzame en ethische verdeling en gebruik van resources in het kader van e-mobiliteit, slimme energie en automatisering. Voor elektronica 2024 zal, zoals het al het geval was in 2022, een belangrijk gesprekstema het toekomstigbeeld zijn van een volledig elektrische samenleving op basis van CO₂-neutraal opgewekte energie.

Welke stappen onderneemt Messe München om (elektronica-)bedrijven aan te moedigen meer duurzame en ethische praktijken toe te passen, zoals verantwoord inkopen en terugdringen van CO₂-uitstoot?

Over het algemeen willen we zowel bezoekers als exposanten stimuleren om verantwoordelijkheid te nemen voor de CO₂-footprint van hun beursaanwezigheid. We raden exposanten doorgaans aan

om duurzame stand-productiesystemen te gebruiken. Voor onze eigen standruimtes gebruiken we voornamelijk het WOODI-standstelsel – een product van onze dochteronderneming meplan. Deze hoogwaardige modulaire standstelsel is ontwikkeld volgens principes van circulaire economie en wordt op een resourcevriendelijke manier geproduceerd.

Helaas kan niet alle CO₂-uitstoot worden vermeden. Daarom hebben we onze eigen producten ontwikkeld om bezoekers en exposanten de kans te geven verantwoordelijkheid te nemen voor het restant. Door te kiezen voor het GoGreen-toegangsticket kunnen bezoekers klimaatbeschermingsprojecten steunen op basis van de CO₂-uitstoot tijdens hun reis van en naar de beurslocatie. De GoGreen-audit is een aanbod aan onze exposanten om de CO₂-uitstoot voor hun beursstand te berekenen, waarvoor ze vervolgens een respectievelijke bijdrage aan klimaatbeschermingsprojecten kunnen betalen.

Voor ons als beursbedrijf is het thema duurzaamheid ook een van de grootste uitdagingen van deze tijd.

Duurzame onderwerpen zijn geïntegreerd in het algemene programma van de meeste van onze beurzen en evenementen, vaak door er bepaalde forums, podia en speciale gebieden aan te wijden. ISPO en Outdoor by ISPO hebben bijvoorbeeld een duurzaamheids-‘hub’ opgezet waarin ze bedrijven de kans geven om hun inspanningen op het gebied van duurzame praktijken in de sport-industrie te presenteren. electronica bood in 2022 ruimte voor het “World Ethical Electronic Forum” en leverde daarmee een platform voor onafhankelijke deskundigen op het gebied van ethiek, waaronder onderzoekers, docenten, NGO’s en vertegenwoordigers van bedrijven, om het belang en de rol van ethiek in de elektronica-industrie te bespreken.

Bekijk het volledige profiel op ethiekinelektronica.com/profiles

De rol van Messe München bij het bevorderen van ethiek en duurzaamheid in verschillende bedrijfstakken is die van een facilitator voor kennisoverdracht, het genereren van ideeën en netwerken. Wij zijn een belangrijke informatiebron en platformaanbieder voor zowel professionals als consumenten.

Naam	Doris Wagner
Land	Duitsland
Bedrijf	Messe München
Functie	Directeur Public Policy & ESG
Geslacht	Vrouw
Leeftijd	60
Favoriet citaat	“Klimaatverandering is de grootste bedreiging voor een duurzame toekomst, maar tegelijkertijd biedt het aanpakken van deze uitdaging een gouden kans om welvaart, veiligheid en een betere toekomst voor iedereen te bevorderen.” Ban Ki-Moon, voormalig secretaris-generaal van de VN
Bedrijfsomvang	941 werknemers (groepsniveau) 563 werknemers (Messe München)
E-mail	doris.wagner@messe-muenchen.de
Website	www.messe-muenchen.de



Dr. Reinhard Pfeiffer, CEO van Messe München, overhandigde de prijs tijdens WEEF 2022 aan Frank Stührenberg, CEO van Phoenix Contact.

Ethiek in Elektronica

de OECD Guidelines en het Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz



Het Ethics in Electronics team

Tijdens productronica 2023 in München presenteerde de Lenthe Foundation het concept voor een Ethics in Electronics Guide, bedacht na brainstormsessies en op verzoek van ethische/SDG/PR-teams en ondernemers, omdat er nieuwe uniforme en objectieve bedrijfscommunicatie moet worden geproduceerd als gevolg van nieuwe wet- en regelgeving op het gebied van (ethisch) verantwoord ondernemen.

Hoe doe je dat: ethisch verantwoord ondernemen?

Ethisch verantwoord ondernemen houdt in dat je je bedrijf op een manier leidt die ethisch, eerlijk en verantwoord is. Dan zijn strategieën en beleid gekoppeld aan ethische principes, waarbij in de dagelijkse praktijk ethisch gedrag wordt beloond en ethische normen worden aangemoedigd. Ethiek gaat ook over het nemen van individuele verantwoordelijkheid, over zorg en respect (professionele interacties tussen collega's), over eerlijkheid en over het vermijden van conflicten.

Wat is het voordeel van ethisch verantwoord ondernemen?

Ethisch verantwoord ondernemen heeft verschillende voordelen, zoals het opbouwen van klantloyaliteit, het verbeteren van reputatie, het behouden van goede werknemers, het creëren van een positieve werkomgeving, het vermijden van juridische problemen en het creëren van langetermijnwaarde.

Zijn er internationale normen voor ethisch verantwoord ondernemen?

De belangrijkste normen daarvoor zijn de *OECD Guidelines for Multinational Enterprises*. Dit zijn aanbevelingen van de OECD-landen aan bedrijven om verantwoord te handelen op het gebied van mensenrechten, arbeidsrechten, milieu, corruptie en consumentenbelangen. De OECD Guidelines zijn in 1976 opgesteld door de *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD). Ze zijn sindsdien verschillende keren bijgewerkt, meest recentelijk in juni 2023. Er zijn 51 landen die de OECD Guidelines hebben aangenomen en daarmee beloven de naleving ervan door hun ondernemingen te bevorderen en te controleren.

De Guidelines bevatten een hoofdstuk *OECD Due Diligence Guidance for Responsible Business Conduct*, een proces dat bedrijven helpt om risico's en negatieve gevolgen in hun activiteiten en toeleveringsketens te identificeren en aan te pakken. De OECD heeft ook een algemene Due Diligence Handreiking en een aantal sectorspecifieke

handreikingen opgesteld om bedrijven te ondersteunen bij het toepassen van de OECD Guidelines. Er is ook een zeer informatieve OECD-website [1].

Voor wie gelden de OECD Guidelines?

Alle landen die lid zijn van de OECD (ook Duitsland) hebben de richtlijnen opgesteld en onderschreven. Elk land dat de OECD Guidelines onderschrijft, heeft een Nationaal Contactpunt (NCP) dat toezicht houdt op de naleving van de richtlijnen. Het is belangrijk om te vermelden dat de naleving van de OECD Guidelines door bedrijven vrijwillig is, maar de overheid hecht er grote waarde aan dat ondernemers deze richtlijnen volgen.

Handhaving van de OECD Guidelines

De naleving van de OECD Guidelines wordt in elk land gecontroleerd door het Nationaal Contactpunt (NCP). Dat houdt toezicht op de naleving ervan en vervult een voorlichtings- en promotiefunctie bij ondernemingen, het maatschappelijk middenveld en andere NCP's in de landen die de Verklaring hebben onderschreven. Daarnaast kunnen maatschappelijke organisaties of vakbonden die in een fabriek willen controleren, makkelijker toegang krijgen. Deze organisaties kunnen vervolgens een klacht indienen bij een nationaal contactpunt van de OEC. Bedrijven moeten ontvankelijk zijn voor deze klachten.

Het is ook belangrijk om te vermelden dat er periodiek monitoringsonderzoeken worden uitgevoerd naar de naleving van de OECD Guidelines. Deze onderzoeken helpen bij het identificeren van gebieden waar verbetering nodig is en zorgen voor transparantie in de inspanningen van bedrijven om aan de richtlijnen te voldoen. Het Duitse NCP is gevestigd bij het Federale Ministerie van Economische Zaken en Energie in Berlijn. Het is een onafhankelijk orgaan dat bestaat uit vertegenwoordigers van de federale overheid, het bedrijfsleven, de vakbonden en de civiele samenleving.

ASML wint prijs voor beste verslaggeving in jaarverslag

In Nederland won ASML onlangs de FD Henri Sijthoff-prijs in de belangrijkste categorie "AEX". Dit is de meest prestigieuze prijs in Nederland voor jaarverslagen en bedrijfscommunicatie.

Het is de eerste keer dat de Nederlandse chipmachinemaker de prijs krijgt toegewezen.

"Het bedrijf uit Veldhoven weet goed uit te leggen wat ze precies doen", zegt de jury in het juryrapport. Daarnaast slaagt ASML erin de markttrends duidelijk te schetsen. Verder is er veel aandacht voor de maatschappij en duurzaamheid, zoals efficiënt energiegebruik, CO₂-voetafdruk en circulaire economie. Daarbij zijn tijdspaden aangegeven en is er een rapportage over de prestaties.

Trend

De verslaggeving rond duurzaamheid wordt beter, zegt de jury. Alle ondernemingen besteden naast financiële informatie ook aandacht aan niet-financiële informatie over bijvoorbeeld klimaat en milieu, tevredenheid van klanten en medewerkers. Die informatie wordt meer en meer geïntegreerd gepresenteerd. Dat vindt de jury een goede ontwikkeling. In toenemende mate wordt bijvoorbeeld klimaatbelasting gemeten en gerapporteerd; ook voor stikstof is steeds meer aandacht. Niet alles is eenduidig te meten en bedrijven worstelen daar zichtbaar mee. Vrijwel alle bedrijven rapporteren over hun CO₂-voetafdruk en hebben doelstellingen voor 2030.

Bron: Juryrapport FD Henri Sijthoff-prijs 2023



Is het Duitse Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz dat in 2023 van kracht werd, vergelijkbaar met de OECD Due Diligence Guidance for Responsible Business Conduct?

Beide richtlijnen hebben dus tot doel bedrijven te helpen bij het identificeren, voorkomen of beperken en verantwoording af te leggen over hoe daadwerkelijke en potentiële nadelige effecten worden aangepakt. Ze bevorderen ook een gemeenschappelijk begrip onder overheden en belanghebbenden over due diligence voor verantwoord zakelijk gedrag.

Maar er zijn ook belangrijke verschillen tussen de twee:

- Toepassingsgebied: De OECD Guidelines zijn van toepassing op alle soorten bedrijven die in alle landen en sectoren van de economie actief zijn. Anderzijds is het Duitse Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz specifiek van toepassing op in Duitsland gevestigde bedrijven en hun toeleveringsketens.
- Juridische status: De OECD Guidelines zijn aanbevelingen van de overheid aan bedrijven, maar ze zijn niet wettelijk bindend. Het Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz daarentegen is een Duitse wet, en bedrijven die onder deze wet vallen, zijn wettelijk verplicht om aan de bepalingen ervan te voldoen.
- Implementatie en handhaving: De implementatie van de OECD Guidelines wordt ondersteund door praktische, duidelijke uitleg over hoe due diligence kan worden uitgevoerd. In tegenstelling tot de OECD Guidelines, die voornamelijk zelfregulerend zijn, voorziet het Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz in specifieke handavingsmechanismen, waaronder mogelijke sancties voor bedrijven die niet aan de wet voldoen.

Verplichtingen vanuit het Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz

Het Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz, kortweg het Lieferkettengesetz, is op 1 januari 2023 in werking getreden. Het regelt de verantwoordelijkheid van bedrijven voor de naleving van mensen-



SDG's als leidraad voor de Great Reset

De Great Reset is een voorstel van het World Economic Forum (WEF) om na de coronapandemie de wereldeconomie duurzaam opnieuw op te bouwen. Klaus Schwab, oprichter en directeur van het WEF, stelt dat we dit momentum moeten aangrijpen om de huidige vorm van kapitalisme te verbeteren.

Volgens Schwab zouden de 17 SDG's van Agenda 2030, het actieplan van de Verenigde Naties, de leidraad moeten zijn voor deze verbetering. Daarbij is er volgens hem een grote rol weggelegd voor de mogelijkheden van de "Vierde Industriële Revolutie" – de moderne smart technologieën als artificial intelligence, 3D-printen, 5G en "the internet of things".

Complot: World domination...

Er bestaan complottheorieën over de Great Reset. Deze theorieën suggereren dat de coronapandemie door het WEF wordt misbruikt voor het installeren van een door socialisme geïnspireerde dystopie waarin een globale (financiële) elite alle macht naar zich toetrekt ten koste van nationale soevereiniteit, democratie en privacy van de burger. Deze complottheorieën zijn niet op feiten gebaseerd en worden doorgaans verspreid door mensen met een specifieke politieke of ideologische agenda.

rechten in de wereldwijde toeleveringsketens. Hieronder vallen bijvoorbeeld de bescherming tegen kinderarbeid, het recht op eerlijke lonen en de bescherming van het milieu. Duitse bedrijven moeten daartoe gedefinieerde zorgvuldigheidsplichten uitvoeren. Deze plichten gelden voor hun eigen bedrijfsgebied, voor het handelen van een contractpartner en voor het handelen van verdere (indirecte) leveranciers. Dit betekent dat de verantwoordelijkheid van bedrijven niet langer eindigt bij hun eigen fabriekspoort, maar bestaat langs de gehele toeleveringsketen.

Bedrijven moeten eerst de risico's in hun toeleveringsketens identificeren, beoordelen en prioriteren. Op basis van de resultaten publiceren ze een verklaring van beginselen en nemen ze maatregelen om schendingen van de mensenrechten en schade aan het milieu te voorkomen of te minimaliseren. De wet legt uit welke preventie- en herstelmaatregelen nodig zijn.

Andere verplichtingen zijn onder meer het opzetten van klachtenkanalen voor mensen in de toeleveringsketens en het regelmatig rapporteren over het beheer van de toeleveringsketens. Door de wet krijgen mensen in de toeleveringsketens, bedrijven en consumenten rechtszekerheid en een betrouwbare basis voor het beheer van duurzame toeleveringsketens met veerkrachtige inkooproutes. Het Lieferkettengesetz is van toepassing op bedrijven met minimaal 3000 werknemers vanaf 2023, en vanaf 2024 ook op bedrijven met minimaal 1000 werknemers in Duitsland. Het versterkt mensenrechten en milieubescherming, waaronder de bescherming tegen kinderarbeid, gedwongen arbeid en discriminatie, bescherming tegen landroof, arbeids- en gezondheidsbescherming, het recht op eerlijke lonen, het recht om vakbonden te vormen, en bescherming tegen milieurechtelijke overtredingen.

De naleving van de wet wordt gecontroleerd door het Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA), dat is uitgerust met interventiebevoegdheden en boetes kan opleggen.

Reclame is het nieuwe front voor klimaatactivisten

Volgens onderzoek is meer dan de helft van de duurzaamheidsclaims in de EU misleidend. Nieuwe EU-regels maken greenwashing moeilijker. Als het aan klimaatactivisten ligt komt daar bovenop nog een reclameverbod: "Fossiele reclame houdt fossiele normen in stand." Hypocrisie in reclame valt lastig te bestrijden, maar de EU gaat een poging ondernemen om het bedrijven lastiger te maken groene claims af te vuren op de consument.

Bedrijven kunnen zo goed als straffeloos reclame maken met duurzame claims. Dat is nadelig voor consumenten en bedrijven die daadwerkelijk duurzaam produceren. Europa komt met nieuwe wetgeving om deze greenwashing tegen te gaan. Klimaatactivisten zouden het liefst zien dat sommige bedrijven überhaupt geen reclame meer mogen maken.

Gedragswetenschapper en hoogleraar marketing en duurzaamheid Jan Willem Bolderdijk van de Universiteit van Amsterdam: "Wat makkelijk voor de geest te halen is, bepaalt wat je ergens van vindt. Dat heet ook wel de availability heuristic. Om een voorbeeld te geven: als je het reilen en zeilen van een bedrijf niet op de voet volgt, baseer je je beeld van zijn duurzaamheidsbeleid eerder op reclames. Dat kan rooskleuriger uitvallen dan verdient."

Met de CSRD-wetgeving, die bedrijven verplicht te rapporteren over hun maatschappelijke impact, dwingt de wetgever transparantie af. Daardoor kun je bedrijven straks veel makkelijker afrekenen op wat ze nu echt doen. De Corporate Sustainability Reporting Directive (lidstaten hebben tot begin juli 2024 de tijd om de bepalingen van de CSRD in hun nationale wetgeving op te nemen) en in het bijzonder de Green Claims Directive (in maart 2023 voorgesteld door de Europese Commissie) leggen de verantwoordelijkheid voor het bewijzen van claims voortaan bij bedrijven in plaats van consumenten.

Met de nieuwe Green Claims Directive probeert Europa het makkelijker te maken voor consumenten en toezichthouders om aan te tonen dat een claim onjuist en misleidend is. Volgens Europa is "groen" vanaf 2026 in elk geval te vaag. Bedrijven moeten hun claims ("klimaatneutraal", "eco", "groen") gaan preciseren en feitelijk onderbouwen. De Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) en de Green Claims Directive leggen de verantwoordelijkheid voor het bewijzen van claims voortaan bij bedrijven in plaats van consumenten.

De specifieke sancties en boetes voor het niet naleven van de Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) zullen afhangen van hoe de EU-lidstaten de CSRD-regelgeving implementeren. Elk EU-lidstaat zal, bij het omzetten van de CSRD in nationale wetgeving, zijn eigen sancties voor niet-naleving kunnen invoeren. Het is aannemelijk dat de sancties die worden ingevoerd, zullen worden gebaseerd op de huidige sancties die werden geïmplementeerd toen de lidstaten de Non-Financial Reporting Directive (NFRD) omzetten.

Bron: Marceline Bresson, het Financieele Dagblad

Hoe verhouden de OECD Guidelines zich tot de 17 SDG's van de VN?

De OECD Guidelines en de 17 Duurzame Ontwikkelingsdoelen (SDG's) van de Verenigde Naties zijn beide gericht op het bevorderen van duurzaamheid en verantwoord ondernemen, maar ze hebben verschillende focusgebieden.

De OECD Guidelines zijn aanbevelingen aan bedrijven over hoe ze verantwoord kunnen handelen op gebieden zoals werkgelegenheid, mensenrechten, ketenverantwoordelijkheid, milieu, consumentenbelangen en mededinging. Ze bieden handvatten voor bedrijven om met deze kwesties om te gaan.

Bij de SDG's gaat het om 17 wereldwijde doelen die zijn vastgesteld door de Verenigde Naties met de bedoeling om een einde te maken aan armoede, ongelijkheid, onrecht en klimaatverandering. Deze doelen zijn veel breder en omvatten zaken als het beëindigen van armoede, het bevorderen van goede gezondheid en welzijn, het waarborgen van kwalitatief goed onderwijs, en het bevorderen van gendergelijkheid.

Hoewel de OECD Guidelines en de SDG's verschillende aspecten van duurzaamheid en verantwoord ondernemen behandelen, kunnen ze elkaar aanvullen. Door de OECD Guidelines na te leven en het daarbij horende due diligence proces goed te doorlopen, zetten bedrijven een grote stap naar de SDG's. Daarmee dragen bedrijven bijvoorbeeld bij aan verantwoorde arbeidsomstandigheden in hun productieketen en het terugdringen van klimaatverandering: onderwerpen die ook centraal staan in de SDG's.

In dit kader komt vaak het WEF ter sprake. Wat is het verband met de VN?

Het World Economic Forum (WEF) en de Verenigde Naties (VN) werken samen op verschillende gebieden, met name op het gebied van duurzame ontwikkeling. Sinds 2017 organiseert het WEF jaarlijks Sustainable Development Impact Summits in het kader van Agenda 2030, parallel aan de Algemene Vergadering van de VN. In juni 2019 zijn de VN en het WEF officieel gaan samenwerken om de implementatie van de Sustainable Development Goals (SDG's) te versnellen.

Het is belangrijk om te vermelden dat hoewel het WEF, net als vele andere organisaties, kan lobbyen bij de VN, het geen directe inspraak heeft op de totstandkoming van deze agenda's. Echter, de samenwerking tussen de VN en het WEF kan helpen bij het bevorderen van de doelen van Agenda 2030 en het bereiken van duurzame ontwikkeling wereldwijd. 

230706-03

WEBLINK

[1] Organisation for Economic Co-operation and Development: <https://www.oecd.org/>

Chadèche: slimme NiMH-(ont)lader

lezersproject in het kort

Jacques Ehrlich (Frankrijk)

Tekst: Jean-François Simon (Elektor)

Chadèche is een op maat gesneden NiMH-lader en -ontlader met geavanceerde logging- en cyclusopties. Hij is gebaseerd op een Raspberry Pi met speciale software en talloze softwarematig configureerbare opties. Laten we eens kijken!



Figuur 1. Een opstelling met drie Chadèche-printen en een Raspberry Pi.

Dit project kreeg de naam "Chadèche" naar de Franse woorden *chargeur* en *déchargeur*. De schakeling is ontworpen voor AA- en AAA-nikkelmetaalhydride (NiMH) accu's. Het aanvankelijke doel was om de prestaties van een paar van deze batterijen te karakteriseren, om dan de beste te gebruiken in een draagbare vliegtuig-GPS. Wat begon als een eenvoudige constane stroom-ontlader ontwikkelde zich tot een compleet project op universitair niveau. De documentatie is zeer gedetailleerd: twaalf pagina's met uitleg en diagrammen, evenals een persoonlijke Wiki-pagina. Een overzicht is te zien in **figuur 1**.

Chadèche kan afzonderlijke cellen opladen of ontladen met een constante stroom (instelbaar tot 400 mA) en is gebaseerd op een Raspberry Pi. Hij beschikt over celspanningsbewaking en datalogging. Dankzij het modulaire ontwerp kunnen maximaal vier accu's tegelijkertijd en onafhankelijk van elkaar worden behandeld. De software is zeer geavanceerd en maakt laad- en ontladcycli mogelijk die zijn opgebouwd uit sequenties. Deze sequenties hebben mogelijkheden voor het nauwkeurig instellen van parameters en event management, zoals spanningslimiet, tijdslimiet en laadlimiet in mAh.

Wat Chadèche kan

Chadèche is zowel een operationeel als een onderzoeksinstrument. Als zodanig biedt de realisatie van dit project veel mogelijkheden voor iedereen die het wil nabouwen. Chadèche biedt de mogelijkheid om NiMH-accu's voor algemeen gebruik thuis of in de werkplaats op te laden.

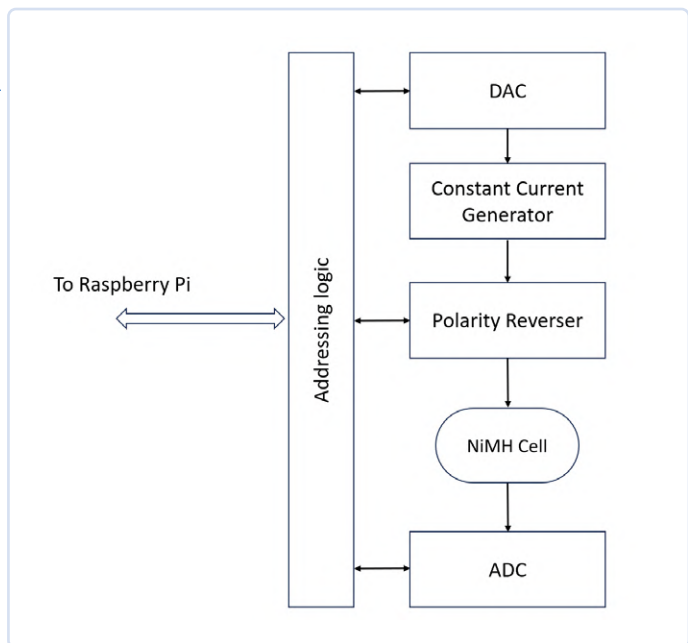
Hij kan de prestaties van accu's evalueren en de capaciteit testen. Bovendien kan de levensduur van de batterij worden geschat door middel van herhaalde laad- en ontladcycli. Er bestaat ook een mogelijkheid om te experimenteren met verschillende manieren van laden en ontladen door de waarden van stroom, duur enzovoort te variëren.

Naast al deze technische mogelijkheden biedt dit project de ervaring van het bouwen van een compleet tool van begin tot eind met aan het eind de voldoening van het gebruik van 100% op maat gemaakte apparatuur. Voor iedereen die Chadèche wil bouwen, is het hele project open-source onder een GNU-licentie.

Modulair ontwerp

Dit project bestaat uit verschillende dochterprinten die via een 40-aderige lintkabel verbonden zijn met de Raspberry Pi. Een Chadèche-print beheert één accu. Voor de volledige versie, die vier accu's beheert, moet je vier Chadèche-printen bouwen en boven elkaar monteren.

De architectuur van elke print is te zien in het blokschema van **figuur 2**. Het systeem bestaat vijf functionele blokken. Het eerste blok is een spanningsgestuurde constante stroombron, die bestaat uit een klassieke IRF540N-MOSFET en een weerstand van 10 Ω die in serie staan met de cel. De laadstroom genereert een spanning over de weerstand, die vervolgens door een operationele versterker wordt vergeleken



Figuur 2. Blokschema van het systeem.

met een referentiespanning. De uitgang van de opamp stuurt de gate van de MOSFET, die wordt gebruikt in het ohmse gebied.

Dan is er nog een digitaal/analoog-omzetter (DAC), om precies te zijn een Microchip MCP4922, die verantwoordelijk is voor het genereren van de stroom-referentiespanning die wordt gebruikt door de bovengenoemde stroombron.

Vervolgens wordt een analoog/digitaal-omzetter (ADC) gebruikt voor de nauwkeurige meting van de celspanning. In dit geval werd een Microchip MCP3201 toegepast.

Het vierde blok is een polariteitsomkeerder die gebruik maakt van een DPDT-relais om te schakelen tussen de laad- en deontlaadmodus.

Het laatste onderdeel is de adresseringslogica. Dit zorgt ervoor dat de Raspberry Pi met elk van de boards (maximaal vier) onafhankelijk kan communiceren, zonder conflicten. De gebruiker stelt het adres van elk board in met behulp van DIP-schakelaars. Om vier adressen binair te coderen zijn twee bits nodig, vertegenwoordigd door twee Raspberry Pi I/O-pinnen: A0 en A1 (GPIO 17 en 27 op het Raspberry Pi-board). Via de status van deze pinnen selecteert de Raspberry Pi het gewenste dochterboard.

Het volledige schema is beschikbaar op de Elektor Labs projectpagina [1] en op de website van de auteur [2].

Van concept naar schakeling

Naast de zojuist genoemde hoofdblokken laat Chadèche interessante ontwerpdetails zien: De DAC en ADC worden aangestuurd door de Raspberry Pi via de SPI-bus. Ze delen de MISO-, MOSI- en CLK-pinnen, waarbij de Raspberry Pi schakelt tussen de componenten waarmee hij wil communiceren door de chip select-pinnen van elke component hoog of laag te maken.

Omdat de SPI-pinnen ook gedeeld worden door de vier dochterprinten, is de adresseringslogica verantwoordelijk voor het routeren van de chip-select signalen naar het juiste board. Deze logica bestaat uit de vier AND-poorten in een 74HC00 en vier van de zes inverters in een 74HC04.

Bovendien hebben de DAC en ADC een spanningsreferentie nodig. Om een betere nauwkeurigheid te bereiken, is hiervoor een Analog Devices MAX6241 gekozen. Dit zou veel betere resultaten moeten opleveren dan simpelweg een van de voedingsrails als referentie te gebruiken. Een interessant detail van deze ADC is de pseudo-differentiële ingang.

In tegenstelling tot een volledig zwevende negatieve ingang, is deze beperkt tot een bereik van ± 100 mV ten opzichte van massa. Toch zweeft de batterijspanning ten opzichte van massa door de 10Ω -serie-weerstand. Om dit op te lossen zit er tussen de batterij en de ADC een eenmaal versterkende verschilversterker.

Het relais moet zijn positie stabiel vasthouden tijdens de oplaad- of ontladefase, ook als de Raspberry Pi zich met een ander board bezig houdt. De besturing van de relaispoel is daarom toegewezen aan een 74HC74 die als latch wordt gebruikt en die op zijn beurt wordt aangestuurd door twee GPIO's van de Raspberry Pi.

Het ontwerp bevat ook drie LED's die elk een ander doel dienen. De eerste LED is een duidelijke indicatie voor de aanwezigheid van de voedingsspanning. De tweede (tweekleurige) LED geeft aan of het systeem zich in de laad- of ontladmodus bevindt. De derde LED knippert aan en uit op commando van een 555-timer. Interessant is dat de duty cycle van de 555-uitgang wordt gedicteerd door het secundaire kanaal van de DAC, dat anders ongebruikt zou blijven. Door deze opzet kan de LED knipperen met een variabele frequentie die fijngeregeld kan worden via de software. Dit lijkt misschien een vrij complexe oplossing om een LED te laten knipperen, maar een voordeel hiervan is dat de knippersnelheid van de LED gelijk blijft, zelfs als de Raspberry Pi met andere dingen bezig is.

Deze knipper-LED kan bijvoorbeeld de daadwerkelijke belastingstroom weergeven. In tegenstelling tot een variatie van de helderheid van de LED, die beslist niet lineair zou zijn, biedt dit knipperen een meer intuïtieve visuele indicatie.

De systeemarchitectuur

Bij dit soort persoonlijke projecten zijn de beperkingen in termen van tijd en geld over het algemeen minder stringent dan in de bedrijfswereld, en dat is mooi! Het is altijd een leuke uitdaging om een compromis te vinden tussen de wens voor een flexibel, upgradebaar systeem aan de ene kant en eenvoud aan de andere kant. Chadèche gebruikt een aparte print voor elke te testen NiMH-cel; het zou interessant zijn om een single-board oplossing te bedenken, die de bedrading en mechanische assemblage vereenvoudigt. Die print zou eventueel iets groter kunnen zijn, met een Raspberry Pi Zero erop gemonteerd.

Hoewel de aanwezigheid van een MOSFET en gatedriver voor elke NiMH-cel verplicht lijkt te zijn, prikkelt het de nieuwsgierigheid om na te denken over andere benaderingen waarbij een enkel DAC/ADC-paar voor het hele systeem gebruikt zou kunnen worden. Dit zou het aantal benodigde kalibraties terugbrengen van vier naar één. Hoe zit het met het verkennen van verschillende adresserings-schema's tussen componenten om het systeem uit te breiden naar meer dan vier accu's? Het is ook verleidelijk om manieren te bedenken om de opstelling aan te passen voor verschillende accutypen, zoals lithium of lood-zuur.

Hoe zou jij het hebben aangepakt? Voel je vrij om je gedachten te delen met de community op Elektor Labs [1].

Jean-François Simon (engineer, Elektor)

ADR	C/D	mA	SD	TL	TH	LmAh	HmAh	TRUE	CTRLZ	COMMENT
1	D	0	60	I	I	I	I	I	S	Cell at rest
2	D	200	90000	S	I	S	I	I	S	200 mA discharge
3	D	0	30	I	I	I	I	I	S	Cell at rest
4	C	300	300	I	6	I	6	I	S	300 mA charge until max capacity
5	C	0	5	I	I	I	I	3	S	NOP and unconditional jump
6	C	50	300	I	I	I	I	I	S	Topping off
7	C	10	3600	I	I	I	I	I	I	Trickle charge
8	C	0	0	I	I	I	I	20:00	S	Waking up at 20:00
9	C	0	0	I	I	I	I	I	S	End of cycle

Figuur 3. Een configuratietabel voor één cyclus.

Software

Om het potentieel van het project ten volle te benutten, werd een uitgebreid softwarepakket geschreven. De broncode (in C) en gecompileerde versies voor de Raspberry Pi zijn beschikbaar op Github [3]. De code is netjes geordend in vijf bronbestanden met in totaal ongeveer 1300 regels code.

Om toegang te krijgen tot de GPIO's van de Pi wordt de *WiringPi*-bibliotheek van Gordon Henderson gebruikt. De laatste stabiele versie, nog steeds beschikbaar op Gordon's website, zou moeten werken.

De *chadeche*-executable kan worden gebruikt om een Chadèche-dochterprint aan te sturen, waarvan het adres als parameter wordt doorgegeven wanneer het in de shell wordt uitgevoerd. Op deze manier maakt het systeem gebruik van de intrinsieke multitasking van Linux. Om meerdere NiMH-cellen tegelijkertijd te analyseren, starten we meerdere instanties van *chadeche*. Dit kan gedaan worden door verschillende shell-vensters te openen of door de commando's op de achtergrond uit te voeren met *&*, of door de commando's *screen*, *nohup* enzovoort te gebruiken.

De software maakt laad- en ontladcycli mogelijk, waarbij elke cyclus uit sequenties bestaat. Vertragingen zijn mogelijk, net als voorwaar-

delijke sprongen van de ene reeks naar de volgende wanneer (vooraf ingestelde) voorwaarden worden bereikt. Bijvoorbeeld, laad op met stroom X gedurende Y seconden, schakel over naar de volgende reeks wanneer spanning Z wordt bereikt, enzovoort.

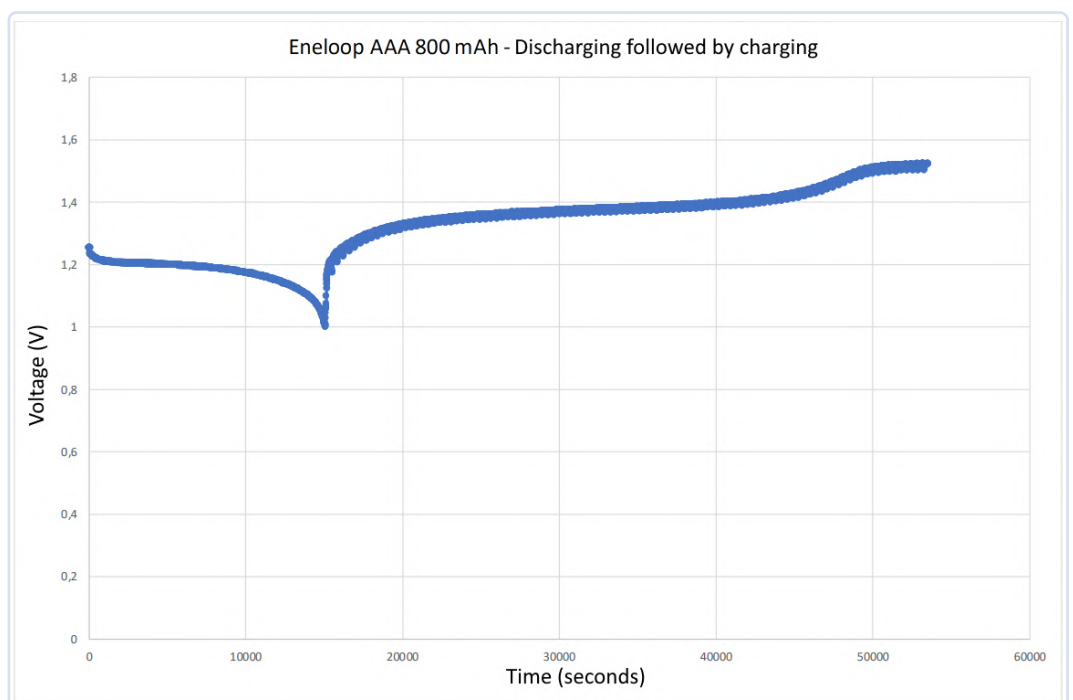
Om dit alles te configureren voorziet de gebruiker de software van configuratiebestanden die zoveel details bevatten als gewenst (een sequentie per regel) in de vorm van CSV-bestanden, zoals getoond in figuur 3. Naast deze configuratiebestanden kan *chadeche* ook parameterbestanden gebruiken om waarden op te slaan die specifiek zijn voor elk board, zoals kalibratiecoëfficiënten.

Meetresultaten worden opgeslagen in CSV-formaat, waardoor verdere verwerking mogelijk is, zoals het tekenen van ontlad- en oplaadcurven (figuur 4 toont een voorbeeld). ◀

230624-03

Vragen of opmerkingen?

Hebt u technische vragen of opmerkingen hebt naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar de auteur via support.chadeche@orange.fr of naar de redactie van Elektor-redactie via redactie@elektor.com.



Figuur 4. Spanningscurve van een NiMH-cel tijdens ontladen en laden.

Over de auteur

Jacques Ehrlich is emeritus onderzoeksdirecteur aan de Universiteit Gustave Eiffel en consultant op het gebied van intelligente transportsystemen (ITS). Hij was adjunct-directeur en vervolgens directeur van het LIVIC (Laboratory on Vehicle Infrastructure and Drivers Interactions) bij IFSTTAR, een internationaal gerenommeerd onderzoekslaboratorium op het gebied van verkeersveiligheid, geavanceerde rijassistentiesystemen en autonome voertuigen. Hij heeft een passie voor elektronica, informatica en zweefvliegen.

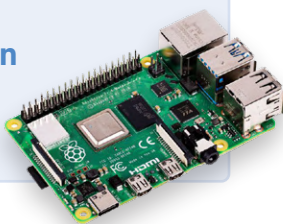
Deel je projecten met Elektor

Chadèche leek ons een interessant project. Het is een mooi voorbeeld van 100% maatwerk: ontwerpen, bouwen, testen, code schrijven en documentatie voorbereiden. Hulde aan de aanzienlijke inspanning die dit project vergde. Een project als dit kan alleen tot stand komen met veel doorzettingsvermogen en vele weken werk. Dit is het werk van een echte enthousiasteling, en dat zien we graag bij Elektor! Aarzel niet om je eigen projecten te delen met de redactie en de Elektor-community. Laat je werk zien op Elektor Labs en stuur je project- of artikel-ideeën naar redactie@elektor.com.



Gerelateerde producten

- Raspberry Pi 4 B (2 GB RAM)
www.elektor.nl/18965



WEBLINKS

- [1] Projectpagina op Elektor Labs:
<https://elektormagazine.com/labs/chadeche-un-chargeur-dechargeur-tres-intelligent-pour-accus-nimh>
- [2] Website van de auteur: <http://yadalo.no-ip.org/dokuwiki/doku.php?id=projets:projets:chadeche:chadeche>
- [3] Chadèche-software op GitHub: <https://github.com/duodiscus92/chadeche>

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

of oordeel zelf door een bezoek te brengen aan onze Elektor Store, www.elektor.nl



elektor
design > share > earn

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).

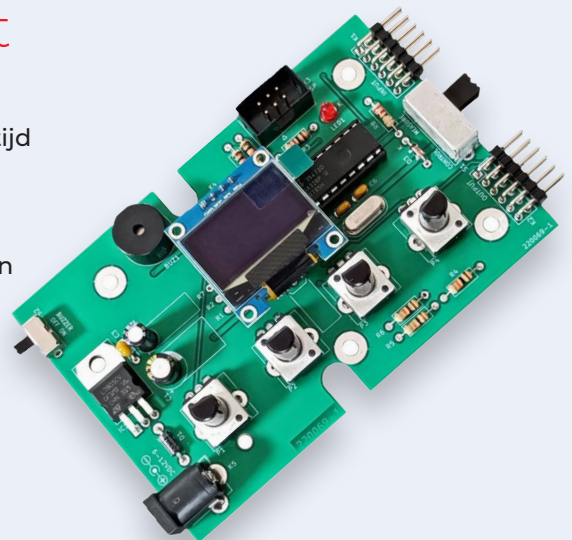
Elektor Super Servo Tester Kit

De Elektor Super Servo Tester kan servo's aansturen en servo-signalen meten. Hij kan maximaal vier servokanalen tegelijkertijd testen.

De Super Servo Tester wordt als bouw pakket geleverd. Alle benodigde onderdelen voor het monteren van de Super Servo Tester zijn in de set inbegrepen. Voor het bouwen van de kit zijn basisvaardigheden op het gebied van solderen vereist. De microcontroller is al geprogrammeerd.

Prijs: ~~€ 49,95~~

Actieprijs: € 42,95



 www.elektor.nl/20624



Raspberry Pi 5 Essentials

Programmeer, bouw en beheers meer dan 60 projecten met Python

Het boek begint met een introductie tot de Raspberry Pi 5-computer en behandelt belangrijke onderwerpen als toegang tot de computer (zowel lokaal als op afstand). Gebruik van console-commando's en toegang tot en gebruik van de desktop-GUI worden beschreven met praktijkvoorbeelden. De overige delen van het boek behandelen veel op Raspberry Pi 5 gebaseerde hardwareprojecten.

Prijs: € 34,95

Ledenprijs: € 31,46

 www.elektor.nl/20703



FNIRSI S1 Smart Multimeter



Prijs: € 34,95

Ledenprijs: € 31,46

www.elektor.nl/20645

DER EE DE-5000 LCR-meter (100 kHz)



Prijs: € 219,00

Ledenprijs: € 197,10

www.elektor.nl/20675

RTL-SDR V4 (Software Defined Radio) met Dipool Antenne Kit

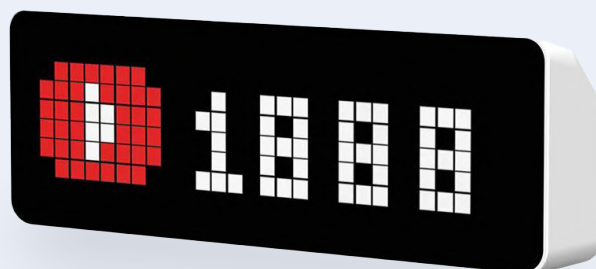


Prijs: € 59,95

Ledenprijs: € 53,96

www.elektor.nl/20680

Ulanzi TC001 ESP32-gebaseerde Smart Pixel Clock



Prijs: € 79,95

Ledenprijs: € 71,96

www.elektor.nl/20719

Project 2.0

correcties, updates en brieven van lezers

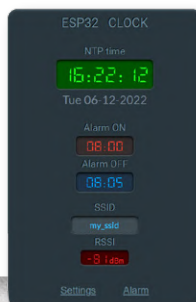
Samengesteld door Roberto Armani (Elektor)

Cloc 2.0

Elektor maart/april 2023, p. 6 (220564)

De software voor het Cloc-project is bijgewerkt naar versie 2.10. In deze versie is een probleem opgelost dat werd veroorzaakt door speciale tekens, zoals &, in het SSID en wachtwoord. Als deze tekens in een van deze strings werden gebruikt, werd de string afgekapt, waardoor een netwerkverbinding onmogelijk werd. De nieuwe software kan worden gedownload van de projectpagina op Elektor Labs: elektormagazine.nl/labs/cloc-le-reveil-20

Clemens Valens (redacteur van het artikel)



Kleine DCF77-simulator

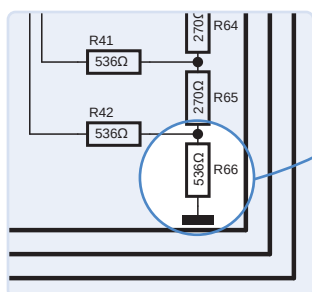
Elektor Circuit Special 2023, blz. 126 (230307)

Er staat een fout in de tekst over een kleine DCF77 simulator. Het juiste type controller is een PIC12F683, niet een PIC12F638. Het schema is correct.

Programmeerbare video-DAC

Elektor Circuit Special 2023, p. 44 (220674)

Er is een fout in het schema gesloten: weerstand R66 (rode kanaal) moet 536 Ω zijn, niet 270 Ω (zie figuur). R74 en R82 (hier niet afgebeeld) hebben dezelfde waarde, 536 Ω . De componentenlijst is correct.



Mini-zonnevoeding

Elektor Circuit Special 2023, p.6 (220321)

Er is geen print (al dan niet met gemonteerde SMD's) voor dit project in de shop. Honderden weersensoren in honderden tuinen wachten daar vol ongeduld op voor hun ESP's. Zit er nog zoiets aan te komen? Gustav I.

Hartelijk dank voor je belangstelling, Gustav. De Gerber- (en KiCad-) bestanden kunnen worden gedownload van elektormagazine.com/labs/tiny-solar-supply. Met deze bestanden kunt je de print bestellen bij PCB pooling services zoals Eurocircuits of JLCPCB. Houd er wel rekening mee dat de schakeling niet geschikt is voor het voeden van ESP-chips met standaardsoftware (die RF-kalibratie uitvoeren), omdat deze veel stroom trekken bij het opstarten, meer dan deze schakeling kan leveren. Voor meer informatie, zie: ondrovo.nl/a/20170207-esp-consumption
Clemens Valens (ontwikkelaar van het project)

Condensatoren in audioschakelingen

Elektor februari 1992, p. 26 (902004)

Als trouw lezer van uw tijdschrift heb ik het artikel "Condensatoren in AF-schakelingen" gelezen (elektormagazine.com/magazine/elektor-199202/32560) en heb een vraag over een opmerking van de auteur op pagina 28:

Verder speelt de voeding ook een rol: het is raadzaam om parallel aan de grote elektrolytische condensatoren ervan filmtypes te monteren van niet minder dan 0,47...1,0 μ F om de prestaties van de schakeling bij hogere frequenties te verbeteren.

Betekent dit echt dat ik de elektrolytische condensatoren moet laten zitten en gewoon een filmcondensator parallel moet schakelen? Of is het beter om de elektrolytische condensatoren compleet te vervangen door filmcondensatoren?

Thibaut

Bedankt voor je vraag, Thibaut, die nog steeds heel actueel is, ondanks de leeftijd van het nummer waarnaar je verwijst!

We kunnen dit beschouwen als een quasi-esoterische audiokwestie, waarbij de analyse naar technische niveaus wordt getild waar normaal nauwelijks aandacht aan wordt besteed. Het voedingsdeel van een audioversterker wordt belast door stromen die evenredig zijn met het uitgangsniveau en met een frequentie die (uiteeraard) gelijk is aan die van het versterkte signaal. Elektrolytische en filmcondensatoren hebben complementaire eigenschappen. Om precies te zijn, in termen van capaciteitsdichtheid en ESR-waarde versus frequentie:

- elektrolytische condensatoren bieden een grote capaciteit bij compacte afmetingen;
- elektrolytische condensatoren reageren nogal 'traag' op hoogfrequente belastingen en hebben hogere ESR-waarden;
- filmcondensatoren hebben een kleinere capaciteit/footprint-verhouding, maar ze hebben veel lagere ESR-waarden bij hoge frequenties, waardoor de niet-ideale respons van de elektrolytische condensatoren bij 'downstream' ontlading wordt gecompenseerd.

Daarom zal in een audiovoeding de combinatie van een elektrolytische condensator met een filmcondensator met gemiddelde capaciteit (zoals voorgesteld in het artikel) de voordelen van beide typen opleveren, dat wil zeggen een kleine totale afmeting en nog steeds een goed ESR-gedrag over de hele audiobandbreedte.
Roberto Armani (Senior Editor Elektor)



Automatisering van testen en meten

Elektor mei/juni 2023, p. 56 (230046)

Ik ben een fervent lezer van Elektor en ik heb een paar vragen naar aanleiding van dit artikel.

- Welke Python IDE gebruik je of welke raad je me aan? Ik ben een beginner met Windows.
- Kun je me een voorbeeldprogramma sturen met GUI en een USB- of LAN-functie? Ik wil graag verbinding maken met meetapparaten en meetresultaten uitvoeren.

Frank Renz

Hartelijk dank voor je e-mail en je loyaliteit als Elektor-lezer. We zijn altijd erg blij met feedback en vragen. Ik moet toegeven dat ik zelf nog helemaal aan het begin sta met Python en nog geen GUI in Python heb geprogrammeerd. Ik gebruik Thonny (thonny.org) als mijn IDE, die zeer geschikt is voor beginners. Na wat onderzoek lijkt PySimpleGUI ook een zeer geschikte GUI voor beginners te zijn (pysimplegui.org/nl/latest/). Een eenvoudig voorbeeld van hoe je een staafdiagram maakt staat hier: github.com/PySimpleGUI/PySimpleGUI/blob/master/DemoPrograms/Demo_Bar_Chart.py. Daarvoor hoeft je slechts het PySimpleGUI pakket in Thonny te installeren. Voor het aansturen van test- en meetapparatuur is USBTMC een mogelijke software-interface. Het kan worden gebruikt om een groot aantal voedingen of oscilloscopen aan te sturen. Het Python-pakket USBTMC is hier beschikbaar: github.com/python-ivi/python-usbtmc. En anders is er PyVISA: pyvisa.readthedocs.io/nl/latest met hier een voorbeeld: core-electronics.com.au/guides/automating-test-equipment-met-python. Hopelijk helpt deze informatie je. Ik wens je veel succes en als je iets gebouwd of geprobeerd hebt, laat het ons dan weten – misschien kunnen we er iets over schrijven!
Stuart Cording (Elektor)

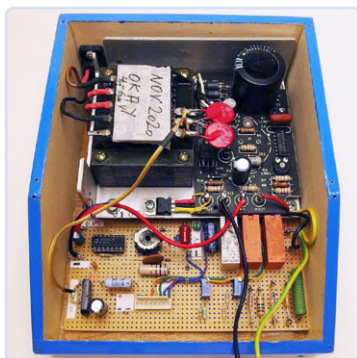


Milliohm-meter

Elektor Summer Circuits 2022, p. 114 (220167)

Ik ben weer aan het knutselen geweest, maar deze keer heb ik niets zelf bedacht, in plaats daarvan heb ik het Milliohm-meter project uit de Summer Circuits 2022 gebruikt. Ik heb de schakeling van Stefano Purchiaroni enigszins aangepast aan mijn ideeën en aan de onderdelen die ik had liggen. En ik ben best trots op mijn behuizing en het frontpaneel. Oordeel zelf!

Peter Grundmann



Dat ziet er erg goed uit, en de foto's verdienen gepubliceerd te worden. We moedigen je aan om het hele project hier op het Elektor Labs-platform (elektormagazine.com/labs) te zetten, zodat we het met al onze lezers kunnen delen!

Jens Nickel (hoofdredacteur Elektor)



Mini-reflowplaat

Elektor november/december 2023, blz. 120 (230456)

Dit artikel is erg interessant en moedigt aan om er zelf een te bouwen. Helaas ontbrak er één stukje informatie (ik kon het in ieder geval niet vinden): Wat voor verwarmingsplaat is dit en waar kun je die kopen?

Hans Schneider

Bedankt voor je vraag aan Elektor, Hans. De component die je zoekt is een op maat gemaakte 230 VAC/400W-verwarmingsplaat die wordt gedistribueerd door onze partners bij Elettronica In magazine. Je vindt alle details hier: futuranet.it/prodotto/piastra-riscaldante-400-watt-230-vac

Roberto Armani (Elektor)



Elektor Circuit Special

Ik ben al meer dan 40 jaar een trouwe lezer en ben altijd blij met het zomernummer, met zijn vele kleine en grote projecten! Ik ben meer een analoge hobbyist en mijn handen/ogen hebben moeite met kleine SMT-componenten, maar ik vind het geweldig dat jullie nog steeds bestaan en dat jullie niet de weg van "Elrad en Co." zijn opgegaan.

Martin Vogl

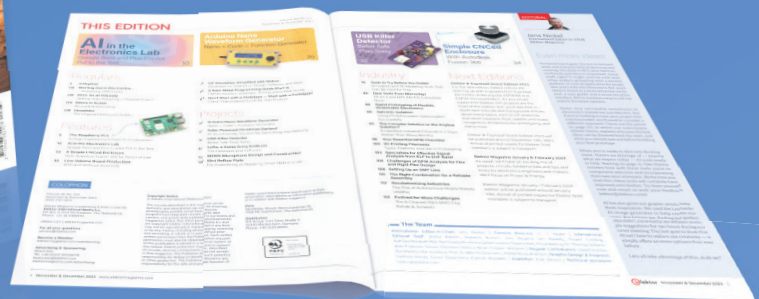
Hallo meneer Vogl, hartelijk dank voor het compliment en de ondersteuning. We zijn daar erg blij mee!

Jens Nickel (hoofdredacteur Elektor)

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

Grootste keuze aan elektronische componenten™

Op voorraad en klaar om te verzenden



nl.mouser.com



MOUSER
ELECTRONICS